



ADRIANO AURÉLIO RIBEIRO BARBOSA

**IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODO DE POTÊNCIA
SONORA EM SERRA-MÁRMORE**

**Campinas
2014**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

ADRIANO AURÉLIO RIBEIRO BARBOSA

IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODO DE POTÊNCIA SONORA EM SERRA-MÁRMORE

Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil na área de Arquitetura e Construção.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Stelamaris Rolla Bertoli

Este exemplar corresponde a versão final da Tese defendida pelo Aluno Adriano Aurélio Ribeiro Barbosa e Orientado pela Prof.^a Dr.^a Stelamaris Rolla Bertoli

Assinatura da Orientadora

Campinas

2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

B234i Barbosa, Adriano Aurélio Ribeiro, 1977-
Implementação de método de potência sonora em serra-mármore / Adriano Aurélio Ribeiro Barbosa. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Ruído - Medição. 2. Máquinas para construção civil. 3. Ferramentas - Vibração - Ruído. 4. Materiais de Construção - Padronização. 5. Incerteza. I. Bertoli, Stelamaris Rolla, 1958-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Implementing a sound power method for testing noise on masonry saw

Palavras-chave em inglês:

Noise - Measurement
Construction machinery
Tools - Vibration - Noise
Building materials - Standardization
Uncertainty

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Stelamaris Rolla Bertoli [Orientador]
Gladis Camarini
José Maria Campos dos Santos
Marco Antônio Nabuco de Araújo
Samir Nagi Yousri Gerges

Data de defesa: 15-07-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODO DE POTÊNCIA SONORA EM
SERRA-MÁRMORE**

ADRIANO AURÉLIO RIBEIRO BARBOSA

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli
Presidente e Orientadora - Unicamp



Profa. Dra. Gladis Camarini
Unicamp



Prof. Dr. José Maria Campos dos Santos
Unicamp

Prof. Dr. Marco Antônio Nabuco de Araújo
INMETRO

Prof. Dr. Samir Nagi Yousri Gerges
UFSC

Campinas, 15 de Julho de 2014

RESUMO

BARBOSA, A. A. R. **Implementação de método de potência sonora em serra-mármore**. 151p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, São Paulo, Brasil, 2014.

A poluição sonora e sua influência sobre o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas têm sido focos de várias pesquisas em diversas partes do mundo. Estudos apontam a construção civil como fator gerador de ruídos que incomodam a sociedade. A contribuição das máquinas e das ferramentas utilizadas nas obras tem influência direta neste processo. Os usos frequentes destes facilitadores estão entre as vertentes de melhoria de qualidade, racionalização dos processos e aplicação de inovações tecnológicas no setor. O estudo do comportamento e a caracterização dos ruídos ambientais nos canteiros de obras da construção civil, devido às operações com equipamentos elétricos, apresentam importância para o setor. A determinação do ruído gerado por máquinas, quando em contato com as superfícies de corte dos materiais de construção, contribui com as ações de controle do ruído em atividades desta natureza para fins ocupacionais e de conforto ambiental. A serra-mármore é uma máquina elétrica manual, portátil, largamente utilizada, na construção civil, para executar pequenos cortes e acabamentos em pisos, azulejos, telhas, tijolos e madeiras e destaca-se pela sua versatilidade, praticidade, leveza e ergonomia. O objetivo deste trabalho é propor um material de condição de carga padrão para implementação de método de determinação de potência sonora do ruído gerado por serra-mármore e estabelecer a incerteza de medição associada às operações. A metodologia utilizada para o estudo considerou os níveis de ruído gerados nas operações de corte em relação ao ruído do equipamento sem carga em concordância com a Norma ISO 3744:2010, que especifica a determinação de níveis de potência sonora de ruído transmitido através do ar, por um método de engenharia, num campo livre sobre um plano refletor. Os resultados indicaram elevados níveis de ruído com a carga padrão proposta e diferentes materiais de construção em relação às atividades da serra-mármore sem carga. Os níveis globais de potência sonora obtidos nas operações chegaram a 110,1dB. A relação da condição do equipamento vazio e com carga apontam diferenças de até 10,0dB. Os resultados revelaram similaridade nas incertezas de medição nas operações de serra em diferentes condições de carga. Foi possível avaliar quantitativamente o nível de ruído gerado nas operações de corte, bem como propor um material de carga padrão para a determinação de níveis de potência sonora. Resultou em 4,3dB a incerteza de medição expandida nas operações da serra-mármore em campo aberto sobre um plano refletor. O estudo representa ainda uma contribuição na análise de ruído nas obras, considerando as dificuldades na obtenção de valores dos espectros sonoros nas operações de máquinas portáteis de construção civil na literatura, como a serra-mármore.

Palavras-chave: Ruído – Medição. Máquinas para Construção Civil. Ferramentas – Vibração – Ruído. Materiais de construção – Padronização. Incerteza.

ABSTRACT

BARBOSA, A. A. R. **Implementing a sound power method for testing noise on masonry saw.** 151p. PhD dissertation. School of Civil Engineering, University of Campinas, UNICAMP. Campinas, São Paulo, Brazil, 2014.

ABSTRACT: Worldwide, noise pollution and its influence on environment and quality of life have been studied. And so, such researches have pointed out the building construction as the main responsible for disturbing sounds today. In this sector, machinery and tools have direct influence on this process. Thus, the regular use of such tools are the main concern aiming quality improvement, streamlining processes and application of technological innovations in the industry. For this reason, the study and characterization of environmental noise behavior at construction sites (due to electrical equipment) is relevant for the sector, in order to contribute to noise control actions in construction activities aiming occupational purposes and environmental comfort. The masonry saw (circular saw for granite stone) is an electrical device, regularly used on building construction for cutting and shaping floors, tiles, bricks and woods and stands out for its versatility, practicality, lightness and ergonomics. Thus, the aim of our study is to design material of proper standard condition and measurement uncertainty associated with operations and measurements to implement the method for determining sound power of noise generated by masonry saw. The method applied in this study was comparing noise levels - generated by cutting operations - and the noise of the equipment without charge, according the ISO 3744:2010 (which specifies sound levels transmitted through the air, by a method of engineering, in a free field over a reflecting plane. Results have indicated high levels of noise with the proposed standard charge and different building materials in relation to the activities of the unloaded masonry saw. The overall sound power levels obtained from operations reached 110.1 dB. The ratio of unloaded and loaded device points to differences of up to 10.0 dB. Also, results have revealed a similarity in the measurement uncertainties in masonry saw operations on different load conditions. It was possible to quantitatively assess the noise level generated during cutting operations, so proposing a standard charge for determining sound power levels. Finally, the expanded measurement uncertainty has resulted in 4.3 dB of the masonry saw in an open field over a reflecting plane. Moreover, the study represents a great contribution for analyzing noise levels from the use of portable machinery on building construction, considering the difficulties in obtaining values of sound spectra in the literature.

Keywords: Noise – Measurement. Construction Machinery. Tools – Vibration - Noise. Building Materials – Standardization. Uncertainty.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	01
1.1 Hipótese.....	06
1.2 Objetivo Geral.....	06
1.3 Objetivos Específicos.....	06
1.4 Estrutura do Trabalho.....	07
2. Materiais de construção trabalhados com serra-mármore nas obras.....	9
2.1 Materiais de Construção Civil.....	10
2.2 Rochas Ornamentais.....	11
2.3 Materiais Cerâmicos	14
2.4 Outros materiais de construção trabalhados com a serra-mármore.....	23
3. Serra-Mármore Portátil.....	25
3.1 Características da serra-mármore.....	26
3.2 Comparativo dos diversos fabricantes nacionais.....	27
3.3 Disco diamantado de serra-mármore.....	28
4. Conceitos relevantes para o estudo do ruído.....	33
4.1 O som e o ruído.....	34
4.2 Propagação do ruído.....	34
4.3 Espectro sonoro.....	35
4.4 Intensidade sonora.....	36
4.5 Pressão sonora.....	36
4.6 Potência sonora.....	37
4.7 Nível sonoro equivalente.....	37
4.8 Ambientes específicos na determinação da potência sonora.....	38
5. Aspectos relacionados ao ruído nas operações de serra-mármore.....	39
5.1 Ruído na construção civil.....	41
5.2 Normas Regulamentadoras de segurança do trabalho e o ruído.....	43
5.3 Exposição ocupacional ao ruído.....	45
5.4 Programa Brasileiro de Etiquetagem.....	64
5.5 Considerações sobre a NBR 13.910:1997 e NBR 7566:1982.....	49
5.6 Normas e métodos para a determinação da potência sonora.....	49
5.7 A Norma ISO 3744:2010.....	50
5.8 Estudos preliminares do ruído gerado por serra-mármore (Pré-teste).....	53
6. Incerteza de medição.....	61
6.1 Mensurando.....	62
6.2 Diagrama causa-efeito.....	63
6.3 Valor estimado.....	63
6.4 Incerteza Padrão (u)	63
6.5 Incerteza expandida de medição (U)	63
6.6 Fator de abrangência (k)	64
6.7 Distribuição de probabilidade	64
6.8 Coeficiente de sensibilidade (C_i)	66
6.9 Cálculo de incertezas de medição de acordo com a ISO 3744:2010	66
6.10 Componentes de incertezas recomendadas pelo ISO 3744:2010	67

7. Método.....	75
7.1 Das serras-mármore utilizadas.....	78
7.2 Da escolha do local.....	79
7.3 Material de corte: Placa Cimentícia (Carga Padrão).....	79
7.4 Material de corte: Outros materiais de construção utilizados.....	80
7.5 Das operações de serra-mármore.....	81
7.6 Disposição e distâncias da fonte e dos pontos de medição.....	81
7.7 Do plano refletor.....	83
7.8 Do suporte da amostra.....	83
7.9 Dos equipamentos de medição de ruído.....	84
7.10 Dos tempos de medição.....	85
7.11 Dos operadores de serra-mármore.....	85
7.12 Dos procedimentos de medição.....	86
7.13 Dos cálculos realizados a partir das medições.....	89
7.13.1 Cálculo do nível de pressão sonora médio.....	90
7.13.2 Cálculo do nível de potência sonora.....	90
7.13.4 Ponderação em dB(A) dos níveis de potência Sonora.....	91
7.13.5 Cálculo das incertezas de medição.....	93
7.13.6 Cálculo do desvio padrão (geral).....	95
8. Resultados e Análises.....	97
8.1 Nível de Pressão Sonora.....	99
8.1.1 Medições de ruído da serra operando com a carga padrão de 4cm.....	100
8.1.2 Medições de ruído da serra operando com a carga padrão de 2cm.....	101
8.1.3 Medições de ruído da serra operando sem carga.....	102
8.1.4 Medições de ruído da serra operando com placas cerâmicas.....	103
8.1.5 Medições de ruído da serra operando com rocha ornamental tipo Ardósia.....	104
8.1.6 Comparativos da pressão sonora variando as condições de carga.....	105
8.1.7 Comparativo dos níveis de pressão sonora variando os operadores.....	109
8.2 Nível de Potência Sonora.....	113
8.2.1 Comparativos dos níveis de potência sonora.....	115
8.2.2 Análise da potência sonora (L_w) no espectro de 1K a 10KHz.....	120
8.3 Resultados das incertezas de medição.....	122
8.4 Análise da incerteza de medição.....	128
9. Conclusões e sugestões de trabalhos futuros.....	131
Apêndice.....	137
Referências.....	151

Dedicatória

Aos Profissionais de Acústica, Ruído e Segurança do Trabalho.
Aos Professores do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico.

Agradecimentos

Ao Grande Arquiteto do Universo, DEUS, por me proporcionar constantemente paz interior, foco, força e esperança.

A meu eterno pai, em memória presente, pelo modelo de vida apresentado.

A meu filho Gustavo, por mostrar que a vida é maravilhosa.

A minha esposa Alessandra, pelo amor, companheirismo e dedicação.

A minha Mãe Cida e meus irmãos Márcio e Hemerson, por dividirem todos os momentos especiais juntos.

Aos familiares, amigos e colegas de trabalho, pelas experiências, desafios e conquistas.

À orientadora Stelamaris, pela humildade, paciência e competência.

Ao Professor Marco Nabuco, do INMETRO, pelas contribuições apresentadas.

Aos técnicos de laboratório da FEC, Obadias e Daniel, pelo profissionalismo e simplicidade.

Aos professores da FEC/Unicamp e colegas alunos, pelos conhecimentos divididos.

Ao Sr. Nelson, pelo apoio nas operações da serra.

À ARBLS União das Américas e seus filiados, pelos constantes ensinamentos.

*“Se deseja conhecer as causas do passado,
olhe para os resultados no presente.
Se quiser saber qual será o resultado no futuro,
analise as causas do presente”.*

Nitiren Daishonin

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do processo de transformação e da produção de revestimentos prensados _____	17
Figura 2: Comparativo dos tipos de produtos cerâmicos produzidos no Brasil (a) e _____	19
Figura 3: Serra-mármore operando em corte reto (a) e ilustrando sua versatilidade (b). _____	26
Figura 4: Discos diamantados tipo contínuo (a), segmentado (b) e côncavo ou turbo (c) _____	29
Figura 5: Selo Ruído _____	47
Figura 6: Classificação do nível de potência sonora (NR) _____	48
Figura 7: Disposição do plano refletor, caixa de referência e superfície de medição _____	51
Figura 8: Operação de corte durante o pré-teste em área externa (a) e interna (b) _____	54
Figura 9: Espectro sonoro do Ruído gerado pelas Serras (a) e (b) em Área Externa _____	55
Figura 10: Espectro sonoro do Ruído gerado pelas Serras (a) e (b) em Área Interna _____	55
Figura 11: Espectro sonoro do Ruído gerado pelas Serras (a) e (b) junto ao Piso _____	56
Figura 12: Espectro sonoro do Ruído gerado pelas Serras (a) e (b) junto ao Piso _____	56
Figura 13: Comparativo da média global de ruído nos pontos _____	57
Figura 14: Níveis de pressão sonora nas operações de corte, sem carga e ruído de fundo. _____	58
Figura 15: Análise comparativa dos níveis de pressão sonora globais. _____	59
Figura 16: Diagrama causa-efeito das incertezas de medição _____	63
Figura 17: Distribuição de probabilidade normal _____	65
Figura 18: Distribuição de probabilidade retangular _____	65
Figura 19: Distribuição de probabilidade triangular _____	66
Figura 20: Modelo ilustrativo da serra-mármore utilizada nas operações _____	78
Figura 21: Modelo ilustrativo do disco diamantado utilizado nas operações _____	78
Figura 22: Materiais utilizados nas operações de corte _____	80
Figura 23: Disposição e Dimensionamento da Fonte, Superfície de Medição e Pontos de microfones (P_n) _____	81
Figura 24: Faces da superfície de medição: nível do solo (a), 0,75m altura (b) e 1,5m altura(c) _____	82
Figura 25: Coeficiente de absorção do Plano Refletor _____	83

Figura 26: Suporte da amostra nas operações de corte (gabarito) _____	84
Figura 27: Medidor de Nível de Pressão Sonora utilizado - Brüel & Kjær mod. 2260 _____	84
Figura 28: Plano refletor em campo livre, projeção da superfície de medição e suporte da amostra. _____	86
Figura 29: Disposição ilustrativa das condições de medição em campo livre sobre um plano refletor. _____	88
Figura 30: Diagrama causa-efeito das incertezas na instabilidade de operação/montagem - σ_{omc} _____	92
Figura 31: Diagrama causa-efeito das incertezas nas condições ambientais e de ensaio - σ_{R0} _____	92
Figura 32: Níveis de pressão sonora: carga 4cm nos pontos, média [$L'_{P(ST)}$] e ruído de fundo [$L_{P(B)}$] _____	100
Figura 33: Níveis de pressão sonora: carga 2cm nos pontos, média [$L'_{P(ST)}$] e ruído de fundo [$L_{P(B)}$] _____	101
Figura 34: Níveis de pressão sonora nas operações sem carga, média [$L'_{P(ST)}$] e ruído de fundo [$L_{P(B)}$] _____	102
Figura 35: Níveis de pressão sonora em cortes de Placas Cerâmicas, média $L'_{P(ST)}$ e ruído de fundo $L_{P(B)}$ _____	103
Figura 36: Níveis de pressão sonora gerado em cortes de Ardósia, média $L'_{P(ST)}$ e ruído de fundo $L_{P(B)}$ _____	104
Figura 37: Níveis médios de pressão sonora nas diferentes condições de carga _____	105
Figura 38: Nível de pressão sonora nas operações de corte - Carga padrão 4cm – Operadores 1, 2 e 3 _____	109
Figura 39: Nível de pressão sonora nas operações de corte - Carga padrão 2cm – Operadores 1, 2 e 3 _____	111
Figura 40: Média do nível de pressão sonora gerado pelos 3 operadores (cargas de 2cm e 4cm) _____	112
Figura 41: Níveis de potência sonora (L_w) nas diferentes condições de carga _____	115
Figura 42: Análise da potência sonora L_w nas diferentes condições de carga no espectro de 1K a 10KHz _____	120
Figura 43: Incerteza da medição expandida (U) nas condições de carga, média e desvio padrão _____	126
Figura 44: Nível de Potência sonora [Lw] e intervalos da incerteza de medição expandida [U] _____	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativa do uso de rochas ornamentais pelo mercado brasileiro.....	13
Tabela 2: Classificação das placas cerâmicas em função da resistência à abrasão	18
Tabela 3: Resumo dos principais materiais trabalhados com serra-mármore nas obras	22
Tabela 4: Resumo dos outros materiais trabalhados com serra-mármore nas obras.....	24
Tabela 5: Serras-mármore manuais comercializadas no Brasil e suas características técnicas	28
Tabela 6: Características técnicas dos discos diamantados comercializadas no Brasil	31
Tabela 7: Equipamentos e níveis sonoros.....	42
Tabela 8: Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente	46
Tabela 9: Comparativo entre as normas da família 3740	50
Tabela 10: Coordenadas dos pontos de medição e referência	82
Tabela 11: Ponderação em dB(A) dos Níveis de Potência Sonora	91
Tabela 12: Componentes de incertezas de medição das condições ambientais e de ensaio - σ_{R0}	94
Tabela 13: Níveis de pressão sonora carga padrão 4cm, média $L'_{P(ST)}$, $L_{P(B)}$ e Desvio Padrão	100
Tabela 14: Níveis de pressão sonora: carga padrão 2cm, média $L'_{P(ST)}$, $L_{P(B)}$ e Desvio Padrão.....	101
Tabela 15: Níveis sonoros nas operações sem carga, média $L'_{P(ST)}$, $L_{P(B)}$ e Desvio Padrão	102
Tabela 16: Níveis de pressão em cortes de Cerâmica, média $L'_{P(ST)}$, $L_{P(B)}$ e Desvio Padrão	103
Tabela 17: Níveis de pressão em cortes de Ardósia, média $L'_{P(ST)}$, $L_{P(B)}$ e Desvio Padrão.....	104
Tabela 18: Níveis médios de pressão sonora nas diferentes condições de carga e o desvio padrão	106
Tabela 19: Níveis de pressão sonora e desvio desconsiderando a condição sem carga.....	107
Tabela 20: Nível pressão sonora e desvio, desconsiderando condição sem carga e carga padrão de 4cm	108
Tabela 21: Pressão sonora e desvio nas operações de corte da carga de 4cm com operadores 1, 2 e 3.....	110
Tabela 22: Pressão sonora e desvio nas operações de corte da carga de 2cm com operadores 1, 2 e 3.....	111
Tabela 23: Resultados dos cálculos de $[\Delta L_p]$, Correções $[K1]$ e $[K2]$, $[L_p]$ e Potência sonora $[L_w]$	114
Tabela 24: Níveis de potência sonora nas diferentes condições de carga.....	116
Tabela 25: Níveis de potência sonora e desvio padrão (desconsiderando a condição sem carga)	117

Tabela 26: Níveis sonoros e desvio padrão (desconsiderando condição sem carga e carga padrão de 2cm) .	118
Tabela 27: Níveis sonoros e desvio padrão (desconsiderando condição sem carga e carga padrão de 4cm) .	119
Tabela 28: Análise da potência sonora L_w nas diferentes condições de carga no espectro de 1K a 10KHz...	120
Tabela 29: Comparativo da potência sonora no espectro de 100 Hz a 10KHz e de 1KHz a 10KHz.....	121
Tabela 30: Incertezas de medição da serra-mármore na condição sem carga.....	122
Tabela 31: Incertezas de medição da serra-mármore operando cortes com a ardósia	123
Tabela 32: Incertezas de medição da serra-mármore operando cortes com a placa cerâmica	123
Tabela 33: Incertezas de medição da serra-mármore operando cortes com a carga padrão de 4cm	124
Tabela 34: Incertezas de medição da serra-mármore operando cortes com a carga padrão de 2cm	124
Tabela A1: Medições do Ruído de Fundo nos Pontos – P1 a P9 [dB].....	137
Tabela A2: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P1 e P2.....	138
Tabela A3: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P3 e P4.....	139
Tabela A4: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P5 e P6.....	140
Tabela A5: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P7 e P8.....	141
Tabela A6: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P9 e P10.....	142
Tabela A7: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P1 e P2.....	143
Tabela A8: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P3 e P4.....	144
Tabela A9: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P5 e P6.....	145
Tabela A10: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P7 e P8.....	146
Tabela A11: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P9 e P10.....	147
Tabela A12: Medições de Ruído da Serra Sem Carga [dB] – P1 a P9.....	148
Tabela A13: Medições de Ruído de Corte da Ardósia [dB] – P1 e P9.....	149
Tabela A14: Medições de Ruído de Corte da Ardósia [dB] – P1 e P9.....	150

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Nível de Potência Sonora	37
Equação 2: Nível Sonoro Equivalente	38
Equação 3: Nível de Potência Sonora a partir das medições - ISO 3744	52
Equação 4: Nível médio de pressão sonora (espacial)	52
Equação 5: Nível de Potência Sonora	52
Equação 6: Coeficiente de sensibilidade C_i	66
Equação 7: Desvio padrão total estimado σ_{tot}	66
Equação 8: Desvio Padrão σ_{omc}	67
Equação 9: Desvio padrão σ_{R0}	67
Equação 10: Componentes de incerteza do desvio padrão σ_{R0}	68
Equação 11: Incerteza do nível de pressão sonora ($u_{L'p(ST)}$)	68
Equação 12: coeficiente de sensibilidade $C_{L'p(ST)}$	69
Equação 13: Incerteza da área de superfície de medição (S)	69
Equação 14: Coeficiente de sensibilidade C_S	69
Equação 15: Incerteza de correção do ruído de fundo u_{K1}	70
Equação 16: Coeficiente de sensibilidade C_{k1}	70
Equação 17: Incerteza da correção ambiental u_{K1}	70
Equação 18: Incerteza de Amostragem δ_{mic}	71
Equação 19: Incerteza do ângulo δ_{angle}	72
Equação 20: Coeficiente de sensibilidade δ_{angle}	72
Equação 21: Incerteza relativa à temperatura δ_0	72
Equação 22: Coeficiente de sensibilidade C_0	73
Equação 23: Incerteza relativa à umidade relativa do ar δ_H	73
Equação 24: Coeficiente de sensibilidade C_H	73

Equação 7.1: Método – Cálculo do nível de pressão sonora espacial.....	89
Equação 7.2: Método – Cálculo do nível de pressão sonora espacial do ruído de fundo.....	89
Equação 7.3: Método – Correção do Ruído de Fundo (K_1).....	89
Equação 7.4: Método – Diferença do Nível de Pressão Sonora (ΔL_p).....	90
Equação 7.5: Método – Nível de Pressão Sonora Médio.....	90
Equação 7.6: Método – Nível de Potência Sonora.....	90
Equação 7.7: Método – Nível de Potência Sonora em curva de Ponderação dB(A).....	91
Equação 7.8: Método – Cálculo do desvio padrão total estimado σ_{tot}	93
Equação 7.9: Método – Cálculo do desvio padrão σ_{omc}	93
Equação 7.10: Método – Incerteza de Medição Expandida (U)	93
Equação 7.11: Método - Cálculo do Desvio Padrão (geral).....	95

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar”.

William Shakespeare

1. Introdução

A poluição sonora, sua influência sobre o meio ambiente e sobre a qualidade de vida das pessoas, tem sido alvo de várias pesquisas em diversas partes do mundo (MARANS, 2012; BRINK, 2011; LASZLO *et al.*, 2012; GORDIA *et al.*, 2011). Estudos apontam a construção civil como fator gerador de ruídos que incomodam a sociedade. A contribuição das máquinas e das ferramentas utilizadas nas obras tem influência direta no ambiente acústico das cidades (BALLESTEROS *et al.*, 2010).

O Informe de Previdência Social (BRASIL, 2012) indica o constante crescimento de doenças ocupacionais principalmente relacionadas ao ruído no ambiente de trabalho no Brasil. Nos dias atuais, o ruído tem sido tratado com uma questão de Saúde Pública.

As questões ocupacional e qualidade de vida são importantes temas de discussão nas indústrias de manufatura, porém, na indústria da construção civil, dada as condições específicas da mão de obra, terceirizações, baixa instrução, alta rotatividade, serviços variados, entre outros, dificulta-se a aplicação de medidas de gestão as quais não refletem a mesma evolução no setor (MILANELI *et al.*, 2009).

A construção civil é um dos setores que mais crescem no Brasil. Os institutos de pesquisa do setor indicam o grande crescimento dessa indústria nos dias atuais, o qual voltou a exercer papel de vanguarda na economia nacional e está na rota de um novo e importante ciclo de crescimento. A estabilidade da moeda, a economia do Brasil no cenário mundial, o investimento em infraestrutura, o crescimento de outros setores da indústria e comércio, o déficit habitacional, o aumento do crédito imobiliário e os programas habitacionais do governo indicam perspectivas positivas para o setor nos próximos anos (FGV, 2011).

Dos materiais de construção manipulados nas obras, além das rochas ornamentais tradicionais, observa-se um aumento no uso de acabamentos em placas cerâmicas de edificações residenciais e comerciais, nos diversos padrões construtivos. As inovações de materiais estão cada vez mais presentes nas obras como a utilização das placas de gesso acartonado, telhas de concreto, telhas ecológicas, materiais sintéticos, entre outras tecnologias que vêm sendo aplicadas nas construções em busca de modelos econômicos, mais enxutos e sustentáveis (ISOLDI *et al.*, 2009).

No cenário dos equipamentos para uso na construção civil, o baixo custo, a disponibilidade e diversidade no mercado têm aumentado o uso das ferramentas elétricas manuais na indústria do setor (EMMANOUILIDIS *et al.*, 2009). Entre os equipamentos utilizados nas obras atualmente, a serra-mármore se destaca por sua versatilidade. Em função da sua leveza, eficiência e operação prática, a serra-mármore tem sido cada vez mais utilizada no setor, para trabalhos com diversos tipos de materiais de construção.

Do ponto de vista da legislação, as Normas Regulamentadoras de Saúde e Segurança do Ministério do Trabalho (NR) estabelecem exigências para garantir o bem-estar dos trabalhadores, por meio da identificação de riscos e limites de tolerância, caracterização de insalubridade, exames médicos, programas de prevenção, comissão de acidentes, equipamentos de proteção, entre outros que, aliados às ferramentas de gestão, auxiliam empresas na prevenção de acidentes, entre eles, aqueles provocados pelo ruído.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em conjunto com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), instituiu o Programa Silêncio. Um dos objetivos deste programa visa incentivar a fabricação e uso de máquinas, motores, equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído. Em dezembro de 1994, foi estabelecida a Resolução Conama n.20/94, instituindo a obrigatoriedade do uso do Selo Ruído em eletrodomésticos produzidos e importados e que gerem ruído no seu funcionamento. Nos dias atuais, esse selo está regulamentado para os liquidificadores, aspiradores de pó e secadores de cabelo, existindo uma previsão de inclusão de ferramentas elétricas para a ampliação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (BRASIL, 1994).

Santos (2004) afirma que para a prevenção da condição ruidosa em ambientes é necessário quantificar o ruído gerado por uma fonte. Os níveis de pressão sonora dependem das condições existentes no meio de propagação sonora, bem como obstáculos encontrados na propagação. O meio, que na maioria das vezes é o ar, pode influenciar na propagação em decorrência de vários fatores, como temperatura, pressão, umidade relativa, deslocamento (vento), a direcionalidade e a posição da fonte. Por outro lado, a potência sonora depende da própria fonte e independe do meio onde se encontra. O nível de potência sonora pode ser determinado em campo livre, a partir da determinação dos níveis de pressão sonora, gerados nos arredores da fonte, considerando a correção para o ruído de fundo, a influência do ambiente e as incertezas

associadas ao método utilizado. Portanto, o nível de potência sonora é o parâmetro que melhor caracteriza a energia sonora gerada por uma fonte.

Entre as normas para a determinação do nível de potência sonora de fontes a partir da medição do nível de pressão sonora ressalta-se a família de normas ISO 3740. Cada norma da família apresenta métodos específicos que variam segundo o grau de exatidão e o ambiente de ensaio. A Norma ISO 3744:2010 especifica a determinação de níveis de potência sonora transmitido através do ar num campo livre sobre um plano refletor por um método de engenharia, e tem como objetivo a determinação dos níveis de potência sonora de fontes de ruído, como máquinas, equipamentos e seus subconjuntos.

Estudos sobre nível de potência sonora gerados por máquinas portáteis, realizados pelo Instituto de Segurança e Saúde Ocupacional dos EUA, alertam sobre a maior intensidade dos níveis sonoros desses equipamentos elétricos quando utilizados com os materiais de operação nos ambientes de trabalho (NIOSH, 2011).

Barbosa e Bertoli (2012b) afirmam que os níveis de ruído gerado nas operações de serra-mármore com carga de diferentes materiais são mais elevados em relação àqueles gerados em condição de operação da serra sem carga.

Máquinas como furadeiras, serra circular e esmerilhadeiras, quando em contato com o material (madeira ou metal), geram níveis sonoros de, no mínimo, 4,1dB(A) acima dos níveis de ruído das mesmas ferramentas quando não estavam em contato com o material (HAYDEN; ZECHMANN, 2006).

Os níveis sonoros gerados com a serra-mármore nas operações de corte em diferentes materiais ilustram que a direcionalidade da fonte de ruído é um aspecto a ser considerado nos arredores das operações de corte (BARBOSA; BERTOLI, 2012a).

Desta maneira, para o estudo do comportamento e a caracterização dos ruídos ambientais nos canteiros de obras, em campo livre ou em recintos fechados, nos serviços de corte com equipamentos elétricos na construção civil, é importante a determinação do ruído gerado por máquinas como a serra-mármore portátil, em especial, quando em contato com as superfícies de corte dos materiais de construção.

Considerando que o ruído da serra-mármore, quando operado em diferentes materiais de construção, não é o mesmo daquele gerado sem carga, mostra-se

necessária a escolha de um material padronizado para ser adotado como carga padrão, na obtenção dos níveis de potência sonora gerados nas operações com a serra-mármore. Todavia, faz-se necessário um comparativo do comportamento da carga padrão proposta, com materiais de construção convencionais trabalhados com a serra-mármore (materiais de referência), como papel norteador na observação da equivalência dos níveis sonoros gerados nas operações de corte com a serra-mármore. Um dos objetivos deste trabalho é propor uma carga padrão para ensaios de determinação do nível de potência sonora de serra-mármore na condição de corte.

É recomendado que os resultados das medições de níveis sonoros sejam acompanhados de suas incertezas de medição (INMETRO, 2012). Ressalta-se que, as variáveis de incertezas não são constantes e estão associadas ao método utilizado, sendo necessária a identificação das parcelas de incerteza referente à instabilidade da operação, condições de montagem, condições ambientais e de ensaio.

O cálculo das incertezas de medição para ensaios na determinação de potência sonora de serra-mármore, a partir da identificação das parcelas de incertezas associadas ao método utilizado, é outro objetivo deste trabalho, a fim de retratar um indicativo de confiabilidade e parâmetro de referência para análises.

1.1. Hipótese

A hipótese proposta nesta tese é que se pode adotar uma placa cimentícia, como material padronizado nas operações de corte, para ser utilizada nos métodos de determinação do nível de potência sonora da serra-mármore em vista de diferentes materiais encontrados no mercado.

1.2. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é indicar um material a ser utilizado como condição de carga e calcular as incertezas de medição associadas nas operações de corte com a serra-mármore para implementação do método de determinação do nível de potência sonora.

1.3. Objetivos específicos

- ✓ Aplicar um método de ensaio, baseado nos critérios da Norma ISO 3744:2010, para estudo do nível de potência sonora gerado por serra-mármore na condição de corte, em campo livre sobre um plano refletor.
- ✓ Analisar o nível de ruído gerado por serra-mármore portátil ao executar cortes em diferentes materiais de construção civil de uso comum nas obras.
- ✓ Comparar os espectros e níveis globais da pressão sonora obtidos nas operações com serra-mármore para diferentes materiais e na condição sem carga.
- ✓ Comparar os níveis de ruído gerados nas operações de corte com serra-mármore realizadas por diferentes operadores.
- ✓ Calcular e comparar os níveis de potência sonora gerados com a serra-mármore sem carga com as operações em diferentes condições de carga.
- ✓ Analisar os componentes das incertezas associadas às operações de serra-mármore e medição dos níveis sonoros.
- ✓ Propor um material para ser adotado como carga padrão, nos ensaios de determinação do nível de potência sonora de serra-mármore na condição de corte.
- ✓ Calcular a incerteza de medição para ensaios na determinação de potência sonora de serra-mármore em um campo livre sobre um plano refletor.

1.4. Estrutura do trabalho

A estrutura desta tese está dividida em quatro partes, sendo que a primeira parte é composta pelos capítulos 2 e 3, os quais tratam da fundamentação teórica e da apresentação do cenário das tecnologias e aspectos relacionados ao estudo dos materiais de construção e da serra-mármore.

A segunda parte, composta pelos capítulos 4, 5 e 6, apresenta conceitos gerais relevantes para o estudo do ruído, as normas técnicas aplicáveis e aspectos relacionados aos níveis sonoros gerados nas operações de serra-mármore e da incerteza de medição.

O capítulo 7 representa a terceira parte do trabalho e expõe o método desenvolvido para o estudo da potência sonora gerada por serra-mármore relacionada a condição de carga por materiais de construção.

Os resultados, análises e conclusões são apresentados na quarta e última parte deste trabalho, compostas pelos capítulos 8 e 9.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO TRABALHADOS COM SERRA-MÁRMORE NAS OBRAS

*“A adversidade desperta em nós capacidades que,
em circunstâncias favoráveis, teriam ficado adormecidas”.*

Horácio

2. Materiais de Construção trabalhados com Serra-Mármore nas Obras

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão da caracterização dos materiais de construção trabalhados com serra-mármore nas obras de construção civil.

2.1. Materiais de Construção Civil

Segundo Cohen (1979), materiais sólidos são substâncias com propriedades que as tornam úteis na construção de máquinas, estruturas, dispositivos e produtos. São materiais universais que o homem utiliza para confeccionar bens tangíveis.

A classificação dos materiais sólidos é apresentada em três principais grupos: Materiais Metálicos, Materiais Cerâmicos e Materiais Poliméricos ou Plásticos. Esta classificação é baseada na estrutura atômica e nas ligações químicas predominantes em cada grupo. Um quarto grupo, incorporado nesta classificação na década de 1990, é o grupo dos materiais compósitos (OHRING, 1995).

Os materiais de construção civil são elementos de naturezas diversas que devem desempenhar papéis específicos e previsíveis de maneira a possibilitar e garantir a existência de um determinado ambiente construído, pensado para um determinado fim – habitação, transporte, serviços e vários outros (RIBEIRO *et al.*, 2002).

Na indústria da construção, os materiais também estão sujeitos às evoluções que se observam na sociedade em geral. Uma grande variedade de materiais pode ser utilizada nas construções. Entre eles, estão materiais que são utilizados há séculos por nossa civilização, como a pedra, a madeira, a terra e o aço, além do concreto, dos materiais cerâmicos, polímeros e vidros. Esses materiais possuem as suas qualidades, vantagens, especificidades e justificativas próprias. Seus usos e aplicações são diferenciados de acordo com as suas propriedades, assim, compondo sistemas construtivos de diversos tipos e funções. Conforme a sua função (estrutural, vedação, acabamento, entre outras), observam-se semelhanças entre sistemas construtivos que empregam materiais diferentes. Com base no potencial de cada material, determinam-se as suas possibilidades de uso na construção civil e desenvolve-se uma tecnologia específica (PADILHA, 1997). Em paralelo, a indústria da construção busca acompanhar o crescimento da consciência ambiental e desenvolvimento sustentado, ainda, integrando as preocupações de qualidade, segurança e saúde, quer seja na localização das construções, nas realizações ou nos materiais e processos construtivos.

2.2. Rochas Ornamentais

Apresentar características tecnológicas de rochas ornamentais é difícil, principalmente, pelo fato das rochas não se comportarem como materiais ideais, o que dificulta a interpretação dos próprios ensaios tecnológicos. Chiodi Filho (2011) refere que, por mais que uma rocha seja “homogênea” quimicamente, ela poderá apresentar propriedades físicas diferentes em determinadas porções do corpo rochoso, dependendo das suas condições de formação (profundidade, pressão, velocidade de resfriamento, entre outras). Geralmente, o uso de uma rocha se faz pela sua beleza, que é dada pelo arranjo e coloração dos minerais. Porém a propriedade específica de cada mineral determina, por exemplo, sua dureza, alterabilidade, cor e estrutura que irão apontar qual o uso mais adequado da rocha para fins ornamentais.

As principais características físico-mecânicas das rochas estão intimamente ligadas à textura e à estrutura da rocha, em particular, à dimensão média dos grãos, que influencia na resistência e na alterabilidade, entre outras. Do mesmo modo, o estado de alteração dos minerais constituintes vai condicionar fortemente a aptidão de cada rocha ao polimento e determinar a durabilidade. Desta maneira, deve-se escolher uma rocha para revestimento, não apenas baseado no seu padrão estético, mas, também, observando-se suas propriedades físicas e mecânicas para que estejam de acordo com os esforços e intempéries aos quais a rocha estará sujeita durante a vida útil do empreendimento (SOSSAI, 2006).

Segundo Chiodi Filho e Rodrigues (2009), a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) define comercialmente as rochas ornamentais e semiornamentais brasileiras a partir das categorias: granito, mármore, ardósia e basalto.

Os granitos correspondem cientificamente às rochas ígneas e metamórficas de granulometria grossa, compostas principalmente de minerais félsicos, tais como quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. Devido à alta dureza destes silicatos, os “granitos” necessitam de serras diamantadas para o corte. Fazem parte deste grupo: álcali feldspato granito, granito, quartzo monzonito, granodiorito, quartzo diorito, tonalito, dolerito, gabro, álcali sienito, nefelina sienito, gnaiss facoidal, ortognaiss, paragnaiss, charnockito,

granulito, etc. Os granitos são fisicamente difíceis de ser explorados¹ e beneficiados, entretanto apresentam alto brilho no polimento e alta durabilidade mecânica. Portanto, são tratados como rochas ornamentais de qualidade máxima.

Os mármore são rochas de composição carbonática, tanto as metamorfoseadas quanto as não metamorfoseadas. E, em razão da baixa dureza dos minerais carbonáticos, não é necessária a serra diamantada para o corte, são facilmente trabalháveis e, em comparação aos granitos, possuem vulnerabilidade para o desgaste físico e químico.

As ardósias correspondem às rochas sedimentares ou metamórficas de composição pelítica, não metamorfoseadas e com clivagem desenvolvida. Excepcionalmente, certos tipos de muscovita xisto, quartzito e gnaisse com clivagem ou bandamento bem desenvolvido são comercializados como “ardósias”. Em comparação com os granitos e os mármore, as ardósias são de baixo valor comercial, sendo tratadas como rochas semiornamentais. Portanto, a maioria das ardósias não possui nome comercial específico. A utilização geral é, de forma não polida, para pisos e paredes (VARGAS *et al.*, 2001).

Os basaltos são tufo altamente aglutinados de composição riolítica e dacítica que se encontram exclusivamente no extremo sul do Brasil. Trata-se de rochas semiornamentais e utilizadas, de forma não polida, para pisos, paredes e pavimentações decorativas.

São normas nacionais relevantes para o estudo das rochas ornamentais utilizadas na construção civil:

- a) ABNT NBR 15846:2010 **Rochas** para revestimento.
- b) ABNT NBR 15012:2003 **Rochas** para revestimentos de edificações.
- c) ABNT NBR 6502:1995 **Rochas** e solos.

¹ **Exploração:** termo geotécnico que significa a retirada, extração ou obtenção de recursos naturais, geralmente não renováveis, para fins de aproveitamento econômico, pelo seu beneficiamento, transformação e utilização (HOUAISS, 2010).

2.2.1. Produção e Consumo de Rochas Ornamentais no Brasil

O Brasil está entre os cinco maiores produtores mundiais de rochas ornamentais, as quais são empregadas como elemento estrutural de monumentos, na fabricação de concreto e na construção civil e cujo uso teve início quando o homem utilizava as cavernas para abrigo e proteção.

Mello *et al.* (2004) afirmam que cerca de 75% da produção brasileira são destinadas ao mercado interno e mais de 70% têm origem nos estados do Espírito Santo, de Minas Gerais e da Bahia. Pelo menos 75% das marmorarias brasileiras estão localizadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e do Rio de Janeiro, ou seja, inseridas no maior centro consumidor do país, que é constituído pelos estados do sudeste. São Paulo, em particular, é possivelmente responsável pela metade do consumo nacional. A região Sudeste responde ainda por, pelo menos, 85% das exportações e importações brasileiras. A estimativa do uso de rochas ornamentais no Brasil é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Estimativa do uso de rochas ornamentais pelo mercado brasileiro

Usos (Milhões m ²)	Granitos	Mármore	Mármore Importados	Ardósias	Quartzitos	Outros	Total	Percentual de participação
Pisos internos	5,78	2,34	0,12	3,00	1,25	0,87	13,36	23,0
Pisos externos	3,85	1,55	0,08	9,00	3,75	2,30	20,56	35,3
Fachadas	2,60	1,04	0,05	0,40	0,15	0,15	4,39	7,5
Degraus	0,74	0,30	0,02	0,40	0,15	0,12	1,73	3,0
Paredes internas	2,60	1,05	0,05	0,40	0,15	0,18	4,46	7,6
Tampos	5,19	2,10	0,10	0,40	0,15	0,21	8,15	14,0
Obras estruturais	1,25	0,50	0,03	-	-	0,03	1,81	3,1
Arte funerária	1,80	0,72	0,04	-	-	0,04	2,60	4,5
Outros	0,49	0,20	0,01	0,10	0,20	0,21	1,21	2,1
Total	24,30	9,80	0,50	13,7	5,80	4,11	58,21	100,0

Fonte: Chiodi Filho (2011)

2.3. MATERIAIS CERÂMICOS

Cerâmica é uma palavra que vem do grego *keramikós* e designa todo o grupo de produtos resultantes da cocção de argilas, agregadas ou não a outros componentes. A argila é um material natural terroso de granulação fina que geralmente adquire, quando umedecida com água, certa plasticidade. As argilas são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, denominados argilo-minerais (SOUZA SANTOS, 1989).

Os materiais cerâmicos compreendem os materiais inorgânicos ou não metálicos de emprego em engenharia (materiais de construção) ou produtos químicos inorgânicos (excetuados os metais e suas ligas), que são utilizáveis comumente após tratamento em temperaturas elevadas (ABNT, NBR 13818:1997). Os materiais cerâmicos, por sua vez, são subdivididos em: cerâmica vermelha, cerâmica branca, vidros e cerâmicas especiais.

A indústria de cerâmica é uma das mais antigas do mundo pela abundância da matéria-prima e pela facilidade de moldagem. Os produtos cerâmicos, sob o ponto de vista dos materiais de construção civil, são obtidos pela moldagem, secagem e queima de argila ou misturas que a contenham.

A cerâmica vermelha (telhas, tijolos e manilhas) e a cerâmica branca (azulejos, sanitários e porcelanas) são constituídas principalmente pela argila, que é um material composto basicamente por silicatos de alumínio hidratados, tais como a caulinita, haloisita, pirofillita e mont-morilonita. O óxido de ferro é que confere a cor avermelhada de muitos produtos cerâmicos (MUNZ; FETT, 1999).

A argila é usualmente plástica após ser suficientemente pulverizada e umedecida e é, nesta condição, conformada. Após a secagem, ela se torna rígida e adquire alta dureza após a queima em temperaturas elevadas. As cerâmicas tradicionais à base de sílica, alumina ou magnésia são também muito utilizadas como refratários em fornos e dispositivos utilizados na fusão e tratamentos térmicos dos metais e ligas.

2.3.1. Placas Cerâmicas

As placas cerâmicas se enquadram na classificação dos materiais de construção e inserem-se no grupo dos materiais cerâmicos no grande conjunto dos materiais sólidos. A produção de artefatos em cerâmica existe há cerca de 7.000 anos, sendo uma das mais

antigas no mundo. Apesar do avanço tecnológico, que aponta o material cerâmico como um material do futuro, ainda hoje, utilizam-se no setor da indústria cerâmica basicamente formulações e métodos desenvolvidos há cerca de 300 anos atrás, com pouco controle projetual dos produtos (FERNANDES, 1999).

Nos últimos anos, alguns centros de pesquisa vêm desenvolvendo novas tecnologias para cerâmica, tanto no campo químico quanto eletromecânico, dessa maneira, visando a uma maior e melhor aplicação deste abundante material. Entretanto os processos convencionais são ainda largamente utilizados nas indústrias cerâmicas tradicionais.

De acordo com Costa e Silva (2001), as placas cerâmicas utilizadas para revestimento são fabricadas a partir de dois tipos de matérias-primas naturais — as argilosas e não argilosas para a composição da massa — e por matérias-primas não naturais para os vidrados e corantes. Após a preparação da massa, ela é conformada, através de prensagem ou extrusão, seguida pelas etapas de queima do biscoito e aplicação do vidrado, cuja ordem sequencial depende do processo industrial empregado (biqueima ou monoqueima).

As placas cerâmicas são amplamente utilizadas no setor da construção civil em obras novas e reformas. Em função da resistência, aparência e funcionalidade são aplicadas como revestimento de pisos e paredes de ambientes industriais, comerciais, residenciais e em locais públicos. As principais características técnicas dos revestimentos cerâmicos são: absorção de água, abrasão superficial, resistência às manchas, resistência a ácidos, dureza e choque térmico.

As placas cerâmicas podem ser esmaltadas ou não esmaltadas, sendo que o esmalte corresponde a uma fina cobertura vítrea que impermeabiliza e decora uma das faces da placa. O esmalte pode ser aplicado no suporte cru — em que a peça sofre uma única queima (monoqueima) — ou aplicado no suporte já queimado, sendo realizada uma segunda queima (biqueima). A terceira queima é utilizada em placas já queimadas e decoradas em monoqueima ou biqueima, que são submetidas a uma nova esmaltação e queima, em que se busca um requinte no acabamento decorativo.

Ao empregar o critério de cor do produto queimado, pode-se dividir os revestimentos cerâmicos em queima vermelha e queima branca. A cor do produto queimado depende, quase que exclusivamente, do conteúdo de óxidos colorantes presentes na composição (CONSTANTINO *et al.*, 2006). Constantino *et al.* aduzem que o revestimento cerâmico também pode ser classificado de acordo com o processo de preparação da massa, ou seja, via úmida e via seca.

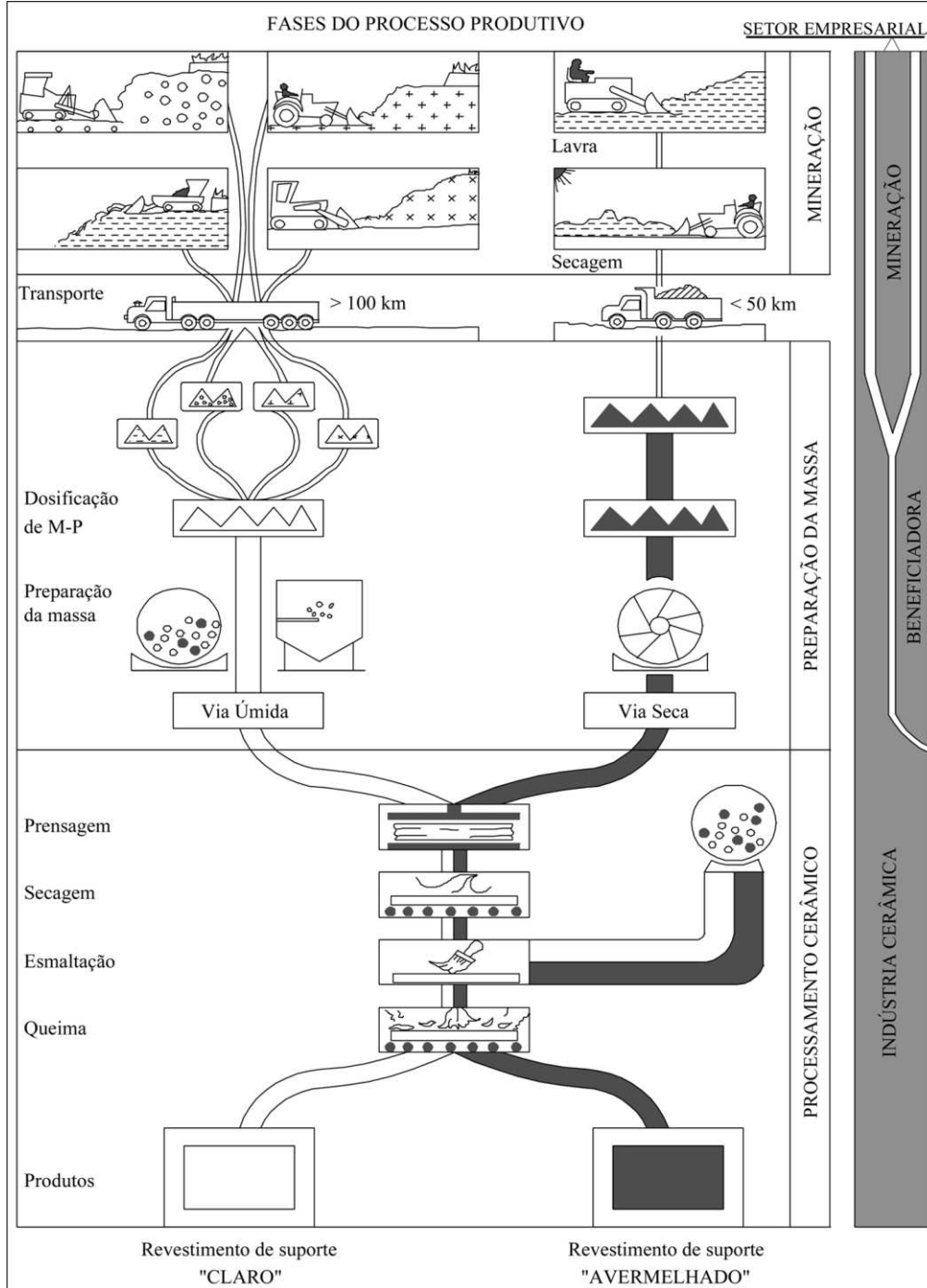
No processo de preparo via úmida, faz-se a mistura de várias matérias-primas (argilas, materiais fundentes, talco, carbonatos, etc.), que são moídas e homogeneizadas em moinhos de bolas, em meio aquoso, a seguir, é realizada a secagem e granulação da massa em *spray dryer* (atomizador) e, por fim, a conformação, decoração e queima.

A seleção das matérias-primas busca dar cor branca ou clara aos produtos (biscoito ou suporte). Esse tipo de processo é utilizado na região Sul, no polo cerâmico de Criciúma (SC), no Paraná, e, em São Paulo, nos polos de Mogi-Guaçu e da Grande São Paulo. Por sua vez, o processo de preparo via seca refere-se às placas cerâmicas feitas por processo de moagem a seco das matérias-primas, por moinhos de martelo e pendulares e, depois, levemente umidificadas para a prensagem. Os pisos feitos por esse processo são típicos de Santa Gertrudes, mas são encontrados também em outras localidades do estado de São Paulo.

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento (ANFACER) e a Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento (ASPACER), 65% da produção brasileira são realizadas pelo processo de via seca e 35% por via úmida. As vantagens da preparação da massa via seca em relação à via úmida estão nas menores manutenções das instalações, nos menores custos energéticos e menor impacto ambiental. No entanto, a via seca possui alguns limites tecnológicos, pois não permite obter granulometria comparável a da via úmida, não processa uma mistura com vários componentes de natureza diversa simultaneamente, porque a agregação das partículas ocorre de maneira diferente, e ainda apresenta problemas com prensagem em relação ao material atomizado.

A figura 1 mostra o fluxograma do processo de transformação e da produção de revestimentos prensados:

Figura 1: Fluxograma do processo de transformação e da produção de revestimentos prensados



Fonte: Adaptado de Barba *et al.* (1997)

As placas cerâmicas são classificadas segundo uma escala de resistência à abrasão, que define a resistência ao desgaste provocado pelo tráfego de pessoas. Essa classificação é dada pelo número PEI adotado, conforme elencado na Tabela 2:

Tabela 2: Classificação das placas cerâmicas em função da resistência à abrasão

PEI nº	Resistência	Local de aplicação
1	Baixa	Paredes (desaconselhável para pisos)
2	Média	Banheiros e quartos residenciais
3	Média alta	Corredores, entradas, cozinhas residenciais
4	Alta	Lanchonete, bancos, restaurantes, escolas e hospitais
5	Altíssima	Áreas industriais, supermercados, aeroportos e shopping centers

Fonte: ABNT, NBR 13.818:1997

Outros fatores também devem ser analisados em função do ambiente onde o produto vai ser utilizado. A resistência à ação de produtos químicos, taxa de absorção de água, assim como a resistência ao escorregamento são alguns dos itens que devem ser pensados antes de adquirir um produto cerâmico. Os produtos cerâmicos devem atender às prescrições da norma técnica ABNT NBR 13.818:1997, que fixa, entre outros itens, as características exigíveis para fabricação, marcação e declarações em catálogos de placas cerâmicas para revestimento.

2.3.2. Produção e Consumo de Placas Cerâmicas no Brasil

A indústria de revestimentos cerâmicos constitui um segmento da indústria de transformação, inserido no ramo de minerais não metálicos, e tem como atividade a produção de pisos e azulejos, representando, juntamente com a cerâmica vermelha (tijolos, telhas e outros refratários), as louças e o vidro, uma cadeia produtiva que faz parte do complexo industrial de materiais de construção (ANFACER, 2011).

A evolução tecnológica do setor de revestimento cerâmico brasileiro teve impactos significativos a partir dos anos de 1980. Nesta época, começou no setor um processo de reestruturação, com investimentos em modernização, dessa maneira, adquirindo-se equipamentos modernos, novas tecnologias e implantando novos métodos de gestão. Também se investiu em formação e aperfeiçoamento de pessoal, além do desenvolvimento dos chamados “novos produtos cerâmicos”.

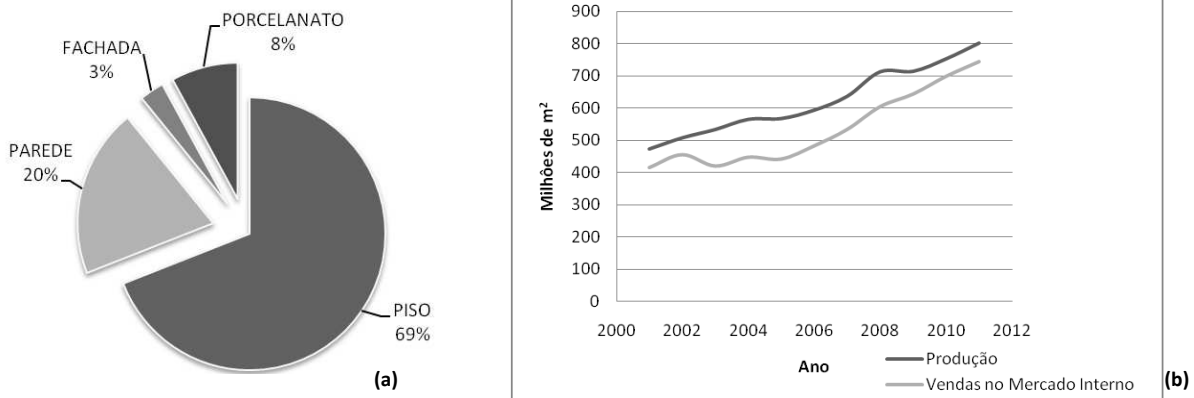
As exportações exigiram das empresas níveis de qualidade internacional e a certificação de seus produtos, pois o câmbio já não era mais favorável às exportações. A tecnologia utilizada vem apresentando uma relativa continuidade, com isso, mantendo a estabilidade do atual padrão tecnológico.

O desenvolvimento tecnológico permitiu alcançar melhores indicadores quanto à absorção de umidade e resistência a ataques químicos e físicos, bem como beleza do desenho. Atualmente, o processo de produção, em geral, é bastante automatizado, utilizando equipamentos de última geração. A interferência humana é maior nas atividades de controle do processo, inspeção da qualidade do produto acabado, armazenagem e expedição (CONSTANTINO et al., 2006). Os efeitos positivos da economia, o crescente aumento da construção civil e a substituição de outros revestimentos (carpetes, madeira, tecidos e vinil) por cerâmica, devido às suas características funcionais e estéticas, impulsionaram o crescimento da indústria.

A melhoria da qualidade da cerâmica de revestimento esmaltada, principalmente no que se refere à resistência ao atrito, foi outro importante fator para o crescimento da indústria, assim, contribuindo para a maior utilização desses materiais em lugares de grande movimento, como aeroportos, hotéis, escolas e hospitais.

A crescente evolução da produção e do consumo de revestimentos cerâmicos no Brasil, nos últimos anos, e os diferentes tipos de produtos cerâmicos produzidos pela indústria nacional de cerâmica são apresentados nas figuras 2 (a) e (b).

Figura 2: Comparativo dos tipos de produtos cerâmicos produzidos no Brasil (a) e a evolução da produção e vendas de revestimentos cerâmicos no Brasil (b)



Fonte: ANFACER (2011).

2.3.3. Porcelanatos

A norma ABNT NBR 13.818:1997 classifica o porcelanato como um produto cerâmico com especificação Bla², significando material prensado com absorção de água menor ou igual a 0,5%. A partir da denominação técnica “grês porcelanato”, pode-se definir as origens e características deste material. De fato, grês, na terminologia cerâmica, indica um material muito compacto, constituído por várias fases cristalinas dispersas em uma matriz vítrea, enquanto o adjetivo porcelanato tem uma raiz etimológica no termo porcelana, um nobre material em evidência e apreciado há séculos.

O porcelanato, entre os materiais para pavimentação, é o que melhor se presta a solicitações de desgaste em consequência da sua elevada dureza superficial. Além disso, apresenta características favoráveis para o desempenho de resistência mecânica à flexão e compressão, ao ataque químico e manchas (OLIVEIRA, 1998).

2.3.4. Telhas Cerâmicas

Normalizadas pela ABNT NBR 15.310:2009 (Componentes Cerâmicos – Telhas), as telhas cerâmicas são definidas como componentes destinados à montagem de cobertura estanque à água, de aplicação descontínua. São os principais tipos de telhas cerâmicas: francesa, colonial, *plan*, romana, plana ou germânica.

As telhas cerâmicas são fabricadas com argila conformada, por prensagem ou extrusão, e queimadas de forma a permitir que o produto final atenda às condições determinadas pela norma.

² **Bla**: Grupo de absorção do porcelanato. As normas técnicas determinam grupos de absorção para facilitar a recomendação de uso. Nesta classificação, a letra maiúscula (B) significa que o produto é prensado. O numeral romano (I, II, III) seguido pela letra minúscula (a, b) determina o grupo de absorção de água.

2.3.5. Tijolos Cerâmicos

A norma ABNT NBR 7170:1983 _ Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria – define o tijolo maciço como aquele que possui todas as faces plenas de material, podendo apresentar rebaixos de fabricação em uma das faces de maior área. O tijolo maciço cerâmico é fabricado com argila, conformado por extrusão ou prensagem, queimado à temperatura que permita ao produto final atender às condições determinadas pela norma.

2.3.6. Blocos Cerâmicos

O bloco cerâmico de vedação é definido como um componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. Deve ser fabricado por conformação plástica de matéria-prima argilosa, contendo ou não aditivos, e queimado a elevadas temperaturas. A norma que dispõe sobre este material é a ABNT NBR 15270:2005 – Componentes cerâmicos: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.

2.3.7. Placa Cimentícia

A norma ABNT NBR 15.498:2007 define Placa Cimentícia Plana o produto resultante da mistura de cimento portland, agregados e eventuais adições ou aditivos com reforço de fibras, fios, filamentos ou telas, com exceção de fibras de amianto.

Visando a uma maior qualidade da argamassa para a confecção de placas, como empregabilidade quando fresca, resistência mecânica, durabilidade, impermeabilidade e constância de volume após o endurecimento, de acordo com Petrucci (1998), são necessários: seleção criteriosa dos materiais (cimento, agregado, água e eventuais aditivos), quanto ao tipo, qualidade e uniformidade; proporcionamento correto; quantidade de água em relação ao material seco; a manipulação adequada, quanto a mistura, transporte, lançamento, adensamento; e cura cuidadosa.

A influência da relação água/cimento interfere na determinação da porosidade e resistência da argamassa. A ABNT NBR 11.173:1990 recomenda uma relação

água/cimento máxima de 0,45. Libório (1989) sugere os seguintes parâmetros característicos de dosagem de argamassa:

- a) relação agregado miúdo/cimento: 2 a 3,2;
- b) relação água/cimento: 0,35 a 0,45;
- c) agregado miúdo: areia quartzosa e, ou britada;
- d) cimento: portland comum ou ARI (alta resistência inicial);
- e) consumo de cimento: 500 a 680kg/m³.

As proporções usuais de cimento e agregado miúdo destinadas à argamassa variam entre 1:1,5 e 1:3,0, o que conduz a consumos de cimento entre 800 a 520kg/m³ (BAUER, 1994). Libório (1989) afirma ser possível confeccionar argamassas de boa qualidade com teores de cimento inferiores aos 700kg/m³, normalmente divulgados, respeitando-se o limite mínimo de 450kg/m³ e relação agregado/cimento máxima de 3,5.

De forma geral, podem-se distinguir as seguintes etapas na produção de elementos cimentícios pré-fabricados: a preparação das formas, preparação da argamassa, lançamento e adensamento da argamassa, a cura, transporte/montagem e acabamento.

Na tabela 3, apresenta-se um resumo dos principais materiais trabalhados com serra-mármore nas obras.

Tabela 3: Resumo dos principais materiais trabalhados com serra-mármore nas obras

-
- **Rochas Ornamentais:** Granitos, Mármore e Ardósias
 - **Materiais Cerâmicos:** Placas Cerâmicas, Porcelanatos, Telhas, Tijolos e Blocos cerâmicos
 - **Placas Cimentícias**
-

2.4. Outros Materiais de Construção Trabalhados com Serra-Mármore

Observa-se, na construção civil, além das rochas, cerâmicas e placas cimentícias, que outros materiais são trabalhados com a serra-mármore nos canteiros e são apresentados neste item.

2.4.1. Telhas de Concreto

Diversos projetos arquitetônicos vêm adotando nas coberturas das edificações o uso das telhas de concreto. Um artefato moderno, fabricado com uma argamassa homogênea de cimento, areia, água, pigmento e, opcionalmente, aditivos plastificantes. Estima-se que há um enorme potencial, ainda inexplorado, no mercado brasileiro de telha de concreto (SINDUSCON, 2011). Fabricadas em perfis variados e com textura em cores obtidas pela aplicação de camada de verniz especial de base polímero acrílica, caracterizam-se ainda pela alta resistência das peças. No Brasil, são normalizadas pela ABNT NBR 13858:1997 (Telhas de Concreto).

2.4.2. Blocos de Concreto

Blocos de concreto são componentes de grande aceitação na atualidade. Pois são versáteis, tendo aplicação na execução de muros divisórios, alvenaria estrutural, de vedação e execução de piscinas. Sua fabricação ocorre a partir da composição de cimento portland, agregados e água, sendo ainda permitido o uso de aditivos, desde que não acarretem prejuízo às características do produto.

Devem ser homogêneos, compactos e com arestas vivas, não apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento, resistência e durabilidade ou o acabamento em aplicações aparentes, sem revestimento. Se destinados a receber revestimento, devem ter a superfície suficientemente áspera para garantir uma boa aderência.

2.4.3. Telhas de Fibrocimento

Fibrocimento é um material de construção composto por mais de 90% de cimento e menos de 10% de fibras de amianto crisotila (amianto branco), desenvolvido no final do século passado pelo industrial austríaco Ludwig Hatschek. Desde então, esse material tem sido largamente utilizado na fabricação de telhas, caixas d'água e acessórios para telhados.

As telhas de fibrocimento, além do baixo custo, destacam-se pelas propriedades incombustíveis, leveza, resistência e grande durabilidade. Material de fácil instalação, existindo peças de concordância e acabamento e que exige estrutura de apoio de pouco volume em perfis variados e também autoportantes, com até 9,0m de comprimento (RIBEIRO *et al.*, 2002).

2.4.4. Placas de Gesso Acartonado

A norma ABNT NBR 14715:2010 (Chapas de Gesso Acartonado) define as placas como chapas fabricadas industrialmente mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, onde uma é virada sobre as bordas longitudinais e colada sobre a outra. Em relação ao aspecto, as chapas devem ser sólidas, ter faces planas, sem ondulação aparente e sem manchas. O cartão deve estar solidário ao gesso.

Na tabela 4, apresenta-se um resumo de outros materiais comumente trabalhados com a serra-mármora nos canteiros de obras.

Tabela 4: Resumo dos outros materiais trabalhados com serra-mármora nas obras

- Concreto:	Telhas e blocos de concreto
- Fibrocimento:	Telhas e placas de Fibrocimento
- Gesso:	Placas e Gesso Acartonado

CAPÍTULO 3

SERRA-MÁRMORE PORTÁTIL

“Imagine uma nova história para sua vida e acredite nela”.

Paulo Coelho

3. Serra-Mármore Portátil

Considerando a necessidade de se conhecer as características da serra-mármore portátil e seus acessórios, para um estudo da carga padrão para implementação de um método de determinação do nível de potência sonora, neste item, apresentam-se informações sobre o equipamento. Faz-se necessário tal estudo para um maior entendimento das atividades efetuadas com esta ferramenta, largamente utilizada na construção civil nos dias atuais.

3.1. Características da Serra-Mármore

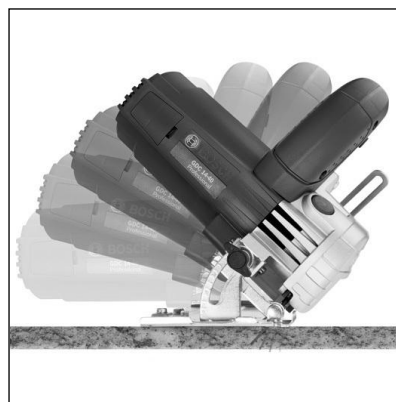
Segundo a ABNT NBR 15910:2010, a serra-mármore foi especificamente projetada para cortes de pedras em geral, concretos alvenarias, materiais vítreos e revestimentos cerâmicos.

A serra-mármore é uma máquina elétrica manual portátil, composta por um motorreductor induzido de potência elevada que trabalha em alta rotação, em conjunto com um disco diamantado côncavo removível. Destinada a cortes secos e molhados, retos e angulares, é largamente utilizada na construção civil para pequenos cortes e acabamentos em pisos, azulejos, telhas, alvenarias, blocos, tijolos, madeiras, entre outros materiais. Destaca-se pela sua versatilidade, praticidade, leveza e ergonomia, permitindo seu aproveitamento nos diversos usos e em todas as etapas de uma obra. A figura 3 ilustra a operação de uma serra-mármore em corte reto (a) e sua versatilidade (b):

Figura 3: Serra-mármore operando em corte reto (a) e ilustrando sua versatilidade (b).



(a)



(b)

Fonte: BOSCH FERRAMENTAS DO BRASIL (2014)

No Brasil são distribuidores de máquinas elétricas tipo serra-mármore portátil as empresas: Bosch, DeWalt, Makita, Black&Decker, Metabo e Ferrari. Segundo manuais técnicos destes fabricantes, destacam-se as características:

- a) durabilidade e baixos custos de manutenção;
- b) punho emborrachado, tornando o empunhamento mais confortável e seguro;
- c) motor: potência média de 1.300 watts e torque de 1,0nm tornando o corte rápido;
- d) botão-trava do eixo facilita a troca de acessórios e dispensa o uso de chave fixa;
- e) placa-base com ajuste: cortes angulares até 45º e profundidade de corte até 40mm;
- f) placa-base com entrada para guia paralelo: facilita os cortes em série;
- g) placa-base removível permite o uso da ferramenta sem apoio;
- h) torneira metálica com jato d'água direto na extremidade do disco;
- i) rolamentos vedados/blindados e sistema de ventilação contra poeira e sujeira;
- j) leveza: peso médio de 3kg.

3.2. Comparativo dos Diversos Fabricantes Nacionais

Com objetivo de uniformizar as informações sobre esta ferramenta, produzida por diferentes empresas, constituiu-se uma tabela comparativa com as principais características, que se enquadram naquelas recomendadas pelas normas ABNT NBR 15910:2010 e IEC 60745-1: 2006, conforme se elenca na tabela 5.

Tabela 5: Serras-mármore manuais comercializadas no Brasil e suas características técnicas

LINHA PROFISSIONAL PARA CORTE DE PISOS E AZULEJOS						
Uso na Construção Civil - Discos Diamantados até 125mm						
Características Técnicas						
Dados	Bosch	DeWALT	MAKITA	Black & Decker	Metabo	Ferrari
Modelo	GDC1440	DW861BK	4100NSX	TC1200	TCC4110	950P1V
Potência (W)	1.400	1.500	1.400	1.200	1.200	950
Rotação sem Carga (RPM)	12.000	12.000	12.000	13.000	12.000	12.000
Diâmetro Máximo do Disco (mm)	125	125	125	110	110	110
Diâmetro do Furo do Disco (mm)	20	20	20	20	20	20
Capacidade de Corte - espessura(mm)	40	40	32,5	35	45	34
Tensão Nominal (110-220 Volts)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Peso (Kg)	2,6	2,8	3	3,5	3,2	3,5

Manuais técnicos - Bosch, DeWalt, Makita, Black&Decker, Metabo e Ferrari

FONTE: Adaptado de JOMAFI FERRAMENTAS LTDA (2012)

3.3. Disco Diamantado de Serra-Mármore

Segundo a ABNT NBR 15910:2010, o disco diamantado é um disco de metal, segmentado ou não, côncavo ou não, com grânulos de diamantes fixados de modo definitivo na sua área de corte.

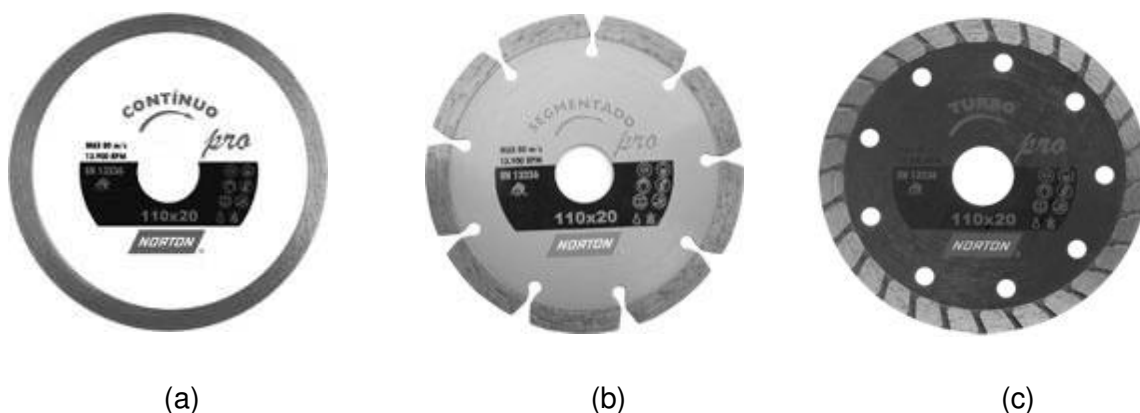
Apesar de serem conhecidos como discos para corte, os discos diamantados são uma espécie de abrasivo, onde seu corte é chamado de desbaste linear. Os grãos de abrasivos ou diamantes são fixados no disco através de uma liga metálica a qual é denominada “banda de corte”. Os diamantes expostos na superfície da banda desbastam o material. Na medida em que a liga metálica desgasta, os diamantes da superfície vão quebrando e sendo eliminados junto com o material cortado. Ao mesmo tempo, novos diamantes afloram na superfície da banda (ERSOY; ATICI, 2004).

Em consulta aos fabricantes nacionais, observa-se que os “tipos de banda” dos discos diamantados comercializados no mercado possuem diferentes aplicações e são classificados como disco contínuo, segmentado e côncavo/turbo. No disco contínuo, a banda contínua oferece uma superfície de corte totalmente plana e contínua, indicada para aplicações que exigem alta qualidade de acabamento, tais como revestimentos cerâmicos, pois sua ação de corte ininterrupta reduz o lascamento da superfície do material.

Os discos côncavos ou turbos combinam a velocidade, o acabamento e a estabilidade da banda lisa com a refrigeração da banda segmentada. Por isso, podem ser usados para corte a seco sem risco de superaquecimento. Indicados para corte de materiais intermediários (que não requerem um acabamento com extrema lisura, mas também não podem lascas ou apresentar rebarbas), para uso em mármore, granitos e pedras decorativas.

Os discos segmentados proporcionam cortes com menor atrito, pois as gargantas eliminam o contato contínuo entre a banda de corte e o material, ajudando a refrigerar ambos. Pode ser usado para corte a seco sem risco de superaquecimento. As diferenças entre os tipos de discos podem ser notadas em suas extremidades, conforme a figura 4 (a), (b) e (c).

Figura 4: Discos diamantados tipo contínuo (a), segmentado (b) e côncavo ou turbo (c)



Fonte: NORTON (2013)

De forma geral, recomenda-se o uso com água ou a operação em cortes pausados, pois a geometria do disco não gera ventilação suficiente para refrigerar a banda de corte. Indicado para corte de pisos cerâmicos, ardósia, azulejos e porcelanatos. Existem no mercado discos denominados de “corte a seco” e outros de “corte com água” ou “molhado”. A água, nos chamados discos de corte com água, é utilizada para resfriar a banda de corte e remover a poeira residual. Já discos de corte a seco usam a ventilação gerada pela rotação do disco para resfriar a banda de corte.

Segundo o catálogo do fabricante de discos diamantados da empresa Irwin (2011), por via de regra, tanto os discos de corte a seco podem ser usados com água como os discos de corte com água podem ser usados a seco. Em ambos os casos, a diferença está na vida útil do disco. Quando utilizados a seco, os discos apresentam uma queda de aproximadamente 70% no rendimento. Por isso, recomenda-se o uso de água, seja qual for o disco. Os discos diamantados são fabricados em liga especial de aço e com têmpera total no corpo, buscando sempre atingir uma dureza diferenciada na área de corte.

A largura da linha de corte é geralmente maior do que a da banda lisa, podendo apresentar vibração. É indicada para corte de materiais brutos que não requerem alta precisão e qualidade de acabamento e comumente utilizada em placas cerâmicas, concreto, alvenaria, tijolos e telhas.

De acordo com Kreh (2004), o termo “diamantado”, utilizado para designar o disco, é tecnicamente chamado de diamante industrial, de baixo valor comercial. É um carbono cristalizado bruto, originário de vulcões, formado no interior da terra em meio a altíssimas temperaturas e pressões. É encontrado em depósitos aluviais ou leitos de rios, tendo formas, tamanhos e cores variados. Na indústria, o abrasivo diamantado é utilizado na forma natural, sintética e por nitrato de boro cúbico (CBN), conforme descrição:

- a) Natural: em forma de pó, pedra bruta ou lapidada.
- b) Sintético: o diamante sintético é um produto de laboratório, desenvolvido, pela primeira vez, em 1954, pela empresa norte-americana General Electric. Por meio de máquinas, com um controle muito preciso de alta pressão e temperatura, criam-se condições de conversão do grafite em diamante, obtendo as características de formato e resistência, assim, permitindo a produção de grãos com características definidas para cada aplicação.

- c) Nitreto de boro cúbico - CBN – Borazon: em forma de pó, pastilha ou insertos. Semelhante ao diamante sintético, é um produto de laboratório desenvolvido pela empresa norte-americana General Electric, sua maior característica é ter uma produtividade melhor em metais ferrosos, porque é químicamente inerte com esses materiais de trabalho.

As características dos discos comercializados no Brasil se enquadram naquelas recomendadas pelas normas ABNT NBR 15910:2010 e IEC 60745-1:2006, conforme as especificações técnicas expostas na tabela 6.

Tabela 6: Características técnicas dos discos diamantados comercializadas no Brasil

ESPECIFICAÇÕES DOS DISCOS DIAMANTADOS	
Parâmetros	Valores
Rotação	De 12.000 a 14.000RPM
Diâmetro	De 110 a 125mm
Furo Central	20mm
Espessura da Alma do Disco	De 1,4 a 1,6mm
Altura do Diamante	De 6 a 8mm
Espessura do Diamante	De 1,8 a 2,2mm

Fonte: Irwin (2011)

CAPÍTULO 4

CONCEITOS RELEVANTES PARA O ESTUDO DO RUÍDO

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

Charles Chaplin

4. Conceitos Relevantes para o Estudo do Ruído

4.1. O Som e o Ruído

O ruído e o som são conceitos interligados, mas também podem ser diferenciados conceitualmente, cada um com a sua particularidade. Assim, o som é uma percepção sensorial; e o ruído é conhecido como sendo um som indesejado. O som se caracteriza por flutuações de pressão em um meio compressível que atinge o ouvido humano. A amplitude das flutuações e a frequência com que se repetem, em uma faixa de valores, geram a sensação do som (GERGES, 2000).

Saliba (2004) afirma que o som é originado por uma vibração mecânica que se propaga no ar e atinge o ouvido humano. Quando esta vibração estimula o aparelho auditivo, ela é chamada de vibração sonora. Fenômeno capaz de causar ondas de pressão no ar – considerado uma fonte sonora.

O ruído é resultante da superposição desarmônica de sons (FERNANDES, 2001). Bistafa (2006) define o ruído como um som sem harmonia, em geral, de conotação negativa, muitas vezes, considerado “indesejável”. Nas últimas décadas, os ruídos urbanos e industriais se transformaram em uma das formas de poluição que afetam as pessoas e, a partir de 1989, pela Organização Mundial de Saúde (OMS), o ruído passou a ser tratado como um problema de saúde pública.

4.2. Propagação do ruído

Uma fonte sonora emite uma determinada potência sonora que se propaga no meio, desse modo, gerando um nível sonoro que pode ser medido nas imediações da fonte. O som é atenuado à medida que se propaga, a partir da fonte até o receptor, ao longo de uma trajetória (BERANEK, 1971).

A onda sonora tem características próprias como o comprimento de onda e velocidade de propagação. Em especial, a velocidade de propagação do som no ar depende da densidade, temperatura e pressão atmosférica. Por ser uma vibração longitudinal das moléculas no ar, esse movimento oscilatório é transmitido entre as moléculas até chegar ao receptor (HALLIDAY; RESNICK, 1994).

Em campo livre, não há obstáculos à propagação. Em recintos fechados, a propagação da onda, a partir da fonte, sofre interferência das ondas que são refletidas nas superfícies que delimitam o recinto – parede, teto e piso (BISTAFA, 2006).

O Campo Livre é conhecido como aquele campo acústico onde as ondas sonoras se propagam livremente sem reflexões. Neste campo, a onda obtida é praticamente a onda direta irradiada pela fonte sem a interferência das ondas refletidas em obstáculos. Em alguns casos, para a simulação de uma condição real, existe a condição de campo livre sobre plano refletor (BERANEK, 1992).

4.3. Espectro Sonoro

O espectro sonoro se refere à relação entre amplitude e frequência de uma onda sonora. A Análise de Fourier demonstra que qualquer forma de onda pode ser decomposta em uma soma de ondas senoidais. A frequência destas ondas que formam o espectro guarda uma relação numérica com a frequência mais baixa da série, denominada frequência fundamental. As demais frequências, múltiplos inteiros da frequência fundamental, são conhecidas como frequências harmônicas (FERNANDES, 2001).

Instrumentos de medição, normalmente, fornecem os valores de grandeza sonora em bandas ou faixas de frequências obtidos por meio de filtros para análise espectral, denominados *filtros de 1/n oitava*. Esses filtros se caracterizam por uma frequência central da banda e pelas frequências de corte inferiores e superiores. Segundo Bistafa (2006), a banda de oitava mede a energia sonora contida na banda de passagem de um filtro, cuja frequência de corte superior da banda é o dobro da frequência de corte inferior, denominando-se oitava.

Os filtros mais comumente utilizados são os filtros de 1/1 oitava e de 1/3 oitava. Nas faixas de frequência audíveis, as bandas centrais dos filtros de 1/1 oitava são: 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 e 16.000Hz; enquanto que para 1/3 oitava são: 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000 e 10000Hz.

4.4. Intensidade Sonora

A intensidade sonora é definida como a quantidade média de energia, na unidade de tempo, que atravessa uma área unitária perpendicular à direção de propagação da onda. A rigor, a intensidade sonora é uma grandeza vetorial de magnitude $[W/m^2]$ que possui direção e sentido, indicando o fluxo da energia sonora que atravessa uma superfície (BISTAFA, 2006). Essa intensidade se traduz com uma maior ou menor amplitude na vibração ou na onda sonora. Como valor de referência para as medições, fixou-se a menor intensidade sonora audível, adotado por $10^{-12}W/m^2$.

4.5. Pressão Sonora

Conforme Beranek (1971), se o som ou o ruído é caracterizado por deslocamentos das partículas de um meio elástico em relação às suas posições de equilíbrio, as compressões e expansões do meio causam flutuações de pressão. Como essas flutuações ocorrem devido à propagação de um som, recebem a denominação de pressão sonora. A unidade usual para a pressão sonora é o Newton por metro quadrado (N/m^2) ou Pascal (Pa).

Existe um valor de pressão sonora abaixo do qual o sistema auditivo dos seres humanos não é mais sensibilizado. Esse valor é aproximadamente $2 \cdot 10^{-5}N/m^2$, ou $20\mu Pa$.

4.5.1. Nível de Pressão Sonora

O ouvido humano percebe os estímulos sonoros em forma de variação de pressão. Esta percepção da variação de pressão acontece de forma logarítmica. A faixa da variação de pressão pode se estender desde um valor médio da ordem de $0,00002Pa$ a um valor médio quadrático de pressão da ordem de $200Pa$. Para linearizar esta escala é realizada uma conversão logarítmica dos valores médios quadráticos de variação de pressão com referência à pressão mínima percebida pelo ouvido humano, no caso $0,00002Pa$. A conversão logarítmica destas variações de pressão sonora é denominada de Nível de Pressão Sonora e é caracterizado pelo decibel – dB (GERGES, 2000).

O nível de pressão sonora é a medida física preferencial para caracterizar a sensação da intensidade dos sons (BISTAFA, 2006), representada pela equação:

$$L_p = 10 \log [P / P_{ref}]^2 \quad [\text{dB}] \quad [1]$$

Onde: $P_{ref} = 2.10^{-5} \text{ N/m}^2$

FONTE: Bistafa (2006)

4.6. Potência Sonora

Gerges (2000) explica que uma importante propriedade de qualquer fonte é a potência sonora ou energia acústica total emitida por uma unidade de tempo. Expressa em watt ($1\text{W} = 1\text{J/s}$), a potência sonora é uma energia dependente apenas da própria fonte e independe do meio onde se encontra, podendo ser determinada em câmaras anecoicas, câmaras reverberantes, por medidores de intensidade sonora e através de métodos comparativos em campo livre.

4.6.1. Nível de Potência Sonora

O nível de potência sonora (L_w) é expresso em decibels, tomando-se como potência de referência $W_{ref} = 10^{-12} \text{ W}$ (BISTAFA, 2006), expresso pela equação:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_{ref}} \quad [\text{dB}] \quad [2]$$

Onde: $W_{ref} = 10^{-12} \text{ Watts}$

FONTE: Bistafa (2006)

4.7. Nível Sonoro Equivalente

O nível sonoro equivalente é um valor constante que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído durante o período de medição. Assim, é definido um valor único, chamado nível equivalente de pressão sonora, L_{eq} , que é o nível sonoro médio integrado durante um intervalo de tempo.

A equação do nível sonoro equivalente é expressa por:

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left[\frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\} \quad [3]$$

Onde: $T = (t_2 - t_1) =$ tempo total de medição,
 $p(t) =$ pressão sonora instantânea,
 $p_0 =$ pressão de referência ($2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$).

FONTE: Saliba (2004)

Atualmente, os equipamentos de medição de ruído realizam a equivalência dos níveis variáveis e apresentam o nível sonoro médio em um intervalo de tempo.

4.8. Ambientes específicos na determinação do nível de potência sonora

Quando a energia é emitida por uma fonte e transmitida para o meio, formam-se campos acústicos característicos que dependem da distância entre a fonte e o ponto receptor, além das condições do meio. Se na propagação das ondas sonoras existir algum obstáculo, poderá ocorrer a reflexão ou difração. Essas ondas que sofrem interferências podem alterar as condições de propagação da onda irradiada diretamente. Em alguns casos, a onda irradiada diretamente pode ter intensidade bastante para não sofrer interferências de ondas que foram refletidas ou difratadas.

Segundo Schultz (1971), de um modo geral, os campos acústicos são: o campo próximo, o campo reverberante e o campo livre. O campo próximo é aquele situado mais próximo à fonte de ruído. O ar sofre turbulência que armazena parte da energia direta da fonte. O campo reverberante é caracterizado pela interferência nas ondas irradiadas diretamente pelas ondas que são refletidas em obstáculos. Neste campo, a densidade (de energia) acústica (ou sonora) é constante. No campo livre, a energia é irradiada diretamente da fonte sonora.

CAPÍTULO 5

ASPECTOS RELACIONADOS AO RUÍDO NAS OPERAÇÕES DE SERRA-MÁRMORE

“[...] cada sonho que você deixa para trás,
é um pedaço do seu futuro que deixa de existir [...]”

Steve Jobs

5. Aspectos Relacionados ao Ruído nas Operações de Serra-Mármore

Os institutos de pesquisa da área da construção civil indicam o grande crescimento dessa indústria nos dias atuais, no Brasil, que voltou a exercer papel de vanguarda na economia nacional e está na rota de um novo e importante ciclo constante de crescimento (SINDUSCON, 2011).

O cenário atual da construção civil busca novos sistemas construtivos que utilizem materiais diferentes dos convencionais, reduzam o tempo de obra e diminuam os custos finais se empregados em larga escala (OLIVEIRA, 2013). No cenário dos equipamentos para uso na construção civil, o baixo custo, a grande disponibilidade e diversidade no mercado têm aumentado o uso das ferramentas elétricas manuais na indústria da construção civil (EMMANOUILIDIS *et al.*, 2009).

Em relação às máquinas e ferramentas de corte na construção civil, nos últimos anos, observa-se um esforço direcionado ao aperfeiçoamento das ferramentas, bem como sua adaptação às novas exigências através da introdução de inovações, tais como novos ligantes metálicos, qualidade dos diamantes, métodos de produção, bem como das máquinas de corte, com o objetivo de conseguir uma ferramenta eficiente e eficaz, com vida útil aumentada e grande capacidade de corte, aspectos sempre associados à geração de ruído (BARBOSA, 2011).

5.1. Ruído na Construção Civil

Com o crescimento acelerado da tecnologia que interfere nas atividades humanas e de vantagens decorrentes, aparecem vários efeitos nocivos à saúde e à segurança individual e coletiva. Na construção civil, um dos subprodutos, o ruído, está presente em quase todas as atividades profissionais no canteiro de obras. São muitos os problemas decorrentes do ruído, que vão desde a dificuldade de comunicação, o estresse, a falta de concentração até as desordens físicas e a surdez progressiva (MAIA; BERTOLI, 1998).

A indústria da construção e suas atividades mecanizadas são responsáveis por sérios problemas de barulho excessivo, tanto por níveis internos como externos, emitidos principalmente pelo maquinário e, normalmente, intensificados com o aumento da potência dos equipamentos (SEIXAS *et al.*, 2012).

As condições da construção civil apresentam uma realidade preocupante em relação à saúde ocupacional. Algumas tarefas são executadas manualmente e com ferramentas precárias. O trabalhador prolonga seu período de atividades e aumenta, em muito, o seu desgaste físico. Deve-se ressaltar que a construção civil, no Brasil, é um mercado de perfil específico, grandes índices de informalidade, serviços variados, muitas vezes, com profissionais sem qualificação adequada e alta rotatividade de empregados (SALGADO *et al.*, 2011).

Cada construção tem especificidades próprias, gerando tarefas descontínuas e tendo como produtos finais empreendimentos únicos. O Brasil, um país onde o ramo da construção impulsiona o desenvolvimento e emprega uma quantidade significativa de recursos humanos, também, sofre com problemas advindos do ruído excessivo.

A poluição sonora é, de acordo com a Organização Mundial da Saúde, o tipo de poluição que atinge o maior número de pessoas no mundo, depois da poluição do ar, a partir das emissões atmosféricas e a poluição da água (WHO, 2011). A construção civil tem sua parcela de contribuição na poluição sonora gerada nos dias atuais. Trabalhadores desse setor, frequentemente, utilizam diferentes máquinas e ferramentas para execução de suas tarefas. O Instituto de Segurança e Saúde Ocupacional dos EUA revela que cerca de 90% da mão de obra de construção daquele país foram expostas a níveis sonoros maiores que 85dB(A) (NIOSH, 2011).

Estudos recentes indicam evidências crescentes de que o ruído pode causar outros efeitos na saúde, como o aumento da pressão arterial, reações de estresse, aumento do risco de infarto do miocárdio e aumento da relação taxa de incidência de acidente vascular cerebral (SJÖSTRÖM *et al.*, 2013).

Exposição ao ruído é uma questão de segurança e saúde em todas as indústrias dependentes de ferramentas e maquinários para execução das tarefas requeridas (NEITZEL, 1998). Cada vez mais trabalhadores estão potencialmente expostos ao ruído. A rotatividade da mão de obra torna ainda mais difícil implementar programas de controle para conservação da saúde auditiva (SUTER, 2002). A mobilidade entre esses empregados, em curtos períodos de trabalho, dificulta a manutenção de registros. O Anuário Nacional de Pesquisa para a Prevenção da Perda Auditiva Ocupacional nos Estados Unidos assinala que segurança e saúde no trabalho para todas as pessoas se concretizam através da investigação e prevenção (STEPHENSON, 2013).

Parte da origem do ruído na construção civil é proveniente de máquinas e equipamentos elétricos, como as máquinas de corte, betoneira, bate-estacas, serra circular, serra-mármore, furadeira e esmerilhadeiras.

Tolerâncias cada vez mais justas, processos de fabricação mais refinados, materiais mais avançados e cuidados na instalação e operação das máquinas contribuem significativamente na redução do problema (MAIA, 1999).

Segundo Sellappan (2013), o trabalhador da construção civil está exposto a níveis sonoros elevados por um tempo considerável. Diferentes tipos e tamanhos de equipamentos elétricos são responsáveis pela geração do ruído nos canteiros de obras. Suter (2002) faz referência aos níveis máximos e mínimos de pressão sonora de equipamentos utilizados em obras, conforme ilustra a tabela 7.

Tabela 7: Equipamentos e níveis sonoros

EQUIPAMENTO	VARIAÇÃO dB(A)
Compressor	70-114
Escavadeira	70-108
Máquina de terraplenagem	70-104
Serra de corte	70-106
Grua	70-110
Empilhadeira	62-125
Marreta manual	56-110
Martelete	70-112
Caminhão	70-123
Maçarico	70-118

FONTE: Adaptada de Neitzel (1998) e Suter (2002)

Hayden e Zechmann (2006) afirmam que as máquinas elétricas portáteis, quando em contato com um material de trabalho, geram níveis sonoros mais elevados em relação ao equipamento acionado sem contato com qualquer material.

Segundo Callahan (2004), a exposição ao ruído de trabalhadores nos arredores de máquinas portáteis é impactada pela natureza do som (tipo de máquina), distância de operação, tipo de trabalho realizado e superfícies de reflexão nos arredores.

O Centro de Controle e Prevenção de Doenças associadas ao Ruído do Instituto de Segurança e Saúde Ocupacional dos EUA apresenta uma base de dados do ruído gerado por máquinas elétricas portáteis, incluindo as lixadeiras, serra circular de madeira, furadeiras, máquina de desbaste, serra tico-tico, marteladeira, britadeira, parafusadeira e máquina de polir. Destaca-se, nessa base de dados, que as máquinas elétricas geram mais ruído quando operadas com carga, durante sua utilização (NIOSH, 2011). Esta base de dados, porém, não apresenta níveis sonoros gerados pela serra-mármore ou qualquer informação relacionada à ferramenta.

5.2. Normas Regulamentadoras de Segurança do Trabalho e o Ruído

A Portaria nº- 3.214, de 8 de junho 1978, do Ministério do Trabalho instituiu as Normas Regulamentadoras de Segurança do Trabalho (NR), fundamentadas pela Consolidação das Leis do trabalho (CLT) e pela Constituição Federal (CF). As Normas Regulamentadoras (NR) apresentam definições e orientações sobre procedimentos relacionados à Medicina e Segurança do Trabalho no Brasil. São instrumentos normativos que subsidiam as leis nos direitos e deveres das empresas, de observância obrigatória para a preservação da saúde e bem-estar dos trabalhadores (BARBOSA, 2011).

A Norma Regulamentadora NR 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) – estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, por meio da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho. Segundo a NR 9, devem ser iniciadas ações preventivas para minimizar os efeitos do ruído quando a dose for superior aos critérios estabelecido na Norma Regulamentadora NR 15. Ou seja, valores acima do nível de ação implicam no início imediato de ações preventivas, como monitoramento periódico da exposição, informação aos trabalhadores e controle médico com o intuito de minimizar a probabilidade das exposições a agentes ambientais que ultrapassem o limite de tolerância. O objetivo das ações preventivas é preservar a saúde e a integridade dos trabalhadores em cada estabelecimento da empresa, com a participação de empregador e empregados, promovendo o uso correto dos Equipamentos de Proteção Individual e Coletivos.

A Norma Regulamentadora NR 15 (Atividades e Operações Insalubres) estabelece as condições e os critérios relacionados aos agentes químicos, físicos e biológicos no ambiente de trabalho, relacionando os respectivos limites de tolerância admissíveis para fins de caracterização de insalubridade das atividades laborais e objetivando a preservação da saúde do trabalhador. Entre os riscos físicos estabelecidos nesta norma e que podem oferecer condições insalubres, está o ruído.

Milaneli (2009) afirma que o ruído excessivo pode provocar no ser humano a irritabilidade, a ansiedade e o estresse. Entretanto seu efeito principal, comprovado quando as pessoas são expostas a altos níveis de ruído por longo período, é o dano à audição, que leva a vários graus de surdez.

Além das Normas NR9 e NR15, outras Normas Regulamentadoras que, direta ou indiretamente, tratam da questão do ruído são NR5, NR6, NR7, NR17 e NR18. A Norma NR 5 dispõe sobre a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA), define critérios para constituição, organização, atribuições, responsabilidades e manutenção da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes nas empresas, com o objetivo de prevenir acidentes e doenças do trabalho de modo a tornar compatível o trabalho com a preservação da vida e a promoção da saúde do trabalhador.

A Norma NR 6, sobre o Equipamento de Proteção Individual (EPI), define as condições e critérios dos dispositivos, produtos e associados de uso individual dos trabalhadores destinados à proteção de riscos de acidentes suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho, entre eles, o risco físico do ruído.

Esta norma dispõe sobre os EPIs para proteção auditiva, contra níveis de pressão sonora superiores ao estabelecido na NR-15, Anexos n.º 1 e 2, são eles:

- a) protetor auditivo circum-auricular;
- b) protetor auditivo de inserção;
- c) protetor auditivo semiauricular.

A Norma NR 7 — Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) — estabelece a obrigatoriedade de elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do PCMSO com o objetivo de promoção e preservação da saúde do conjunto dos seus trabalhadores.

A Norma NR 17, que trata sobre ergonomia, estabelece parâmetros a fim de permitir a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores para proporcionar conforto, segurança e desempenho.

A Norma NR 18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção – define as diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização que objetivam a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na indústria da construção civil, nas atividades e serviços de demolição, reparo, pintura, limpeza e manutenção de edifícios em geral, de qualquer número de pavimentos ou tipo de construção, inclusive manutenção de obras de urbanização e paisagismo.

Pode-se afirmar que as normas regulamentadoras acenam para a antecipação dos riscos existentes no ambiente de trabalho de natureza física, química, biologia, ergonômica e de acidentes em geral. O ruído se enquadra como um risco físico, juntamente com as vibrações, radiações, temperatura, pressão e umidade.

5.3. Exposição Ocupacional ao Ruído

As Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho definem limite de tolerância à concentração ou intensidade máxima ou mínima relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente que não causará dano à saúde do trabalhador durante seu exercício profissional.

Serão consideradas atividades ou operações insalubres aquelas que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os empregados a riscos nocivos à saúde acima dos limites de tolerância fixados nas Normas Regulamentadoras em razão da natureza, intensidade e do tempo de exposição a seus efeitos.

Há três graus de insalubridade: máximo, médio e mínimo, que asseguram aos trabalhadores um adicional no salário profissional correspondente a 40%, 20% e 10%, respectivamente, desde que não seja possível a eliminação ou neutralização da insalubridade por meios preventivos.

O parâmetro para caracterização da exposição ocupacional ao ruído é o nível de exposição equivalente (L_{eq}), expresso na unidade de Decibels corrigidos segundo a Curva de Ponderação A [dB(A)]. A Norma Regulamentadora NR-15, em seu Anexo 1, determina que o tempo de exposição aos níveis de ruído não deve exceder os limites de tolerância estabelecidos, sujeito à adoção de protetores auditivos e até caracterização de insalubridade quando ultrapassados os limites admissíveis, conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

Nível de ruído dB (A)	Máxima exposição diária PERMISSÍVEL
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: Anexo 1 da NR15: Exposição máxima em função da exposição diária (BRASIL, 2011).

Ainda de acordo com a Norma Regulamentadora NR 15, se, durante a jornada de trabalho, ocorrerem dois ou mais períodos de exposição a ruído de diferentes níveis, devem ser considerados os seus efeitos combinados. O Ministério do Trabalho dispõe também a Norma de Higiene Ocupacional NHO-01, com o título Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. É um procedimento técnico que faz parte da Série de Normas de Higiene Ocupacional elaborada pelo FUNDACENTRO, por meio do Projeto Difusão de

Informações em Higiene do Trabalho. Objetiva estabelecer critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído que implique risco potencial de surdez ocupacional (BRASIL, 2001). A NHO-01 aplica-se à exposição ocupacional a ruído contínuo ou intermitente e a ruído de impacto em quaisquer situações de trabalho, contudo não está voltada para a caracterização das condições de conforto acústico.

5.4. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em conjunto com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), instituiu o Programa Silêncio que visa incentivar a fabricação e uso de máquinas e equipamentos com menor intensidade de ruído quando de sua utilização na indústria, veículos em geral, construção civil, utilidades domésticas, entre outros.

Em dezembro de 1994, foi estabelecida a Resolução CONAMA n.20/94, instituindo a obrigatoriedade do uso do selo ruído em eletrodomésticos produzidos e importados e que gerem ruído no seu funcionamento. Nos dias atuais, o selo está regulamentado para os liquidificadores, aspiradores de pó e secadores de cabelo, existindo uma previsão de inclusão de ferramentas elétricas para a ampliação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). O Selo Ruído, ilustrado na figura 5, deve estar visível ao consumidor em eletrodomésticos que produzem ruído, nacionais ou importados.

Figura 5: Selo Ruído



Fonte: Portaria n.430 do INMETRO (BRASIL, 2012)

A criação do selo ruído, que tem como objetivo combater a poluição sonora do país, orientar o consumidor na hora de escolher eletrodomésticos mais silenciosos, estimular os fabricantes a produzirem produtos com níveis de ruídos cada vez menores e melhorar a saúde do cidadão. No selo ruído deve ser incluído o número de licenciamento do IBAMA e informado o Nome Fornecedor, a Marca, Modelo/Tensão do aparelho e a Norma Técnica utilizada nas medições de ruído, além do nível de potência sonora em dB(A), campo no qual, na figura 6, encontram-se as letras XX.

As Portarias do INMETRO n.430 (2012) e a n.388 (2013) estabelecem o nível de eficiência acústica de aparelhos, determinando a classificação do nível de potência sonora para aspiradores de pó, secadores de cabelo e liquidificadores de acordo com as faixas de valores em dB(A), conforme ilustrado na figura 6.

Figura 6: Classificação do nível de potência sonora (NR)

Classificação	Faixas de valores de níveis de potência sonora em dB (A)
A	NR ≤ 85
B	85 < NR ≤ 88
C	88 < NR ≤ 92
D	92 < NR ≤ 95
E	NR > 95

Fonte: Portaria n.430 do INMETRO (BRASIL, 2012)

As informações técnicas para identificação no Selo Ruído deverão ser emitidas por laboratórios credenciados, regularmente cadastrados no INMETRO, com o Certificado de Conformidade vigente e autorizado a emitir memoriais e Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC), com foco no desempenho do produto, conforme texto da Portaria Inmetro n.430 (2012).

O Selo Ruído deve estar colado no produto ou em sua embalagem para que, na hora da compra, o consumidor tenha conhecimento da potência sonora gerada. É parte integrante do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro, fornece informações sobre o desempenho dos produtos, considerando atributos como a eficiência energética, o ruído e outros critérios que podem influenciar a escolha dos consumidores que, assim, poderão tomar decisões de compra mais conscientes.

5.5. Considerações sobre a NBR 13.910:1997 e NBR 7566:1982

A norma brasileira que estabelece critérios para medições do nível de pressão sonora em aparelhos é a **ABNT NBR 13.910:1997** (Diretrizes de Ensaio para a Determinação de Ruído Acústico de Aparelhos Eletrodomésticos e Similares) que se refere a métodos de engenharia para determinação dos níveis de potência sonora em operações de aparelhos eletrodomésticos e similares. Por se tratar de um equipamento industrial profissional, não se caracterizou a serra-mármore como um eletrodoméstico, não sendo aplicável a referida Norma.

A princípio, a Norma Brasileira adequada para a determinação de ruído acústico em serra-mármore seria NBR 7566:1982 (Máquinas elétricas girantes - Nível do ruído transmitido através do ar - Método de medição num campo livre sobre um plano refletor), porém está cancelada desde 2012 pela ABNT.

5.6. Normas e métodos para a determinação de potência sonora

A determinação do nível de potência sonora de fontes a partir da medição do nível de pressão sonora pode ser feita com a família de normas ISO 3740. Cada norma possui métodos específicos que variam segundo o grau de exatidão e o ambiente. A família das normas ISO 3740 é composta por:

- a) ISO 3741:2010 – *Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Precision method for reverberations rooms.*
- b) ISO 3743:2010 – *Engineering methods for small movable sources in reverberant fields- Part 1: Comparison method for a hard-walled test room.*
- c) ISO 3743:1994 – *Engineering methods for small movable sources in reverberant fields- Part 2: Methods for special reverberation test rooms.*
- d) ISO 3744:2010 – *Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane.*
- e) ISO 3745:2010 – *Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic room.*
- f) ISO 3746:2010 – *Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane.*
- g) ISO 3747:2010 – *Engineering/survey methods for use in situ in a reverberant environment.*

Santos (2004) compara as condições de ambiente de ensaio, volume máximo de fonte, característica do ruído da fonte, grau de exatidão do método, formatos dos resultados a serem obtidos entre as normas da família 3740 conforme a tabela 9:

Tabela 9: Comparativo entre as normas da família 3740

Nº da ISO	Classificação do método	Ambiente de teste	Volume da fonte	Característica do ruído	Níveis de potência obtidos	Informações opcionais
3741	Precisão (Grau 1)	Câmaras reverberantes com características específicas	Preferivelmente menor que 1% do volume da sala	Estacionário, Banda Larga	Em terço de oitava ou oitava	Potência sonora ponderado em A
3742				Estacionário, de banda estreita ou de frequências discretas		
3743	Engenharia (Grau 2)	Salas de testes especiais		Estacionário, Banda estreita, banda larga, frequências discretas.	Em ponderação A ou oitavas	Outras curvas de ponderação
3744	Engenharia (Grau 2)	Campo livre ou Grandes salas	Sem restrições, apenas as dimensões do ambiente de teste	Qualquer	Em ponderação A, terço de oitava ou oitava	Direcionalidade e a pressão sonora em função do tempo, outras curvas de ponderação
3745	Precisão (Grau 1)	Câmara anecóica ou semi-anecóica	Preferivelmente menor que 0,5% do volume da sala	Qualquer		
3746	Examinação (Grau 3)	Sem ambiente específico	Sem restrições	Estacionário, Banda estreita, banda larga, frequências discretas.	Em ponderação A	Pressão sonora em função do tempo, outras curvas de ponderação
3747	Examinação					Bandas 1/1

Fonte: Santos (2004)

5.7. A Norma ISO 3744:2010

Para o desenvolvimento deste trabalho, buscou-se identificar um modelo que viabilize o estudo no nível de ruído gerado em campo livre, considerando, em especial, a grande quantidade de pó gerado nas operações de serra-mármore sobre os materiais de construção. O método de engenharia que permite o uso de equipamento em campo livre para a determinação do nível de potência sonora, onde a energia refletida não influencie a energia diretamente irradiada pela fonte, é apresentado pela Norma ISO 3744:2010.

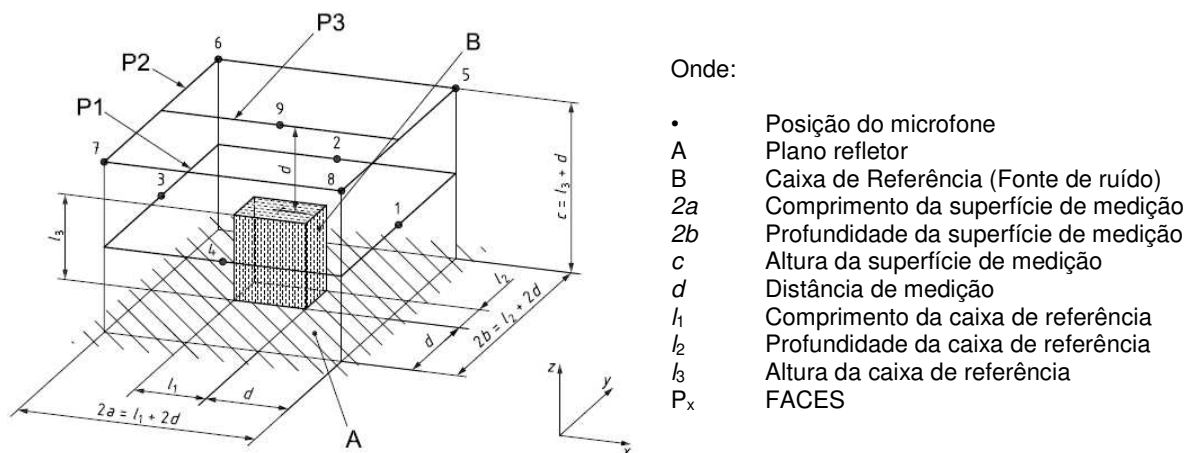
A Norma ISO 3744:2010 – *Engineering Methods for Free Field Conditions over a Reflecting Plane* – especifica a determinação de níveis de potência sonora transmitidos através do ar, por um método de engenharia num campo livre sobre um plano refletor. É uma das normas da série ISO 3740 e tem como objetivo a determinação dos níveis de potência sonora e níveis de energia sonora de fontes de ruído, incluindo máquinas,

equipamentos e seus subconjuntos. Para efeitos de aplicação, segundo a Norma ISO 3744, define-se:

- a) Campo Livre: campo sonoro em meio homogêneo e isotrópico livre de limitações, no qual os efeitos das limitações são desprezíveis na frequência considerada.
- b) Plano Refletor: superfície rígida e plana.
- c) Nível de Potência Sonora (L_w): dez vezes o logaritmo na base 10 da razão de dada potência sonora para a potência sonora de referência.
- d) Caixa de Referência: superfície hipotética de referência constituída pelo menor paralelepípedo retangular que envolve a fonte sobre o plano refletor.
- e) Superfície de medição: superfície imaginária de referência que indica o posicionamento do microfone nas medições de ruído.

Além do método em campo livre sobre um plano refletor para a determinação do nível de potência sonora, pode-se também adotar uma câmara ou espaço confinado específico, porém a condição do campo irradiado e as dimensões do ambiente de ensaio devem ser respeitadas. A partir da adoção de uma caixa de referência representando a fonte ruído se define os posicionamentos do microfone para as medições, representados nas faces de um paralelepípedo, determinando a superfície de medição (Figura 7).

Figura 7: Disposição do plano refletor, caixa de referência e superfície de medição



Fonte: ISO 3744 (2010)

Para determinação dos níveis de pressão sonora, $\overline{L'_{p(ST)}}$, a partir das medições de ruído gerado nas operações de serra-mármore, considerando a superfície de medição com segmentos de área desiguais, utiliza-se a equação 4:

$$\overline{L'_{p(ST)}} = 10 \lg \left[\frac{1}{S} \sum_{i=1}^{N_M} S_i \times 10^{0,1L'_{pi(ST)}} \right] \text{ dB} \quad [4]$$

Onde:

$L'_{pi(ST)}$: Nível de pressão sonora, em bandas de frequência, medido em cada i-ésima posição do microfone (dB).

S_i : Área parcial da superfície de medição associada com i-ésima posição do microfone (m²).

S : Área total na superfície de medição (m²).

N_M : é o número de posições de microfone na superfície de medição.

FONTE: ISO 3744 (2010)

O nível médio da pressão sonora, $\overline{L_p}$, é calculado a partir da correção do nível de pressão sonora nos pontos, corrigido para o ruído de fundo (K_1) e a influência do ambiente (K_2), conforme equação 5:

$$\overline{L_p} = \overline{L'_{p(ST)}} - K_1 - K_2 \quad [5]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

O nível de potência sonora, L_w , em condições normais do ambiente, tempo e local de teste, a partir dos níveis de pressão sonora obtidos, é calculado a partir da equação 6:

$$L_w = \overline{L_p} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB} \quad [6]$$

Onde:

S : é a área, em metros quadrados (m²), da superfície de medição.

$S_0 = 1\text{m}^2$.

FONTE: ISO 3744 (2010)

5.8. Estudos preliminares sobre o ruído gerado por serra-mármore

Estudos de níveis sonoros gerados por serra-mármore consistem em assunto pouco encontrados na literatura. A identificação e reconhecimento das variáveis envolvidas no estudo dessa ferramenta tornaram-se viáveis através da observação do comportamento nas operações com serra-mármore em um estudo preliminar. Buscou-se, neste estudo preliminar (denominado de pré-teste), adotar uma simulação laboral para análise do ruído gerado nas operações de serra-mármore nas suas condições de carga e operação. Nas operações com a serra-mármore, realizaram-se cortes lineares, a seco, comumente executados em obras no setor da construção civil.

Em campo aberto e diferentes recintos, foram avaliados: o ruído de fundo, tempo de reverberação (recintos fechados), ruído gerado pelas serras sem carga e ruído gerado nas operações de corte dos materiais diversos. Como comparativo, realizaram-se algumas medições com diferentes máquinas, discos, entre outras variáveis para observar o comportamento do ruído gerado a fim de nortear as proposições futuras do trabalho.

A metodologia utilizada no pré-teste considerou o ruído gerado nos arredores da fonte, com 1,2m de elevação do piso e distanciados 1,2m e 2m da fonte de ruído, procurando, ainda, evitar proximidades de superfícies refletoras como paredes e muros.

Utilizou-se protetor de vento no microfone do medidor. As medições do nível de pressão sonora foram realizadas em campo aberto, cujo piso é em terra batida e grama aparada, com os arredores planos e sem interferências construtivas.

Para a seleção dos materiais utilizados nas operações de corte com serra-mármore, optou-se por utilizar materiais de construção de marcas mais populares e comercializadas em grande escala nas empresas do setor. Utilizaram-se, nas operações de corte do pré-teste, os seguintes materiais de construção:

- a) Placa Cerâmica vermelha para piso marcas A, B e C medindo 31x31cm, 0,75cm espessura, PEI 4 e lotes controlados.
- b) Placa Cerâmica para piso tipo porcelanato, marca A, medindo 35x35cm, 0,75cm de espessura, modelo Cara-A, PEI 4, lote i-24.
- c) Placa Cerâmica para piso tipo porcelanato, marca B, medindo 32x32cm, 0,70cm de espessura, modelo Atenas, PEI 4, classificação/lote 045/11.

- d) Placa de Mármore branco pinta verde medindo 0,20x1,00m com 2cm de espessura.
- e) Placa de Mármore travertino nacional medindo 0,20x1,00m com 2cm de espessura.
- f) Placa de Granito cinza-corumbá medindo 0,20x1,00m com 2cm de espessura.
- g) Placa de Granito verde-ubatuba medindo 0,20x1,00m com 2cm de espessura.
- h) Placa de Ardósia medindo 0,40x0,40m com 0,70cm de espessura.
- i) Placa de Pedra Miracema bruta medindo 0,10x0,25m com 2,00cm de espessura.
- j) Telha de Concreto tipo capa-canal, modelo clássica, cor grafite, com 2cm de espessura.

Nas operações de corte, utilizaram-se serras-mármore tipo profissional com um disco diamantado turbo de corte a seco. As escolhas das marcas e modelos deram-se de forma aleatória entre as disponíveis no mercado e comumente encontradas nas obras. Para a realização das medições de níveis sonoros, utilizou-se o medidor de nível de pressão sonora marca Brüel & Kjær modelo 2260. Foram medidos os níveis de pressão sonora em função da frequência em bandas de 1/3 de oitava entre 100 e 8KHz. Foram efetuadas medições dos níveis de pressão sonora de ruído de fundo, níveis sonoros com a máquina sem carga e com a máquina realizando os cortes dos materiais. O tempo de duração da medição dos níveis sonoros nas operações do pré-teste foi de 7 segundos. A figura 8 ilustra as operações de corte realizadas em área externa e interna.

Figura 8: Operação de corte durante o pré-teste em área externa (a) e interna (b)



(a)



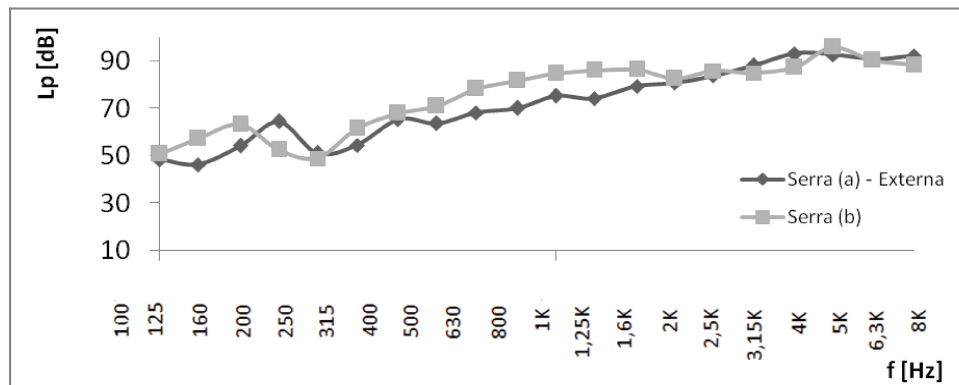
(b)

Fonte: Arquivo da pesquisa.

5.8.1. Ruído gerado por serra-mármore de diferentes fabricantes

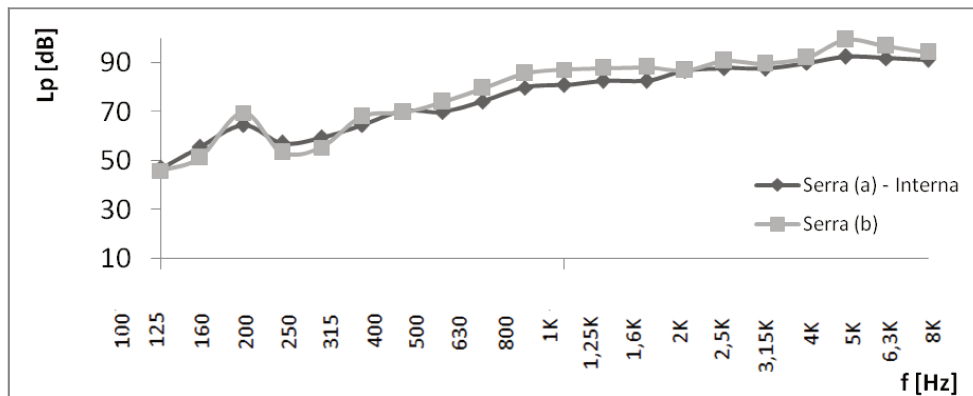
Utilizando diferentes marcas de serras-mármore, realizaram-se medições dos níveis sonoros nas operações de corte de placas cerâmicas em uma área interna e outra externa. O equipamento de medição dos níveis sonoros estava a uma distância de 1,20m da fonte e a uma altura de 1,20m do piso. O comportamento do nível de pressão sonora gerada em função da frequência nas operações de corte é ilustrado nas figuras 9 e 10.

Figura 9: Espectro sonoro do ruído gerado pelas serras (a) e (b) em área externa



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 10: Espectro sonoro do ruído gerado pelas serras (a) e (b) em área Interna



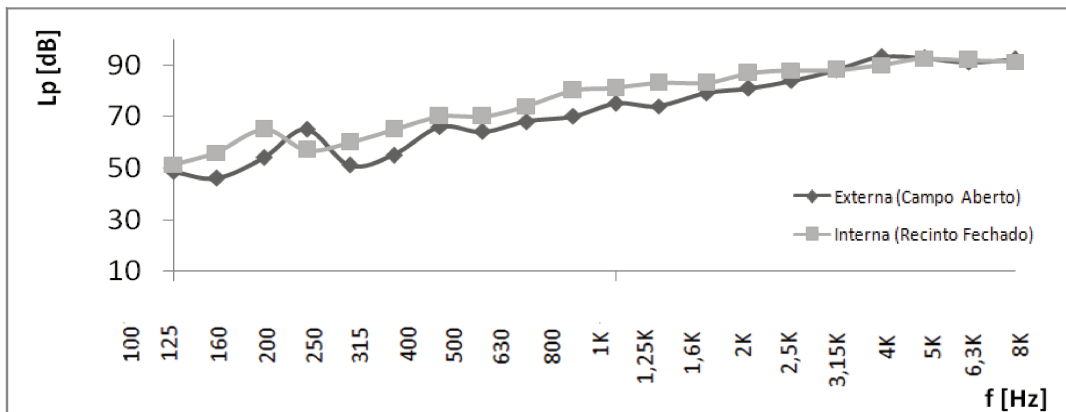
Fonte: Arquivo da pesquisa.

Mesmo se tratando de fabricantes diferentes de serra-mármore, os níveis sonoros apresentam comportamentos similares na maioria das faixas de frequência, não passando de 10dB de diferença do nível de pressão sonora gerada pelas diferentes serras. Em níveis globais de pressão sonora, essa diferença é da ordem de 2dB.

5.8.2. Medições de ruído variando a altura da fonte

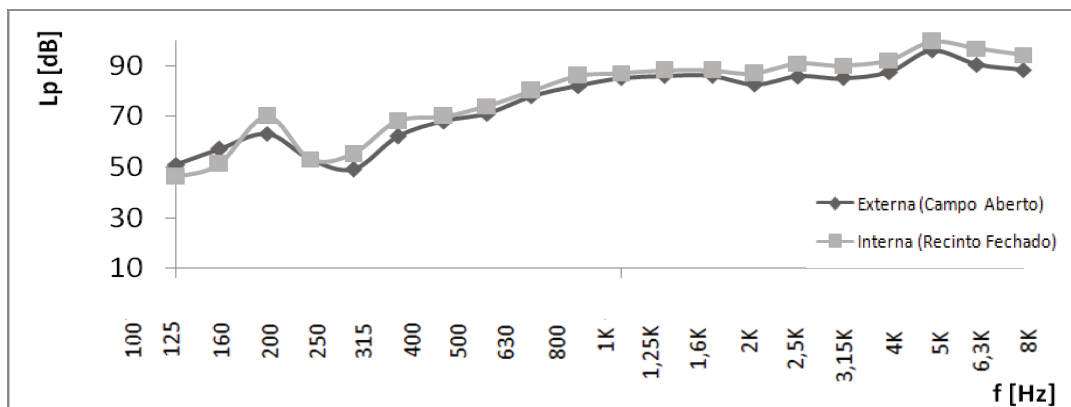
Realizaram-se medições de níveis sonoros variando a altura de operação de corte das placas cerâmicas. Efetuaram-se medições junto ao piso e a 0,60m deste. As figuras 11 e 12 ilustram o comportamento do nível de pressão sonora em função da frequência gerado nas operações de corte.

Figura 11: Espectro sonoro do ruído gerado pelas serras (a) e (b) junto ao piso



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 12: Espectro sonoro do ruído gerado pelas serras (a) e (b) à 0,60m do piso



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Para as diferentes alturas da fonte, observa-se que os níveis sonoros apresentam comportamentos similares na maioria das faixas de frequência. Na faixa de 100 a 315 Hz, observam-se maiores variações possivelmente em virtude da vibração dos equipamentos.

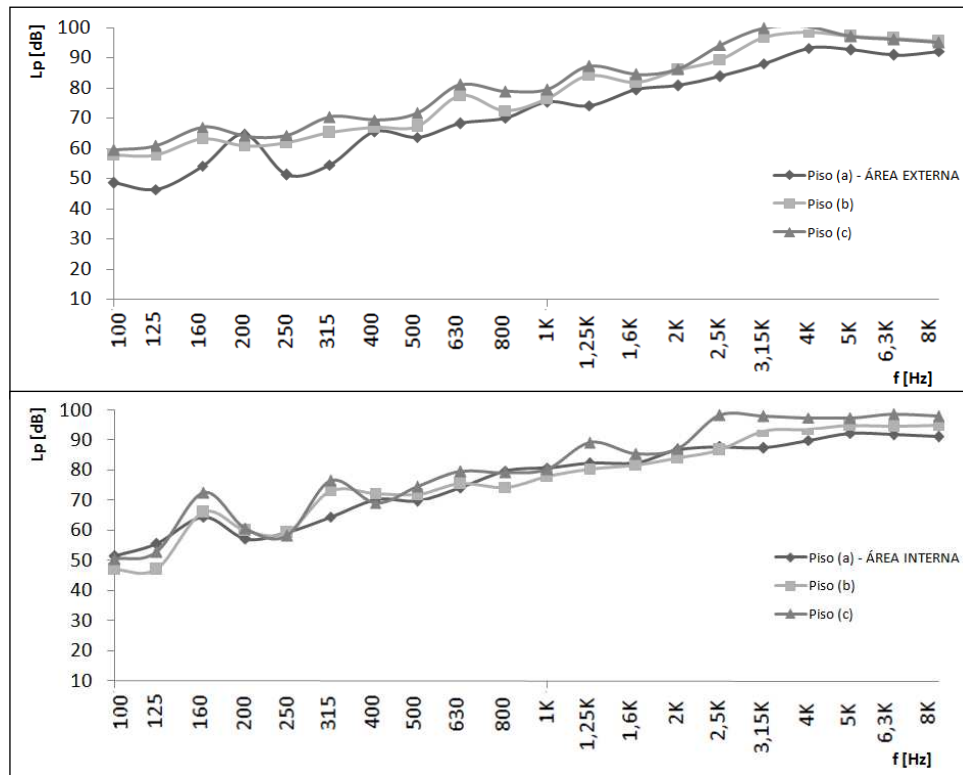
5.8.3. Medições de ruído em diferentes placas cerâmicas

Realizaram-se medições de ruído de corte em três tipos de placas cerâmicas:

- Placa Cerâmica para piso, medindo 31x31cm, 0,75cm espessura, modelo 3011 A5, PEI 4, tonalidade 210, classificação/lote B27.
- Placa Cerâmica para piso, medindo 35x35cm, 0,75cm de espessura, modelo CARA-A, PEI 4, lote i-24.
- Placa Cerâmica para piso, medindo 32x32cm, 0,70cm de espessura, modelo ATENAS BEGE, PEI 4, classificação/lote 045/11.

O equipamento de medição sonoro estava a uma distância de 1,20m da fonte. Ilustram-se os níveis de pressão sonora gerados nas operações na figura 13.

Figura 13: Comparativo da média global do nível de pressão sonora das placas cerâmicas

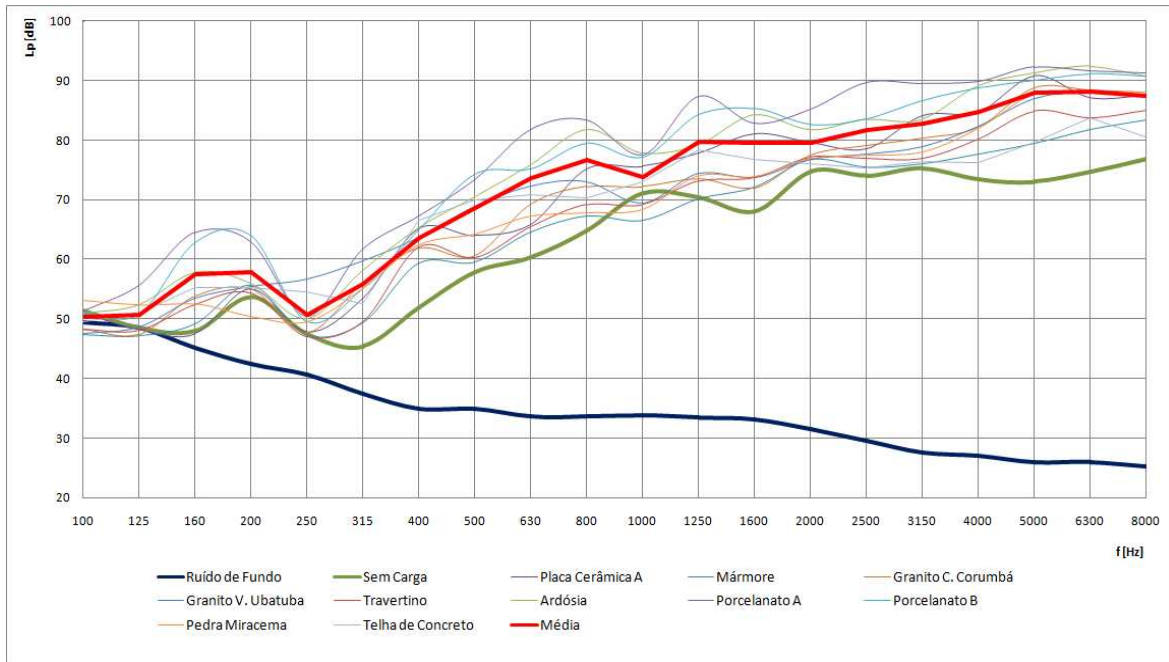


Fonte: Arquivo da pesquisa.

5.8.4. Ruído de serra-mármore cortando diferentes materiais

Os níveis de pressão sonora das operações de corte de diferentes materiais e o ruído de fundo em função da frequência são ilustrados na figura 14.

Figura 14: Níveis de pressão sonora nas operações de corte, sem carga e ruído de fundo.



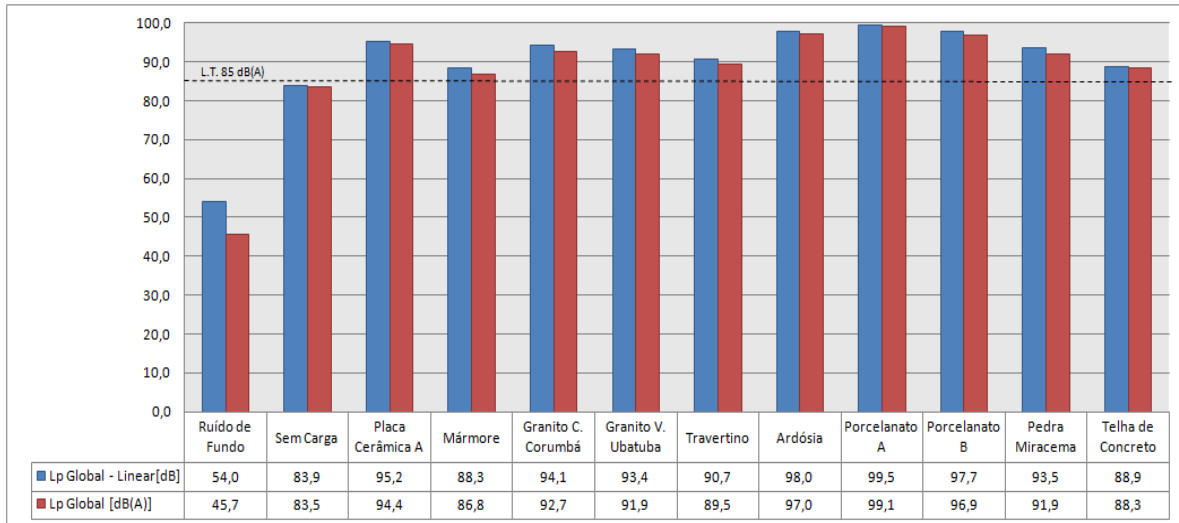
Frequência [Hz]	Ruído Fundo [dB]	Sem Carga [dB]	Placa Cerâmica [dB]	mármore [dB]	Granito Corumbá [dB]	Granito Ubatuba [dB]	Travertino [dB]	Ardósia [dB]	Porc. A [dB]	Porc. B [dB]	Pedra miracema [dB]	Telha Concr. [dB]	Desvio Padrão ² [dB]
100	49,5	51,4	51,0	47,4	48,2	47,5	48,2	50,9	51,3	51,2	53,1	49,5	1,9
125	48,6	48,5	48,3	47,2	47,4	48,6	48,0	52,3	55,7	50,8	52,3	51,0	2,7
160	45,2	48,0	47,5	49,1	53,8	53,4	52,4	57,8	64,5	62,8	52,5	55,2	5,4
200	42,4	53,7	55,0	55,6	55,0	55,5	54,3	56,0	63,0	64,0	50,5	55,2	4,0
250	40,6	47,5	47,9	47,3	47,7	56,7	47,1	50,0	50,4	49,6	49,5	54,5	3,2
315	37,4	45,4	53,4	49,3	56,0	59,8	49,6	58,2	61,7	55,0	55,1	52,5	4,1
400	34,9	51,9	65,2	59,3	61,9	63,6	62,0	65,3	67,3	65,0	62,4	66,6	2,5
500	34,9	57,9	64,0	59,5	60,6	68,8	60,3	70,4	73,4	74,3	64,3	69,9	5,5
630	33,6	60,3	65,9	64,5	69,2	72,3	65,4	75,8	81,8	75,2	67,2	70,9	5,5
800	33,6	64,8	75,2	67,2	72,2	73,0	69,2	81,7	83,4	79,5	67,8	70,3	5,8
1000	33,8	71,1	75,6	66,5	72,2	69,5	69,2	77,9	77,5	77,1	68,4	73,0	4,2
1250	33,5	70,4	77,8	70,2	73,5	74,4	73,1	79,3	87,3	84,2	74,0	78,4	5,3
1600	33,2	68,0	81,1	72,1	72,0	73,8	73,7	84,3	82,8	85,3	73,9	76,7	5,3
2000	31,5	74,7	79,7	76,7	77,5	76,8	77,2	81,8	85,2	82,6	76,9	76,0	3,1
2500	29,6	74,0	78,6	75,5	79,1	77,7	76,9	83,5	89,7	83,5	77,5	75,3	4,5
3150	27,6	75,3	84,1	76,1	80,3	78,9	76,9	83,5	89,5	86,7	78,1	76,4	4,7
4000	27,0	73,4	84,7	77,7	82,1	82,3	80,2	89,1	89,9	88,7	81,9	76,3	4,7
5000	25,9	73,0	90,8	79,4	88,8	86,9	84,9	91,2	92,3	90,1	87,7	79,6	4,6
6300	26,0	74,7	87,2	81,7	88,4	88,3	83,8	92,4	91,7	91,1	87,9	83,7	3,6
8000	25,3	76,8	87,6	83,3	88,0	87,4	85,0	90,7	91,2	90,7	88,0	80,6	3,4
Lp Global [dB]	54,0	83,9	95,2	88,3	94,1	93,4	90,7	98,0	99,5	97,7	93,5	88,9	3,8
Lp Global [dB(A)]	45,7	83,5	94,4	86,8	92,7	91,9	89,5	97,0	99,1	96,9	91,9	88,3	4,0

Fonte: Arquivo da pesquisa.

5.8.5. Análise comparativa dos níveis sonoros globais

Uma análise comparativa dos níveis de pressão sonora global foi desenvolvida, na figura 15, ilustra-se o nível de pressão sonora global em dB e dB(A) do ruído de fundo, da condição sem carga e das operações de corte dos diferentes materiais com a serra-mármore.

Figura 15: Análise comparativa dos níveis de pressão sonora globais.



Fonte: Arquivo da pesquisa.

5.8.6. Considerações finais sobre o estudo preliminar

A observação do comportamento da serra-mármore e o desenvolvimento do estudo preliminar foram muito importantes para a conclusão deste trabalho, uma vez que nortearam a escolha do método a ser adotado, orientaram a escolha do local de ensaio, permitiram observar o tempo de corte ideal dos materiais, determinaram a escolha dos materiais de referência e permitiram a definição do método de ensaio de nível sonoro com a serra-mármore.

A partir do entendimento das operações, foram esclarecidas diversas questões de montagem e operação com serra-mármore, situações de ensaio em relação ao operador, campo livre, plano refletor, suporte da amostra, disposição de ensaio e outras variáveis relevantes que serão discutidas na continuidade do texto.

CAPÍTULO 6

INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

“[...] De tudo, ficam três coisas:
a certeza de que estamos apenas começando,
a certeza de que é preciso continuar e
a certeza de que podemos ser interrompidos antes de terminar.

Façamos da interrupção um caminho novo,
da queda um passo de dança,
do medo uma escada,
do sonho uma ponte e da procura um encontro [...]

[...] E assim terá valido a pena existir. ”

Fernando Sabino

6. Incertezas de medição

Na ciência da experimentação e da medição tão ou mais importante do que uma incerteza pequena é buscar uma avaliação adequada e correta do mensurando e fazer uma correta expressão do resultado: menor incerteza, não constitui necessariamente melhor medição. É recomendado que os resultados das medições realizadas em ensaios, conforme proposto neste trabalho, sejam acompanhados de suas incertezas a fim de retratar um indicativo de confiabilidade e parâmetro de referência para análises. Quando se relata o resultado de medição de uma grandeza física, deve-se sempre dar alguma indicação quantitativa da qualidade do resultado, de forma que aqueles que o utilizem possam avaliar sua confiabilidade. Sem essa indicação, resultados de medição não podem ser comparados, seja entre eles mesmos ou com valores de referência fornecidos numa especificação ou numa norma. É, portanto, necessário que exista um procedimento de pronta aplicação, fácil compreensão e ampla aceitação para caracterizar a qualidade do resultado de uma medição, isto é, para expressar sua *incerteza* (INMETRO, 2012).

As considerações mais relevantes no entendimento do cálculo de incerteza de medição da pressão sonora, proposto na Norme ISO 3744:2010, são apresentadas neste capítulo e estão em conformidade com o Guia para Expressão de Incerteza de Medição na avaliação de dados de medição, uma publicação traduzida do original (em inglês): *Guide to the expression of uncertainty in measurement – GUM*, publicada como a Norma internacional ISO/IEC Guide 98 (INMETRO, 2012).

6.1. Mensurando

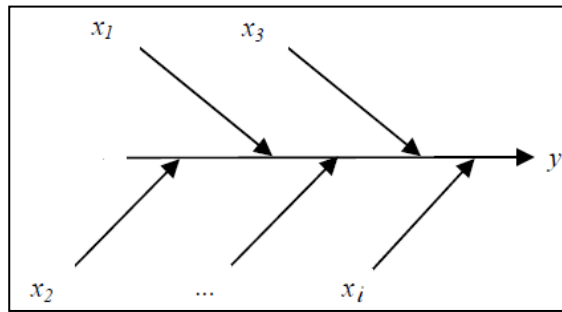
O mensurando é uma grandeza específica submetida à medição. Sua especificação pode requerer informações de outras grandezas associadas, como tempo, temperatura e pressão (INMETRO, 2012). É o objeto da medição. O componente que se pretende especificar ou medir em um determinado modelo de medição corresponde a uma relação com todas as grandezas que estão envolvidas na medição.

Geralmente, um método de medição, mesmo que normalizado, não retrata perfeitamente o mensurado quando se objetiva estimar a sua incerteza de medição. Nesses casos, o entendimento da geração e conseqüente medição possibilitam deduzir fontes de incertezas vinculadas às grandezas de entrada (MICHALSKI, 2011).

6.2. Diagrama Causa-Efeito

O diagrama causa-efeito ilustra todas as fontes de incertezas das grandezas de entrada (x_i) que definem a incerteza do mensurando “y” (MICHALSKI, 2011).

Figura 16: Diagrama causa-efeito das incertezas de medição



Fonte: Adaptado de Michalski (2011).

6.3. Valor Estimado

Valor estimado é o valor numérico atribuído para os parâmetros de uma distribuição a partir de observações numa amostra, escolhida como o modelo estatístico da população da qual a amostra é extraída (INMETRO, 2012).

6.4. Incerteza Padrão (u)

Incerteza padrão é a incerteza do resultado de uma medição expressa como um desvio padrão (INMETRO, 2012). A incerteza padrão na determinação dos níveis sonoros em operações de corte com a serra-mármore em campo aberto sobre um plano refletor, recomendada pela Norma ISO 3744:2010, está relacionada com a operação, montagem, ambiente e instrumentação. É representada por σ_{tot} (desvio padrão total estimado).

6.5. Incerteza de medição Expandida (U)

Incerteza de medição expandida é a quantidade que define um intervalo em torno do resultado de uma medição com o qual se espera abranger uma grande fração da distribuição dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurado (INMETRO, 2012). Representado pela letra U, este parâmetro pode ser visto como a probabilidade de abrangência ou nível da confiança de um intervalo.

6.6. Fator de abrangência (k)

O fator de abrangência é uma constante numérica utilizada como multiplicador da incerteza-padrão (u) a fim de obter a incerteza de medição expandida (U). Segundo o Inmetro (2012), é obtida em função do número de graus de liberdade efetivos, da probabilidade de abrangência e do tipo de distribuição estatística desejados.

Michalski (2011) afirma que seu valor está tipicamente na faixa de 2 a 3, e, ao adotar uma probabilidade de abrangência de 95,45%, k será igual a 2 para quase todos os fins. O fator é obtido em função do número de graus de liberdade efetivos para uma determinada probabilidade.

6.7. Distribuição de probabilidade

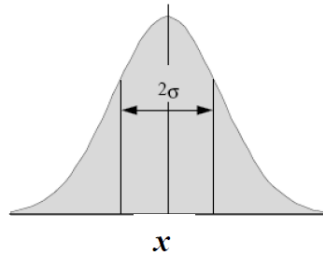
De acordo com o GUM (INMETRO, 2012), as avaliações das incertezas podem ser baseadas em distribuições de probabilidade e com componentes de incerteza quantificados por desvios ou variâncias. São resultados de uma análise estatística dos resultados de uma série de medições sob condições de repetitividade ou por meio de distribuições de probabilidades supostas, baseadas em experiências ou através de informações, medições anteriores, especificações do fabricante, certificados de calibração, relatórios, manuais, materiais de referência, entre outros documentos pertinentes, baseadas em todas as informações disponíveis sobre a possível variabilidade do componente da incerteza.

No GUM (INMETRO, 2012) na descrito que as distribuições de probabilidade são classificadas como normal, retangular e triangular.

A distribuição normal (Laplace-Gauss) é uma distribuição de probabilidade de uma variável aleatória contínua, caracterizada pelo grau de desvio simétrico. São aplicáveis para amostras representativas e significativa probabilidade de abrangência (nível de confiança).

Na figura 17, expõe-se uma distribuição de probabilidade normal com coeficiente de abrangência $k = 2$, resultando 95,45% de probabilidade de abrangência.

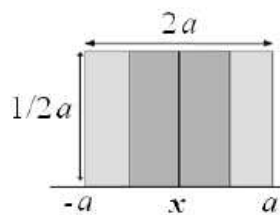
Figura 17: Distribuição de probabilidade normal



Fonte: Michalski (2011).

Michalski (2011) afirma que, quando não há conhecimento sobre os possíveis valores da grandeza (X_i) dentro do intervalo, pode-se apenas supor que é igualmente provável que X_i esteja em qualquer lugar dentro dele, assumindo-se que a variação tenha distribuição retangular (ou uniforme) num intervalo simétrico de largura $2a$ (variando de $-a$ até $+a$), conforme ilustrado na figura 18.

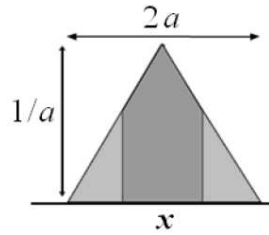
Figura 18: Distribuição de probabilidade retangular



FONTE: Michalski (2011).

Em casos em que a ocorrência dos valores centrais do intervalo de distribuição seja mais provável que em seus limites, Michalski (2011) recomenda que é razoável adotar uma distribuição trapezoidal simétrica, tendo lados inclinados iguais com base de largura $2a$ e altura $2a\beta$, onde $0 \leq \beta \leq 1$. À medida que β se aproxima de zero, torna-se uma distribuição triangular num intervalo $\pm a$, conforme figura 19.

Figura 19: Distribuição de probabilidade triangular



FONTE: Michalski (2011).

6.8. Coeficiente de sensibilidade (C_i)

No GUM está descrito que o coeficiente de sensibilidade (C_i) descreve como o valor de uma grandeza de saída (y) varia com a mudança nos valores das estimativas de entradas (x_i). É a derivada de y em relação à x_i , conforme equação:

$$C_i = \frac{\partial y}{\partial x_i} \quad [6]$$

FONTE: Inmetro (2012).

6.9. Incertezas de medição de acordo com a Norma ISO 3744:2010

As incertezas de medição do nível de pressão cálculo do nível de potência sonora, $u(L_w)$, em decibels, calculadas de acordo com a Norma ISO 3744:2010, necessitam ser consideradas pelo desvio padrão total estimado, σ_{tot} , em decibels (dB), pela equação 7:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{omc}^2} \quad [7]$$

Onde: σ_{tot} : Desvio padrão total estimado.

σ_{omc} : Desvio de incertezas, instabilidade da operação e condições de montagem.

σ_{R0} : Desvio corrigido pelas incertezas das condições ambientais e de ensaio.

FONTE: ISO 3744 (2010)

O desvio padrão σ_{omc} descreve as incertezas associadas à instabilidade da operação e às condições de montagem. É calculado pela equação:

$$\sigma_{omc} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (L_{p,j} - L_{pav})^2} \text{ dB} \quad [8]$$

Onde: $L_{p,j}$: Nível de pressão sonora obtido corrido para o ruído de fundo para a j-ésima repetição nas condições de operação e montagem.

L_{pav} : Média aritmética de todos os níveis de sonora obtidos nas repetições.

FONTE: ISO 3744 (2010)

O desvio padrão σ_{R0} inclui as incertezas referentes às condições e situações de ensaio, método, microfones e instrumentação, temperatura, umidade relativa, ângulo e constantes de medição. Consideradas para um grau de precisão de laboratório, é obtido através da equação:

$$\sigma_{R0} = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2} \text{ dB} \quad [9]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

6.10. Componentes de incertezas recomendadas

As incertezas de medição de níveis sonoros nas operações de corte com a serra-mármore em campo aberto sobre um plano refletor, recomendadas pela ISO 3744:2010, estão relacionadas com a instabilidade da operação, condições de montagem, incertezas das condições ambientais e de ensaio.

Segundo a ISO 3744 (2010), o desvio padrão referente às incertezas do procedimento de medição (σ_{R0}), é uma composição de todos os componentes vinculados, conforme ilustrado na equação:

$$\sigma_{R0} = \delta_{\text{method}} + u_{L'_{p(\text{ST})}} + u_{K_1} + u_{K_2} + C_1 + C_2 + \delta_{\text{slm}} + \delta_{\text{mic}} + \delta_{\text{angle}} + \delta_{\theta} + \delta_H \quad [10]$$

FONTE: Adaptado da ISO 3744 (2010)

Os componentes de incerteza do desvio padrão σ_{R0} são detalhados, a seguir.

6.10.1. Incerteza do método de medição (δ_{method})

O GUM descreve que talvez o componente de incerteza mais difícil de avaliar seja aquele associado com o método de medição. A incerteza aplicada ao método de medição é derivada dos testes de experiência prática ou de comparação laboratorial. A fim de reduzir sua variabilidade, o método de medição deve obedecer a uma sequência lógica de operações, descritas detalhadamente e sempre usadas na execução das medições (INMETRO, 2012).

A Norma ISO 3744:2010 cita que os valores a serem considerados neste parâmetro são a incerteza padrão ($u_i = 0,4$) e o coeficiente de sensibilidade ($C_i = 1$).

6.10.2. Incerteza do nível de pressão sonora ($u_{L'_{p(\text{ST})}}$)

A incerteza do nível de pressão sonora é associada à repetibilidade de medição deste parâmetro. É uma aceitação das sucessivas medições dos níveis sonoros nas mesmas condições de ensaio. É obtida a partir do desvio de repetibilidade utilizando os valores de seis medições do nível de pressão sonora através da equação:

$$u_{L'_{p(\text{ST})}} = s_{L'_{p(\text{ST})}} \Big|_{\text{rep}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (L'_{p,j} - L'_{p\text{av}})^2} \text{ dB} \quad [11]$$

Onde: $L_{p,j}$: Nível médio de pressão sonora obtido, sem correção para o ruído de fundo para a j-ésima repetição nas condições de operação e montagem.

$L_{p\text{av}}$: Média aritmética de todos níveis médios sonoros obtidos nas repetições.

FONTE: ISO 3744 (2010)

Na Norma ISO 3744:2010 observa-se que, para atender este parâmetro de incerteza, as medições dos níveis sonoros devem ser realizadas em condições de repetibilidade, com o mesmo procedimento de montagem, operação e medição.

O coeficiente de sensibilidade $C_{L'p(ST)}$ da incerteza do nível de pressão sonora é calculado por:

$$C_{L'p(ST)} = 1 + \frac{1}{10^{0,1\Delta L_p - 1}} \quad [12]$$

Onde: ΔL_p é a diferença do níveis médios de pressão sonora e ruído de fundo.

FONTE: ISO 3744 (2010)

6.10.3. Incerteza da área de superfície de medição (S)

A incerteza da área de superfície de medição (u_S ou **S**) é relativa às distâncias adotadas na caixa de referência e superfície de medição sobre o plano refletor. Adota como referência o raio r , distância do centro da superfície de medição até sua extremidade (mesmo para superfícies retangulares). É calculada por:

$$u_S = \Delta r / \sqrt{3} \quad [13]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

Calcula-se o coeficiente de sensibilidade C_S por:

$$C_S = 8,7/r \quad [14]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

6.10.4. Incerteza de correção do ruído de fundo (k_1)

A incerteza referente à correção do ruído de fundo (u_{K1} ou k_1) é obtida a partir do desvio padrão do nível de pressão sonora do ruído de fundo gerado $S_{LP(B)}$:

$$S_{LP(B)} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (L_{p,j} - L_{pav})^2} \text{ dB} \quad [15]$$

Onde: $L_{p,j}$: Nível de pressão sonora obtido corrido para o ruído de fundo para a j-ésima repetição nas condições de operação e montagem.

L_{pav} : Média aritmética de todos níveis de sonora obtidos nas repetições.

FONTE: ISO 3744 (2010)

O coeficiente de sensibilidade considera Δ_{LP} , a diferença entre o nível médio de pressão sonora $\overline{L'_{P(ST)}}$ e o nível médio de pressão sonora do ruído de fundo $\overline{L_{P(B)}}$, das repetidas medições realizadas na superfície de medição. Calcula-se a partir da equação:

$$|c_{K1}| = \frac{1}{10^{0,1\Delta_{LP} - 1}} \quad [16]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

6.10.5. Incerteza da correção ambiental (u_{K2})

A Norma ISO 3744:2010 esclarece que experiências práticas sugerem que a incerteza da correção ambiental (u_{K2}) é obtida por:

$$u_{K2} = K_2 / 4 \quad [17]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

A Norma ISO 3744:2010 determina que o coeficiente de sensibilidade da incerteza da correção ambiental é $C_{K2} = 1$.

6.10.6. Correção meteorológica e impedância de radiação ($C_1 + C_2$)

A incerteza referente à correção meteorológica e impedância de radiação considera as correções referentes à pressão atmosférica, altitude e temperatura ideal dos ambientes de ensaio.

Para este parâmetro, a Norma ISO 3744:2010 determina que o valor a ser considerado na incerteza da correção meteorológica e impedância de radiação é $C_1 + C_2 = 0,2\text{dB}$, e determina ainda que o coeficiente de sensibilidade a ser considerado é $C_{C_1+C_2} = 1$.

6.10.7. Incerteza do medidor do nível sonoro (δ_{slm})

Segundo a Norma ISO 3744:2010, a incerteza referente ao medido do nível sonoro, considerando equipamentos profissionais devidamente calibrados, é dada por $\delta_{slm} = 0,5\text{dB}$, enquanto que o coeficiente de sensibilidade a ser considerado é $C_{\delta_{slm}} = 1$.

6.10.8. Incerteza de Amostragem (δ_{mic})

A incerteza de amostragem está relacionada às posições dos microfones, sendo calculada por:

$$\delta_{mic} = \frac{1}{\sqrt{N_M}} \sqrt{\frac{1}{(N_M - 1)} \sum_{i=1}^{N_M} [L'_{pi(ST)} - L'_{pav}]^2} \quad [18]$$

Onde: $L'_{p(ST)}$: Nível médio de pressão sonora obtido para a *i-ésima* posição nas condições de operação e montagem.

L'_{pav} : Média aritmética de todos níveis de sonora obtidos nas *i-ésimas* posições.

N_M : Número das posições de microfones utilizadas.

FONTE: ISO 3744 (2010)

A Norma ISO 3744:2010 determina que o coeficiente de sensibilidade $C_{\delta_{mic}} = 1$.

6.10.9. Incerteza do ângulo (δ_{angle})

De acordo com a Norma ISO 3744(2010), a incerteza relativa ao ângulo da energia sonora incidente (u_{angle} ou δ_{angle}) está relacionada com a intensidade da fonte sonora e com as dimensões da superfície de medição, sendo calculada pela equação:

$$u_{\text{angle}} = 0,05 \text{ dB} + 0,6 \lg\left(\frac{S}{d^2}\right) \text{ dB} \quad [19]$$

Onde: d é a distância da superfície de medição.

S é a área da superfície de medição.

FONTE: ISO 3744 (2010)

Calcula-se o coeficiente de sensibilidade $c_{\theta\text{angle}}$ pela equação:

$$c_{\text{angle}} = 10^{-K_2/10} \quad [20]$$

Onde K_2 é o coeficiente de correção ambiental adotado.

FONTE: ISO 3744 (2010)

6.10.10. Incerteza da temperatura (δ_{θ})

A incerteza relativa à temperatura (u_{θ} ou δ_{θ}) é obtida por:

$$u_{\theta} = \Delta\theta/\sqrt{3} \quad [21]$$

Onde ΔH é a variação da umidade relativa do ar durante o ensaio.

FONTE: ISO 3744 (2010)

Calcula-se o coeficiente de sensibilidade relativo à temperatura C_θ pela equação:

$$c_\theta = \frac{-0,57 + 0,25 \lg(2,6 f)}{1 + 0,001 1H + 0,007 \theta} \left(1 - 10^{-K_2/10}\right) \quad [22]$$

Onde: f : Nível de frequência mais afetado pela ponderação A no espectro sonoro.

H: Umidade relativa do ar (%).

K_2 : Coeficiente de correção ambiental adotado.

FONTE: ISO 3744 (2010)

6.10.11. Incerteza da umidade relativa do ar (δ_H)

A incerteza relativa à umidade relativa do ar (u_H ou δ_H) é dada por:

$$u_H = \Delta H / \sqrt{3} \quad [23]$$

Onde ΔH é a variação da umidade relativa do ar durante o ensaio.

FONTE: ISO 3744 (2010)

O coeficiente de sensibilidade relativo à relativa do ar C_H pode ser determinado para umidade relativa do ar $H > 10\%$, sendo calculado por:

$$c_H = \frac{-2,6 + 1,6 \lg(0,7 f)}{1 + 0,5 H} \left(1 - 10^{-K_2/10}\right) \quad [24]$$

Onde: f : Nível de frequência mais afetado pela ponderação A no espectro sonoro.

H: Umidade relativa do ar (%).

K_2 : Coeficiente de correção ambiental adotado.

FONTE: ISO 3744 (2010)

CAPÍTULO 7

MÉTODO

“O diálogo é uma forma de ajudar as pessoas a verem a natureza representativa e participativa do pensamento e a se tornarem mais sensíveis às incoerências de nossos pensamentos.”

Peter Senge.

7. Método

Este trabalho investigou o ruído gerado por serra-mármore portátil trabalhando em materiais de construção civil, nas suas condições de carga e operação, com a finalidade de se determinar o nível de potencia sonora dessa fonte, se utilizando da Norma ISO 3744:2010 (Determinação de Níveis de Potência Sonora de Ruído Transmitido através do Ar - Método de Engenharia num Campo Livre sobre um Plano Refletor), para a proposição de um material de condição de carga padrão à implementação de método de potência sonora em serra-mármore.

A serra-mármore é uma máquina elétrica manual, portátil, que trabalha em alta rotação em conjunto com um disco diamantado. Destinada ao corte de materiais de construção nas obras, destaca-se pela sua versatilidade, praticidade, leveza e ergonomia. Dada as condições específicas das atividades da serra, a presença do operador faz-se necessária nas tarefas de corte em virtude do manuseio e operação de corte, assim, visando reproduzir a condição de trabalho nos canteiros de obra.

Adotaram-se, neste estudo, as atividades de corte com a serra-mármore operando em materiais de construção através de atividades de corte linear, a seco, comumente executadas em obras no setor da construção civil. Apresenta-se além das placas cimentícias, como cargas padrões propostas, a utilização de outros materiais de construção como elementos norteadores para validação das amostras, comumente utilizados nas obras e trabalhados com serra-mármore: a placa cerâmica e a ardósia. Além do estudo com esses materiais, apresenta-se um comparativo da operação da serra-mármore sem carga.

As placas cerâmicas são amplamente utilizadas no setor da construção civil em função da resistência, aparência e funcionalidade, aplicadas como revestimento de pisos e paredes de ambientes industriais, comerciais, residenciais e em locais públicos. As ardósias, por sua vez, correspondem às rochas de baixo valor comercial, tratadas como semiornamentais, de ampla utilização nas obras, no segmento comercial e residencial.

Em função da quantidade do pó gerado nas operações de corte da serra-mármore nos materiais de construção, buscou-se, neste estudo, a simulação laboral, em campo livre, nas operações desta natureza sobre um plano refletor, conforme diretrizes da Norma ISO 3744:2010.

As medições realizadas em campo consistiram na determinação dos níveis de pressão sonora, gerados nos arredores da fonte (serra-mármore), para posterior cálculo dos níveis médios de pressão sonora, nesse sentido, considerando a correção para o ruído de fundo e influência do ambiente, que permitiram obter os níveis de potência sonora nas operações.

Ressalta-se que no estudo preliminar (pré-teste), a análise do comportamento das operações de corte com a serra-mármore buscou nortear as definições de manuseio, operação e os critérios a serem adotados nos ensaios em relação a serra-mármore, discos, operador, disposição de ensaio, materiais de corte, tempo de corte, montagem do ambiente de ensaio, plano refletor e suporte da amostra.

São apresentados, neste capítulo, a serra-mármore utilizada e suas características, os locais de medição, os discos diamantados, os materiais de construção utilizados e a placa cimentícia proposta como carga padrão, as particularidades das operações com a serra-mármore, as características da superfície de medição e base de apoio, os equipamentos de medição de ruído utilizados, os tempos de medição adotados, os procedimentos de medição e a metodologia de cálculo considerada para obtenção dos resultados dos níveis de pressão e potência sonora gerados nas operações.

7.1. Das serras-mármore utilizadas

Para o desenvolvimento desta pesquisa, utilizou-se uma marca de serra-mármore, em seu modelo de uso profissional, amplamente disponível no mercado e de grande uso nos canteiros de obras, conforme ilustrado na figura 20, em conformidade às normas técnicas vigentes em relação ao formato, dimensões, potência, rotação, diâmetro e peso.

Figura 20: Modelo ilustrativo da serra-mármore utilizada nas operações



Fonte: JOMAFI FERRAMENTAS LTDA (2012)

Para a realização das operações de corte das serras, utilizaram-se discos diamantados, em conformidade com as normas técnicas, de modelo turbo contínuo, tipo côncavo para cortes a seco em materiais de construção, como ilustrado na figura 21.

Figura 21: Modelo ilustrativo do disco diamantado utilizado nas operações



- Diâmetro (ϕD) = 110mm
- Furo Central (ϕH)= 20mm
- Espessura da Alma do Disco (E)=1,4m
- Altura do Diamante (X) = 8mm
- Espessura do Diamante(T)=2,2mm

FONTE: Adaptado de JOMAFI FERRAMENTAS LTDA (2012)

Optou-se pela não identificação das marcas e modelos das serras e discos utilizados a fim de não caracterizar os resultados obtidos aos respectivos fabricantes.

7.2. Da escolha do local

Realizaram-se as medições de nível de pressão sonora gerado pela serra-mármore em campo livre, nas dependências da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, em Campinas/SP. O local em questão é uma área de estacionamento na universidade cujo piso é em terra batida e alguns pontos em grama aparada, os arredores são planos e sem construções. A escolha deste local deu-se em virtude da grande quantidade de pó gerado nas operações de corte dos materiais de construção com o equipamento.

7.3. Material de corte: placa cimentícia (carga padrão)

Para o estudo da carga padrão nas operações de corte com a serra-mármore, foram propostas placas planas de cimento, denominadas de placas cimentícias, buscando garantir uma padronização na sua confecção. Confeccionaram-se dois tipos de placas cimentícias, baseando-se nas características básicas dos materiais utilizados no pré-teste na fase de qualificação. O pré-teste mostrou que operações de corte com a serra-mármore têm um espectro do ruído médio aproximado aos valores da ardósia e placa cerâmica vermelha de um determinado fabricante entre diversos materiais de construção ensaiados, como mármore, granitos, porcelanatos, placas cerâmicas e telhas.

As placas cimentícias foram construídas em um lote controlado no laboratório de um fornecedor de artefatos de cimento. O material utilizado para construção das placas foi uma argamassa com traço em volume de 1:2:0,45. Utilizou-se cimento portland CP-II, agregado miúdo de areia quartzosa, com massa específica de $2,58\text{g/cm}^3$ e água tratada.

Para a moldagem das placas, foi construída uma forma com o fundo em chapa de madeira plastificada, com espessura de 1,5cm e, nas laterais, ripas de madeira em cedro de 5cm de espessura. A forma foi construída com as dimensões internas de 0,40m de comprimento, 0,40m de largura e alturas de 4cm e 2cm, possibilitando a confecção de dois tipos de placas de 0,40x0,40m, com 2cm e 4cm de espessura.

Após estabelecimento das quantidades dos componentes da argamassa, estes foram misturados em uma betoneira para posterior preenchimento em forma. Ao preenchimento com argamassa, a forma sofria um processo de vibração para melhor adensamento da argamassa. Após sete dias, foram retiradas as formas e reservou-se a placa até concluir o total de 28 dias no processo para finalização da cura.

7.4. Material de corte: outros materiais de construção

Para a seleção dos materiais utilizados nas operações de corte com serra-mármore nesta pesquisa, foi adotado como critério que as empresas fornecedoras fossem regularmente acreditadas pela Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, Associação Brasileira da Indústria de Materiais ou empresas com certificação ISO 9001.

Para este estudo, optou-se por utilizar materiais de construção de marcas mais populares e comercializadas em grande escala nas empresas do setor, no estado de São Paulo, considerando aqueles trabalhados com serra-mármore nos canteiros de obras.

Foi observada a utilização do mesmo lote de fabricação das rochas, placas cerâmicas e outros materiais a fim de não acrescentar outras variáveis na interpretação dos resultados de ruído obtidos em campo. Para caracterização dos materiais de construção, foram utilizadas as embalagens, manuais ou relatório de qualidade a fim de obter informações referentes aos produtos e sua conformidade com as normas.

Além da carga padrão proposta, utilizaram-se os seguintes materiais de construção nas operações de corte:

- a) placa de cerâmica vermelha, esmaltada, para piso medindo 31x31cm com 0,75cm espessura, modelo 3011 a5, pei 4, tonalidade 210, classificação/lote b27;
- b) placa de ardósia medindo 0,40x0,40m com 0,70cm de espessura.

Figura 22: Materiais utilizados nas operações de corte



Fonte: Arquivo da pesquisa

7.5. Das operações da serra-mármore

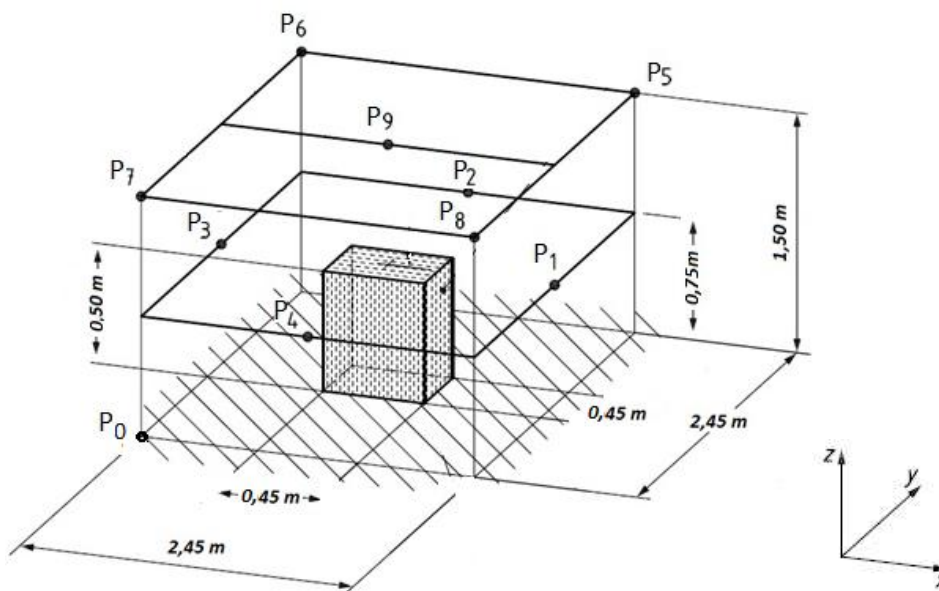
As operações de corte dos materiais de construção com a serra-mármore durante os ensaios foram realizadas conforme as condições de trabalho existentes nos canteiros de obras, em cortes lineares, a seco.

7.6. Disposição e distâncias da fonte e dos pontos para medição

Os pontos de medição dos níveis de pressão sonora, o posicionamento da fonte, suas distâncias e procedimentos de ensaio atenderam os requisitos da Norma ISO 3744:2010. Esta norma descreve que a distância de referência (d), dimensão entre as extremidades da caixa de referência e a superfície de medição (Figura 7) devem ter o espaçamento mínimo de 0,25m. Para este estudo, adotou-se $d = 1\text{ m}$, resultando nas dimensões da superfície de medição para implantação do método proposto, conforme figura 23.

Conforme a ISO 3744:2010, as disposições e dimensões mínimas de ensaio devem ser respeitadas através de uma superfície de medição, representando o posicionamento dos microfones (P_i) num paralelepípedo imaginário, conforme figura 23.

Figura 23: Disposição e Dimensionamento da Fonte, Superfície de Medição e Pontos de microfones (P_n)

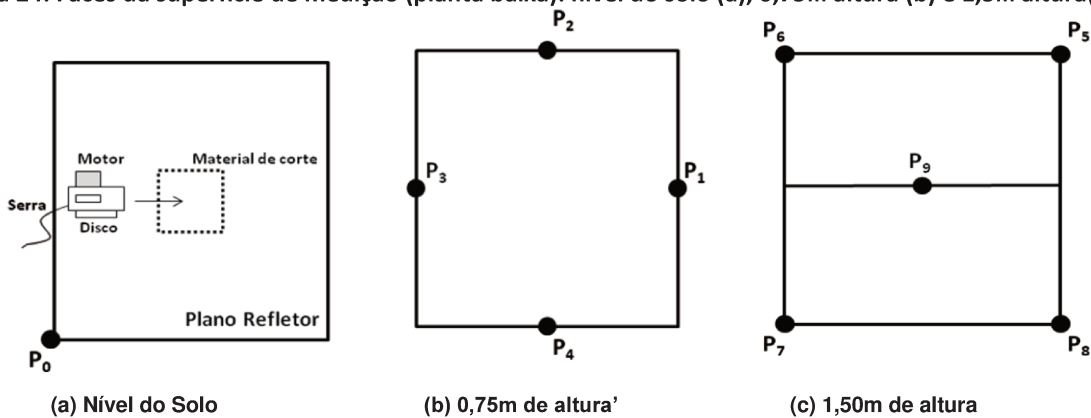


Fonte: Adaptado da ISO 3744:2010

A hachura listrada da figura 23 representa o plano refletor. A caixa acinzentada, no centro, ilustra a fonte de ruído (serra-mármore), local onde se realizam os cortes dos materiais de construção.

A figura 24 ilustra as três faces da superfície de medição em planta baixa, sendo o nível do solo (a), pontos de medição dos níveis de pressão sonora à 0,75m de altura (b) e os pontos de medição na altura de 1,5m (c). Percebe-se a disposição do plano refletor em relação à serra-mármore, ao sentido de corte adotado, à projeção dos materiais a serem operados e aos lados do motor e do disco no local de ensaio.

Figura 24: Faces da superfície de medição (planta baixa): nível do solo (a), 0,75m altura (b) e 1,5m altura(c)



O ponto P_0 , ilustrado nas figuras 23 e 24, trata-se de um ponto de referência para a representação dimensional nas coordenadas $x/y/z$ da superfície de medição proposta.

As coordenadas dos pontos de medição de ruído são apresentadas na tabela 10.

Tabela 10: Coordenadas dos pontos de medição e referência

P_n	$(x; y; z)$ m
P_0	(0,0,0) Ponto Referência
P_1	(2,45; 1,225; 0,75)
P_2	(1,225; 2,45; 0,75)
P_3	(0; 1,225; 0,75)
P_4	(1,225; 0; 0,75)
P_5	(2,45; 2,45; 1,5)
P_6	(0; 2,45; 1,5)
P_7	(0; 0; 1,5)
P_8	(2,45; 0; 1,5)
P_9	(1,225; 1,225; 1,5)

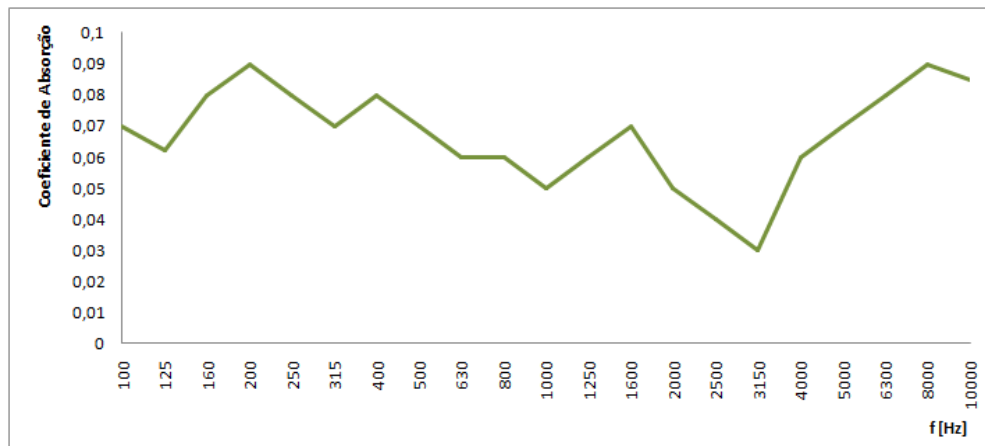
7.7. Do plano refletor

A Norma ISO 3744:2010 recomenda que o plano refletor tenha coeficiente de absorção menor que 0,1 nas frequências de interesse. Adotaram-se, como material do plano refletor, placas de fibra em madeira de média densidade – MDF (*Medium Density Fiberboard*), de revestimento liso em verniz de alto brilho, com espessura de 20mm.

As dimensões do plano refletor excediam em 0,5m cada lateral da superfície de medição, conforme determinação normativa, medindo 3,45x3,45m, perfazendo uma área de 11,90m². A escolha do MDF como plano refletor deu-se por se tratar de um material rígido e plano com coeficiente de absorção adequado nas frequências de interesse, conforme determinação da Norma ISO 3744:2010.

A figura 25 ilustra o coeficiente de absorção nas faixas de frequência adotadas para as medições do nível de pressão sonora deste trabalho. Os dados foram obtidos da pesquisa sobre Absorção Acústica de Materiais Porosos, no Laboratório de Conforto da FEC/Unicamp (GAETA; BERTOLI, 2011).

Figura 25: Coeficiente de absorção do Plano Refletor



Fonte: Gaeta e Bertoli (2011).

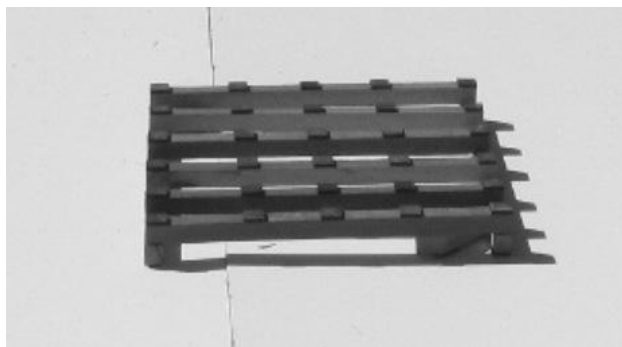
7.8. Do suporte da amostra

Para a realização das operações de corte, utilizou-se um gabarito de madeira medindo 50x50cm e 6cm de altura como suporte da amostra para apoio das placas e materiais a serem cortados durante as operações com a serra-mármore.

Determinaram-se as dimensões do suporte com base nas medições preliminares do pré-teste, quando se observou a distância média de corte para diferentes materiais no tempo adequado para não prejudicar a ergonomia do ensaio e atender a Norma.

Com a utilização do suporte da amostra (Figura 26), permite-se a padronização na delimitação das linhas de corte e o posicionamento da serra durante as operações.

Figura 26: Suporte da amostra nas operações de corte (gabarito)



7.9. Dos Equipamentos de Medição de Ruído

Para realização das medições de nível de pressão sonora utilizou-se o medidor de nível de pressão sonora marca Brüel & Kjær modelo 2260 (Figura 27), devidamente calibrado. Mediram-se os níveis de pressão sonora em função da frequência em bandas de 1/3 de oitava entre 100 e 10.000Hz, por recomendação da Norma ISO 3744:2010.

Figura 27: Medidor de Nível de Pressão Sonora utilizado - Brüel & Kjær mod. 2260



Posicionou-se o microfone do medidor em pontos predefinidos, conforme disposto na superfície de medição, perfazendo nove pontos de posicionamento. O microfone foi orientado ao ângulo de incidência das ondas sonoras emitidas pela fonte.

Como as condições ambientais podem ter efeito adverso sobre o microfone utilizado nos ensaios, controlaram-se as condições de pressão, temperatura, velocidade do vento, precipitação, campos intensos elétricos ou magnéticos para garantir condições normais de ensaio a fim de não interferirem nos resultados obtidos, sobre as faixas de frequências consideradas.

7.10. Dos tempos de medição

O tempo (t) de duração da medição dos níveis de ruído nas operações de corte com a serra-mármore foi de 10 segundos. A adoção deste tempo deu-se em virtude da ergonomia do ensaio e do tempo mínimo exigido na Norma ISO 3744:2010, o que permitiu a realização das operações com a serra em relação ao comprimento de corte dos materiais na posição do operador de forma ininterrupta, quando do acionamento da serra com carga. Um tempo de duração mais longo exigiria placas de maiores dimensões e dificultaria o alcance na posição do operador ao longo da placa.

7.11. Dos Operadores das Serras-Mármore

A Norma ISO 3744:2010 recomenda que as atividades que geram o ruído com o equipamento simulem os parâmetros mais próximos da prática real, nas condições normais de uso, a fim de garantir condições relevantes de utilização do equipamento.

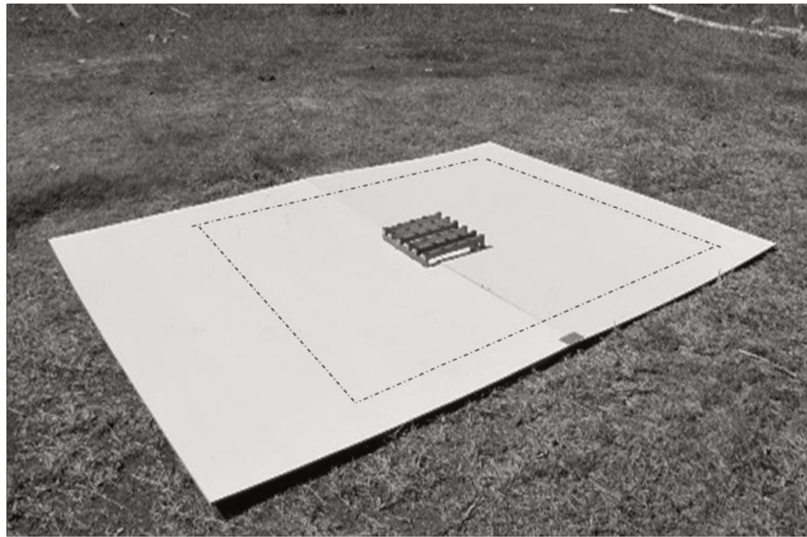
As operações de corte com as serras foram realizadas com profissionais atuantes no mercado da construção civil e com habilidades nesta ferramenta com o intuito de obter níveis de ruído similares àqueles praticados nas atividades desta natureza, desse modo, buscando acompanhar a ergonomia adotada nos canteiros.

Os três operadores que participaram dos ensaios foram instruídos previamente em relação à disposição de ensaio, forma de operação da serra-mármore para a montagem proposta, dos equipamentos de proteção necessários, do tempo de corte e detalhes de posicionamento da carga, do equipamento e de seu acionamento.

7.12. Dos Procedimentos de Medição

Realizaram-se as medições dos níveis sonoros nas operações com a serra-mármore em ambiente externo, com a superfície de medição disposta em um campo livre sobre plano refletor, conforme ilustrado na figura 28.

Figura 28: Plano refletor em campo livre, projeção da superfície de medição e suporte da amostra.



Para a realização das operações de acionamento da serra, inicialmente, o suporte da amostra era fixado no centro da projeção da superfície de medição, sobre o plano refletor. A projeção dos pontos de posicionamento do microfone do medidor estava demarcada no plano refletor.

O medidor de pressão sonora estava fixado em um pedestal articulável no sentido vertical e horizontal, assim, facilitando o ajuste nas distâncias de posicionamento do microfone, definidas conforme da superfície de medição (Figura 23).

A serra-mármore era ligada a uma extensão oriunda da fonte de energia, existente em um laboratório, nas proximidades do local. A serra-mármore estava sempre limpa antes do início das operações e sempre era instalada a um disco diamantado turbo contínuo e novo para se iniciar as medições. Os primeiros 10 segundos de corte dos discos novos eram desprezados, uma vez que o fabricante informa que é necessário desbastar a resina de proteção da lâmina.

A cada 30 cortes efetuados, eram substituídos os discos a fim de manter um rendimento similar na operação de corte. Para todas as operações foram utilizadas as mesmas marcas e modelos de discos diamantados e serras-mármore. Para todas as operações com a serra-mármore, foram adotadas atividades de corte linear, a seco. O operador utilizava uniforme de construção civil de calças e mangas longas, além dos equipamentos de proteção compostos por luvas, botas, protetor auricular e óculos.

No procedimento utilizado para o estudo, considerou-se o ruído gerado nos arredores da fonte, em nove pontos de medição dos níveis de pressão sonora na superfície de medição, conforme se expõe na figura 23, designados de L'_{pi} , com "i", variando de 1 a 9. Foram efetuadas as medições do nível de pressão sonora com o equipamento específico (Figura 15), segundo as orientações da Norma ISO 3744:2010.

Para cada ponto P_i da superfície de medição, deve-se efetuar a medição do nível de pressão sonora de ruído de fundo ($L_{pi(B)}$), do nível de ruído com a máquina sem carga e com a máquina realizando os cortes dos materiais propostos ($L'_{pi(ST)}$). As medições dos níveis de ruído gerados nos pontos da superfície de medição realizaram-se nas seguintes condições:

- a) Ruído de fundo.
- b) Operando cortes em placas cimentícias (carga padrão de 2cm e 4cm).
- c) Operando cortes em placas cerâmicas.
- d) Operando cortes em ardósia.
- e) Operando sem carga.

Inicialmente, efetuou-se a medição do nível de pressão sonora do ruído de fundo em todas as posições de microfone da superfície de medição. Posteriormente, foram realizadas seis medições de pressão sonora em cada ponto da superfície de medição, durante as atividades de corte da serra-mármore para cada um dos materiais propostos: carga padrão de 2cm e 4cm; dos materiais de referência: placa cerâmica e ardósia; e da condição sem carga da serra-mármore. As medições de iniciavam após cerca de 2 segundos do início dos cortes. Adotou-se o tempo de 10 segundos de corte para cada medição realizada, em todas as repetidas vezes em cada posição definida da caixa de referência.

Os materiais eram posicionados sobre o suporte da amostra. Utilizou-se sempre o mesmo sentido de corte, no mesmo posicionamento do operador. Eram realizados cerca de cinco cortes em cada amostra de material de carga, variando de acordo com o material, em relação ao tamanho da placa e distância de corte efetuado. Nas medições sem carga, a serra-mármore era posicionada a cerca de 5cm de altura do suporte da amostra, sem encostar em qualquer material, durante o tempo de medição do nível sonoro gerado.

As operações do operador simulavam a disposição de uma obra, realizando cortes em materiais de construção com a utilização de uma serra-mármore. A figura 29 ilustra a situação em campo livre sobre um plano refletor, onde se realizaram medições de ruído.

Figura 29: Disposição ilustrativa das condições de medição em campo livre sobre um plano refletor.



7.13. Dos cálculos realizados a partir das medições

Para determinação do nível de pressão sonora ($\overline{L'_{p(ST)}}$), a partir do nível de pressão sonora em cada ponto da superfície de medição ($L'_{pi(ST)}$), foi utilizada a equação 7.1:

$$\overline{L'_{p(ST)}} = 10 \lg \left[\frac{1}{S} \sum_{i=1}^{N_M} S_i \times 10^{0,1L'_{pi(ST)}} \right] \text{ dB} \quad [7.1]$$

Onde:

$L'_{pi(ST)}$: Nível de pressão sonora, em bandas de frequência, medido em cada i-ésima posição do microfone (dB).

S_i : Área parcial da superfície de medição associada com i-ésima posição do microfone (m²).

S : Área total na superfície de medição (m²).

N_M : é o número de posições de microfone na superfície de medição.

FONTE: ISO 3744 (2010)

Calcula-se o nível de pressão sonora do ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$, pela equação 7.2:

$$\overline{L_{p(B)}} = 10 \lg \left[\frac{1}{S} \sum_{i=1}^{N_M} S_i \times 10^{0,1L_{pi(B)}} \right] \text{ dB} \quad [7.2]$$

Onde:

$L_{pi(B)}$: nível de pressão sonora do ruído de fundo medido nos pontos dos microfones da superfície de medição, em decibels (dB).

S_i : Área parcial da superfície de medição associada com i-ésima posição do microfone (m²).

S : Área total na superfície de medição (m²).

N_M : é o número de posições de microfone na superfície de medição.

FONTE: ISO 3744 (2010)

Para as correções do ruído de fundo (K_1), utilizou-se a equação 7.3:

$$K_1 = -10 \lg \left(1 - 10^{-0,1\Delta L_p} \right) \text{ dB} \quad [7.3]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

Onde: ΔL_p é a diferença do nível médio de pressão sonora obtido nos pontos e do nível médio de pressão sonora do ruído de fundo, conforme equação 7.4:

$$\Delta L_p = \overline{L'_{p(ST)}} - \overline{L_{p(B)}} \quad [7.4]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

Se $\Delta L_p > 15$ dB, K_1 é assumido como zero, sem correções do ruído de fundo.

Se $6 \text{ dB} \leq \Delta L_p \leq 15 \text{ dB}$, as correções deverão ser aplicadas.

Se $\Delta L_p < 6$ dB para uma ou mais bandas de frequência, deve ser corrigido com valor de $K_1 = 1,3$ dB (resultado obtido na equação 6.3 para $\Delta L_p = 6$ dB).

7.13.1. Cálculo do nível de pressão sonora médio

O nível de pressão sonora médio ($\overline{L_p}$) é calculado a partir da correção do nível de pressão sonora para o ruído de fundo (K_1) e a influência do ambiente (K_2), conforme equação 7.5:

$$\overline{L_p} = \overline{L'_{p(ST)}} - K_1 - K_2 \quad [7.5]$$

De acordo com a recomendação da Norma ISO 3744:2010, nas áreas externas, em superfícies rígidas, sem obstáculos de reflexão aos arredores e em uma distância equivalente a 10 vezes a maior distância entre a fonte e a extremidade da superfície de medição, a correção devido ao ambiente (K_2) pode ser desconsiderada. Desta maneira, por recomendação normativa, nas condições do ambiente utilizadas no estudo, adotou-se o coeficiente $K_2 = 0$.

7.13.2. Cálculo do nível de potência sonora

O nível de potência sonora (L_w) é calculado a partir da equação 7.6:

$$L_w = \overline{L_p} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB} \quad [7.6]$$

Onde:

S: é a área, em metros quadrados (m^2), da superfície de medição.

S₀ = 1m^2 .

FONTE: ISO 3744 (2010)

7.13.3. Ponderação em dB(A) dos níveis de potência sonora

Os níveis de ponderação do nível de potência sonora, L_{WA} , podem ser calculados utilizando-se a equação 7.7:

$$L_{WA} = 10 \lg \sum_{k=k_{\min}}^{k_{\max}} 10^{0,1(L_{Wk} + C_k)} \text{ dB} \quad [7.7]$$

Onde:

L_{Wk} Nível de potência sonora, em dB, na faixa de frequência correspondente.

C_k Valor de ponderação a ser considerado na frequência correspondente.

k Valor da frequência correspondente, em Hz.

FONTE: ISO 3744 (2010)

O valor de ponderação a ser considerado na k-ésima frequência correspondente é apresentado na tabela 11.

Tabela 11: Ponderação em dB(A) dos Níveis de Potência Sonora

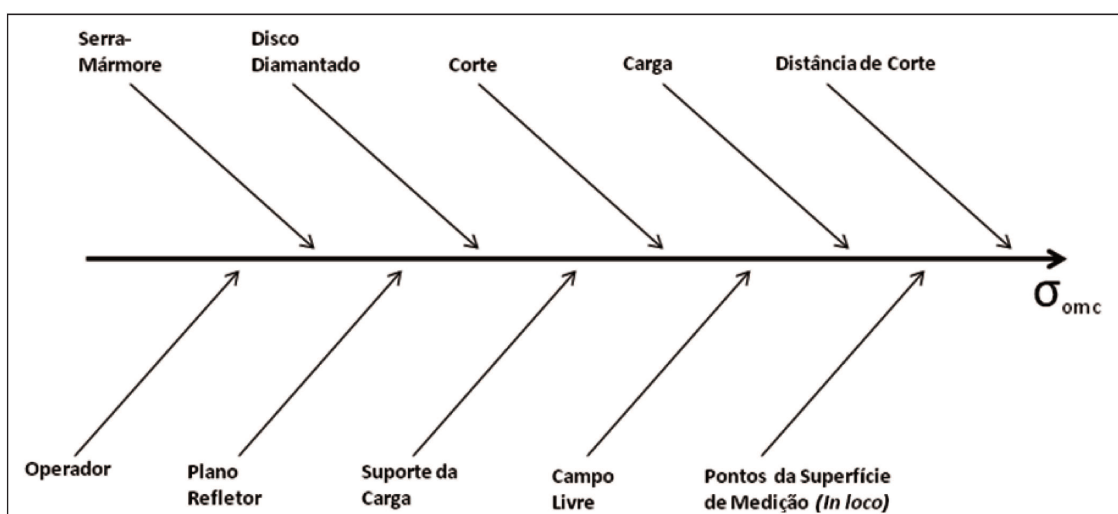
Frequência (Hz)	Ponderação (C_k)
100	-19,1
125	-16,1
160	-13,4
200	-10,9
250	-8,60
315	-6,60
400	-4,80
500	-3,20
630	-1,90
800	-0,80
1000	0,00
1250	0,60
1600	1,00
2000	1,20
2500	1,30
3150	1,20
4000	1,00
5000	0,50
6300	-0,10
8000	-1,10
10000	-2,50

FONTE: GERGES (2000)

7.13.4. Diagramas causa-efeito nas incertezas de medição

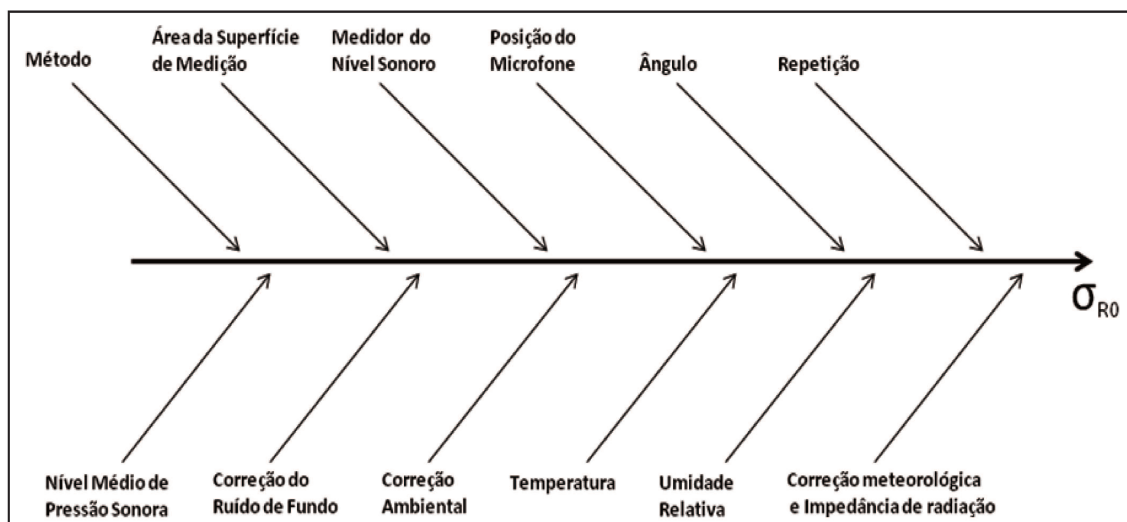
Os diagramas causa-efeito das figuras 30 e 31 ilustram as fontes de incertezas e grandezas associadas à instabilidade da operação, condições ambientais, de montagem e ensaios na determinação de níveis sonoros de serra-mármore em campo livre sobre um plano refletor. Esses diagramas identificam as fontes de incertezas e grandezas de entrada que definem a incerteza dos respectivos parâmetros σ_{omc} e σ_{R0} .

Figura 30: Diagrama causa-efeito das incertezas na instabilidade de operação/montagem - σ_{omc}



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 31: Diagrama causa-efeito das incertezas nas condições ambientais e de ensaio - σ_{R0}



Fonte: Arquivo da pesquisa.

7.13.5. Cálculos das incertezas de medição

Para o cálculo das incertezas do nível de potência sonora, $u(L_w)$, de acordo com a Norma ISO 3744:2010, a partir do desvio padrão total estimado, σ_{tot} , utiliza-se a equação:

$$u(L_{Wref,atm}) \approx \sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{omc}^2} = \sqrt{\sum_i (c_i u_i)^2 + \sigma_{omc}^2} \quad [7.8]$$

Onde: σ_{tot} : Desvio padrão total estimado.

σ_{omc} : Desvio de incertezas, instabilidade da operação e condições de montagem.

σ_{R0} : Desvio corrigido pelas incertezas das condições ambientais e de ensaio.

C_i : Coeficiente de sensibilidade da *i*-ésima componente do desvio σ_{R0} .

u_i : Incerteza padrão da *i*-ésima componente do desvio σ_{R0} .

FONTE: ISO 3744 (2010)

O cálculo do desvio padrão σ_{omc} é obtido pela equação:

$$\sigma_{omc} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (L_{p,j} - L_{pav})^2} \text{ dB} \quad [7.9]$$

Onde: L_{pj} : Nível de pressão sonora obtido para o ruído de fundo para a *j*-ésima repetição nas condições de operação e montagem.

L_{pav} : Média aritmética de todos os níveis de sonora obtidos nas repetições.

FONTE: ISO 3744 (2010)

Derivado de σ_{tot} , calcula-se a incerteza de medição expandida U, em decibels:

$$U = k \cdot \sigma_{tot} \quad [7.10]$$

FONTE: ISO 3744 (2010)

A incerteza de medição depende do grau de confiança desejado. A Norma ISO 3744:2010 recomenda que, para uma distribuição normal dos valores de medição, há 95% de confiança de que o valor verdadeiro se encontrará dentro de um intervalo correspondente a um fator de abrangência de $k = 2$.

Os componentes de incertezas de medição das condições ambientais e de ensaio do desvio σ_{R0} , de acordo com a Norma ISO 3744:2010, são detalhados na tabela 12. São apresentados o valor considerado ou fórmula correspondente das variáveis de incerteza padrão, distribuição de probabilidade, valor estimado e coeficiente de sensibilidade de cada parâmetro associado, além da representação normativa do componente.

Tabela 12: Componentes de incertezas de medição das condições ambientais e de ensaio - σ_{R0}

Componente	Representação	Valor Estimado [dB]	Incerteza Padrão, u_i [dB]	Distribuição de Probabilidade	Coefficiente de Sensibilidade, c_i
Método	δ_{method}	0	0,4	Normal	1
Nível de Pressão Sonora Médio (espacial)	$\overline{L'p_{(ST)}}$	$\overline{L'p_{(ST)}}$	$S L'p_{(ST)} _{rep}$	Retangular	$1 + \frac{1}{10^{0,1 \Delta Lp - 1}}$
Área da Superfície de Medição	S	$10 \lg \frac{S}{S_0}$	$\frac{\Delta r}{\sqrt{3}}$	Retangular	$\frac{8,7}{r}$
Correção do Ruído de Fundo	K_1	K_1	$S Lp_{(B)}$	Normal	$1 + \frac{1}{10^{0,1 \Delta Lp - 1}}$
Correção Ambiental	K_2	K_2	$\frac{K_2}{4}$	Normal	1
Correção Meteorológica e Impedância de radiação	$C_1 + C_2$	$C_1 + C_2$	0,3	Triangular	1
Medidor de Nível Sonoro	δ_{sim}	0	0,5	Normal	1
Posição do Microfone	δ_{mic}	0	$\frac{V_1^*}{\sqrt{n}}$	Normal	1
Ângulo	δ_{angle}	0	$0,05 + 0,6 \lg \left(\frac{S}{d^2} \right)$	Retangular	$10^{-k_2/10}$
Temperatura	δ_{θ}	0	$\frac{\Delta \theta}{\sqrt{3}}$	Retangular	$\frac{-0,57 + 0,25 \lg (2,6 f)}{1 + 0,001 H + 0007 \theta} \left(1 - 10^{-k_2/10} \right)$
Umidade Relativa	δ_H	0	$\frac{\Delta H}{\sqrt{3}}$	Retangular	$\frac{-2,6 + 1,6 \lg (0,7 f)}{1 + 0,5 H} \left(1 - 10^{-k_2/10} \right)$

FONTE: ISO 3744 (2010).

7.13.6. Cálculo do Desvio Padrão (Geral)

Para calcular o grau de dispersão dos diversos parâmetros numéricos obtidos neste estudo, utilizou-se o desvio padrão através da Equação 6.13.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad [7.11]$$

Onde: X_i Níveis obtidos nas medições.
 \bar{X} Nível médio da amostra.
 n Quantidade de medições realizadas na amostra.

FONTE: INMETRO (2012)

CAPÍTULO 8

RESULTADOS E ANÁLISES

“Não diga que a vitória está perdida.
Tenha fé em Deus, tenha fé na vida.
Tente outra vez!”

Raul Seixas

8. Resultados e análises

Neste capítulo são apresentados os resultados e análises das medições do nível de pressão sonora, cálculos do nível de potência sonora gerados nas operações sem carga e de corte linear com serra-mármore, os desvios e a incerteza de medição obtida.

As disposições adotadas, medições e cálculos realizados encontram-se em conformidade com a Norma ISO 3744:2010 para a determinação de níveis de potência sonora de ruído transmitido através do ar, por um método de engenharia num campo livre sobre um plano refletor.

Para as medições dos níveis de pressão sonora realizados, consideraram-se o ruído de fundo, operações sem carga com o equipamento e atividades de corte dos materiais de construção propostos, sendo cortes lineares a seco de placas cerâmicas, rocha ornamental tipo ardósia e placas cimentícias propostas denominadas de "carga padrão" nas espessuras de 2cm e 4cm.

Efetuaram-se medições do nível de pressão sonora em cada ponto da superfície de medição proposta pela Norma ISO 3744:2010, de P_1 a P_9 (Figura 23), além do ruído de fundo, com a duração de registro de 10 segundos cada medição. A partir desses níveis, calcularam-se os valores correspondentes ao nível de pressão sonora médio (L_p), que considera os níveis de ruído gerados aos arredores da fonte e suas respectivas correções em relação ao ambiente, ao método utilizado e ao ruído de fundo, conforme disposição da norma. Em seguida, calculou-se o nível de potência sonora (L_w) e análise a incerteza de medição associada ao método utilizado.

Apresentam-se análises individuais dos níveis de pressão e de potência sonora gerados nos pontos de medição, estudos comparativos com os materiais de construção escolhidos e carga padrão proposta, simulações com diferentes operadores e estudo dos desvios obtidos, o resultado dos desvios padrões das incertezas e a incerteza de medição expandida (U), todos indicados por meio de planilhas, gráficos e figuras comparativas nas diferentes situações adotadas.

Todos os dados individuais, obtidos nas medições do nível de pressão sonora, são apresentados ao final deste trabalho, no Apêndice A.

8.1. Nível de pressão sonora

O estudo da potência sonora gerada por serra-mármore portátil trabalhando em materiais de construção civil, nas suas condições de carga e operação, em conformidade com a Norma ISO 3744:2010, foi realizado a partir da determinação dos níveis de pressão sonora num campo livre sobre um plano refletor.

Considerou-se, nos valores dos níveis de pressão sonora apresentados para as diferentes condições de carga da serra-mármore (carga padrão de 4cm e 2cm, sem carga, a placa cerâmica e a ardósia), a média das medições realizadas em cada ponto $P(i)$ da superfície de medição (Figura 23). Também foram considerados os níveis de pressão sonora do ruído de fundo do ambiente de ensaio para análise da sua interferência no ruído gerado pela serra nas operações.

O nível de pressão sonora médio ($\overline{L'_{p(ST)}}$) representa a média obtida dos níveis de pressão sonora $L'_{p(ST)}$ em todos os pontos $P(i)$ da superfície de medição, sem correção para o ruído de fundo, conforme orientação da Norma ISO 3744:2010 (Equação 7.1). O nível médio do ruído de fundo é representado por $\overline{L_{p(B)}}$ (Equação 7.2).

Ao final deste item do nível de pressão sonora, ilustra-se, ainda, um estudo com diferentes operadores e o comportamento do ruído gerado nas operações com a serra-mármore com os dois materiais propostos como carga padrão (2cm e 4cm).

8.1.1. Medições de ruído: serra operando com a carga padrão de 4cm

Os níveis de pressão sonora $L'_{p(ST)}$ em função da frequência gerados nas operações de corte nos pontos P₁ a P₉, com carga padrão de 4cm de espessura, os níveis médios $\overline{L'_{p(ST)}}$ e os níveis de ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ são ilustrados na figura 32 e tabela 13.

Figura 32: Níveis de pressão sonora: carga padrão 4cm nos pontos, média $\overline{L'_{p(ST)}}$ e ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$

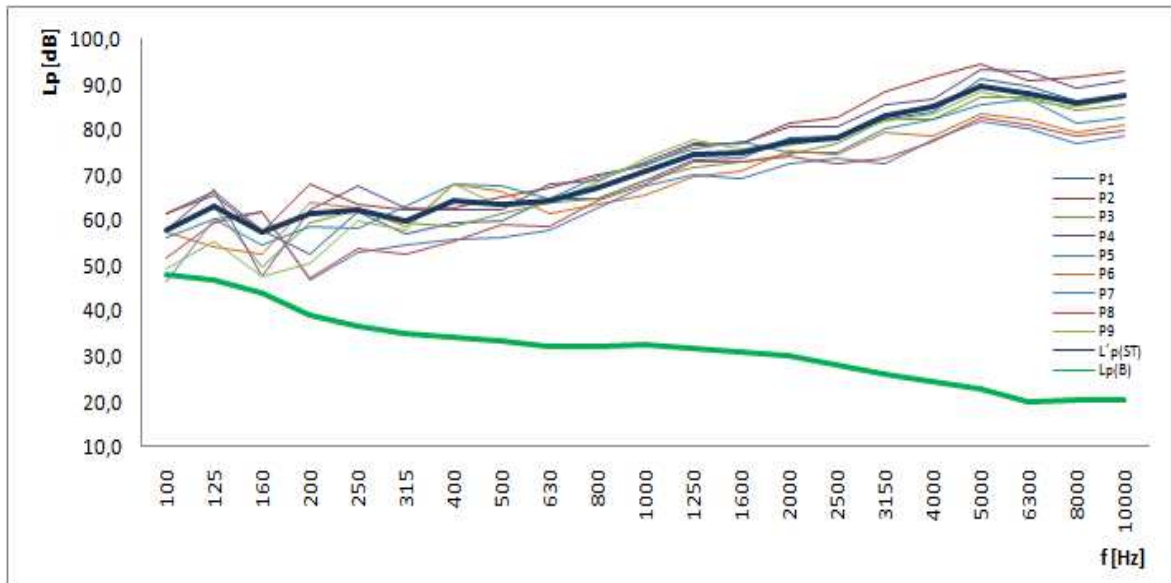


Tabela 13: Níveis de pressão sonora carga padrão 4cm, média $\overline{L'_{p(ST)}}$, ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ e Desvio Padrão

f	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	$\overline{L_{p(B)}}$	$\overline{L'_{p(ST)}}$	Desvio
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	Padrão
100	61,5	61,4	58,2	57,7	56,1	57,4	46,4	51,9	49,4	48,3	57,7	5,3
125	66,3	65,4	63,0	66,8	60,3	54,2	60,5	59,7	55,5	47,0	63,1	4,5
160	57,7	57,6	49,6	47,7	54,7	52,6	62,0	61,8	47,8	43,9	57,4	5,6
200	52,4	67,9	59,6	62,1	58,8	64,0	46,8	47,3	50,7	39,0	61,4	7,6
250	61,7	63,5	62,3	67,6	58,3	62,8	53,0	53,9	59,7	36,6	62,3	4,7
315	57,2	62,3	59,4	62,7	63,3	58,8	54,5	52,4	57,8	35,1	59,9	3,7
400	59,5	62,8	58,5	62,3	68,0	68,0	55,7	55,5	67,9	34,1	64,4	5,1
500	59,7	65,1	61,4	62,2	67,7	66,2	56,0	59,2	63,1	33,3	63,6	3,7
630	64,8	67,4	64,0	68,0	64,6	61,6	58,0	58,8	63,8	32,4	64,5	3,4
800	64,6	69,9	64,9	68,9	69,5	63,4	62,7	64,2	68,3	32,1	67,1	2,8
1000	69,0	72,1	68,8	72,8	72,5	65,4	67,8	67,9	73,9	32,5	70,8	2,9
1250	73,3	76,7	71,7	76,9	75,8	69,6	70,0	72,9	77,6	31,9	74,7	3,0
1600	73,9	77,0	72,7	77,1	77,5	71,0	69,4	73,1	75,8	31,2	74,9	2,9
2000	78,4	81,6	74,4	80,7	75,0	75,2	72,4	74,3	76,6	30,3	77,6	3,1
2500	78,6	82,8	77,1	80,5	75,0	74,4	73,7	72,6	78,5	28,2	78,2	3,4
3150	82,2	88,2	82,3	85,6	80,1	79,5	72,4	73,7	81,9	26,2	82,9	5,1
4000	84,1	91,6	82,5	86,7	82,1	78,5	77,9	77,3	83,3	24,4	85,1	4,6
5000	91,4	94,6	87,2	93,3	85,7	83,5	81,9	82,8	88,3	22,8	89,8	4,6
6300	89,6	90,8	87,3	92,7	86,8	82,4	80,1	81,1	86,5	20,1	88,1	4,4
8000	86,2	91,4	84,2	89,3	81,5	79,6	77,2	78,6	85,0	20,2	86,0	4,9
10000	87,6	92,9	85,5	90,7	82,8	80,9	78,4	79,9	87,3	20,4	87,5	5,0
Lp Global - Linear[dB]	95,9	100,0	93,3	98,6	92,2	89,4	87,3	88,2	94,1	52,4	95,2	-
Lp Global [dB(A)]	95,9	99,9	93,3	98,5	92,2	89,5	87,3	88,2	94,0	42,6	95,1	-

8.1.2. Medições de ruído da serra operando com carga padrão de 2cm

Os níveis de pressão sonora $L'_{p(ST)}$, nas operações de corte em função da frequência, nos pontos P₁ a P₉, com a carga padrão de 2cm de espessura, os níveis médios ($\overline{L'_{p(ST)}}$) e o nível de ruído de fundo ($\overline{L_{p(B)}}$) são indicados na figura 33 e tabela 14.

Figura 33: Níveis de pressão sonora: carga padrão 2cm nos pontos, média [$\overline{L'_{p(ST)}}$] e ruído de fundo [$\overline{L_{p(B)}}$]

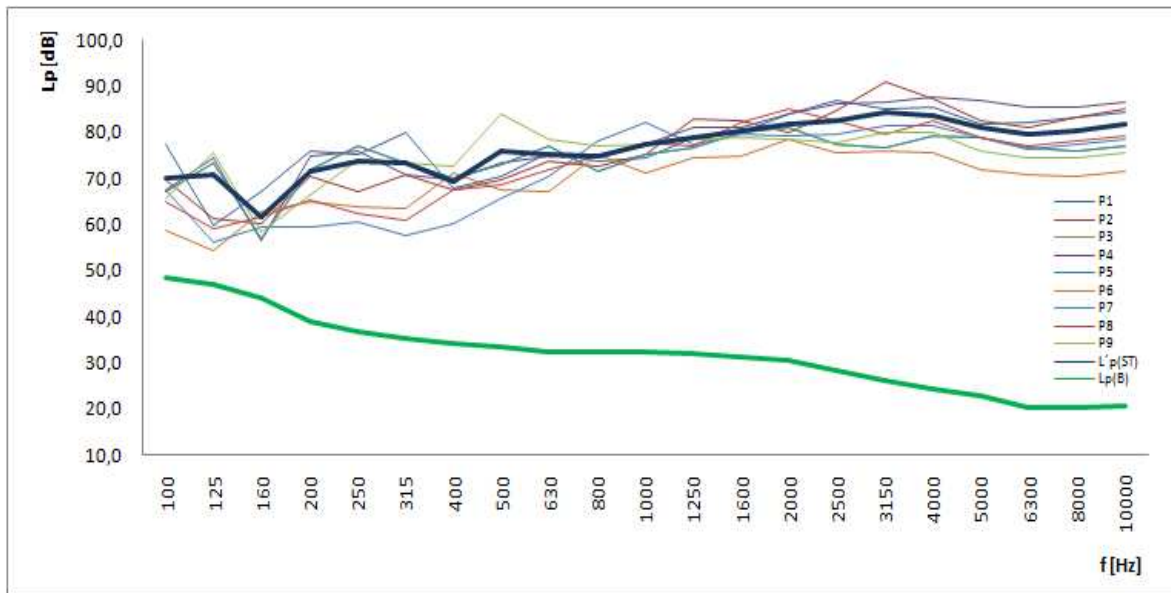


Tabela 14: Níveis de pressão sonora: carga padrão 2cm, média $\overline{L'_{p(ST)}}$, ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ e Desvio Padrão

f	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	$\overline{L_{p(B)}}$	$\overline{L'_{p(ST)}}$	Desvio
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	Padrão
100	77,3	69,8	67,1	67,4	67,1	58,7	67,5	64,7	65,8	48,3	70,1	4,9
125	59,7	61,1	73,2	74,4	73,2	54,4	56,2	59,1	75,5	47,0	70,8	8,7
160	67,3	60,3	56,8	56,6	56,8	62,8	59,3	61,7	58,2	43,9	61,5	3,5
200	76,0	70,5	71,7	74,9	71,7	64,7	59,2	65,3	66,2	39,0	71,4	5,4
250	75,0	67,3	76,9	76,0	76,9	63,7	60,5	62,4	74,0	36,6	73,6	6,8
315	79,9	70,6	73,2	70,8	73,2	63,6	57,7	60,9	73,3	35,1	73,2	7,1
400	68,0	67,6	70,2	69,6	70,2	71,0	60,2	67,3	72,4	34,1	69,4	3,5
500	70,3	69,5	73,0	73,4	73,0	67,5	65,7	68,4	84,1	33,3	76,0	5,4
630	75,4	73,5	77,0	74,7	77,0	67,1	70,5	71,7	78,6	32,4	75,1	3,6
800	73,9	72,4	71,6	74,5	71,6	75,0	78,0	74,7	77,1	32,1	74,9	2,3
1000	74,4	75,1	75,2	77,2	75,2	71,0	82,3	77,9	77,4	32,5	77,2	3,1
1250	78,8	82,7	76,6	81,0	76,6	74,4	77,3	76,9	78,5	31,9	78,8	2,5
1600	79,8	82,5	79,8	81,0	79,8	74,9	79,4	82,1	78,9	31,2	80,2	2,2
2000	83,9	79,8	80,8	84,1	80,8	78,3	79,1	84,9	78,5	30,3	81,8	2,5
2500	86,7	84,6	77,4	86,0	77,4	75,7	79,5	82,5	77,8	28,2	82,6	4,2
3150	85,1	91,0	76,7	86,5	76,7	75,9	81,3	79,6	80,0	26,2	84,4	5,1
4000	85,6	87,4	79,3	87,8	79,3	75,7	81,5	82,6	79,8	24,4	83,7	4,1
5000	81,9	82,4	78,6	86,9	78,6	71,8	79,0	78,6	76,0	22,8	81,1	4,2
6300	82,1	80,9	76,5	85,3	76,5	70,7	76,3	77,0	74,4	20,1	79,7	4,4
8000	83,1	83,2	75,7	85,3	75,7	70,5	77,4	78,0	74,3	20,2	80,4	4,8
10000	84,3	85,2	76,9	86,6	76,9	71,6	78,6	79,2	75,4	20,4	81,8	5,0
Lp Global - Linear[dB]	94,3	95,5	89,5	95,8	89,5	85,7	90,4	91,4	90,6	52,4	92,4	-
Lp Global [dB(A)]	94,5	96,1	89,3	96,1	89,3	86,1	90,8	92,0	90,0	42,6	92,7	-

8.1.3. Medições de ruído da serra operando sem carga

Os níveis de pressão sonora $L'_{p(ST)}$ gerados nas operações de serra sem carga nos pontos, níveis médios $\overline{L'_{p(ST)}}$ e o ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ são ilustrados na figura 34 e tabela 15.

Figura 34: Níveis de pressão sonora nas operações sem carga, média $[\overline{L'_{p(ST)}}]$ e ruído de fundo $[\overline{L_{p(B)}}]$

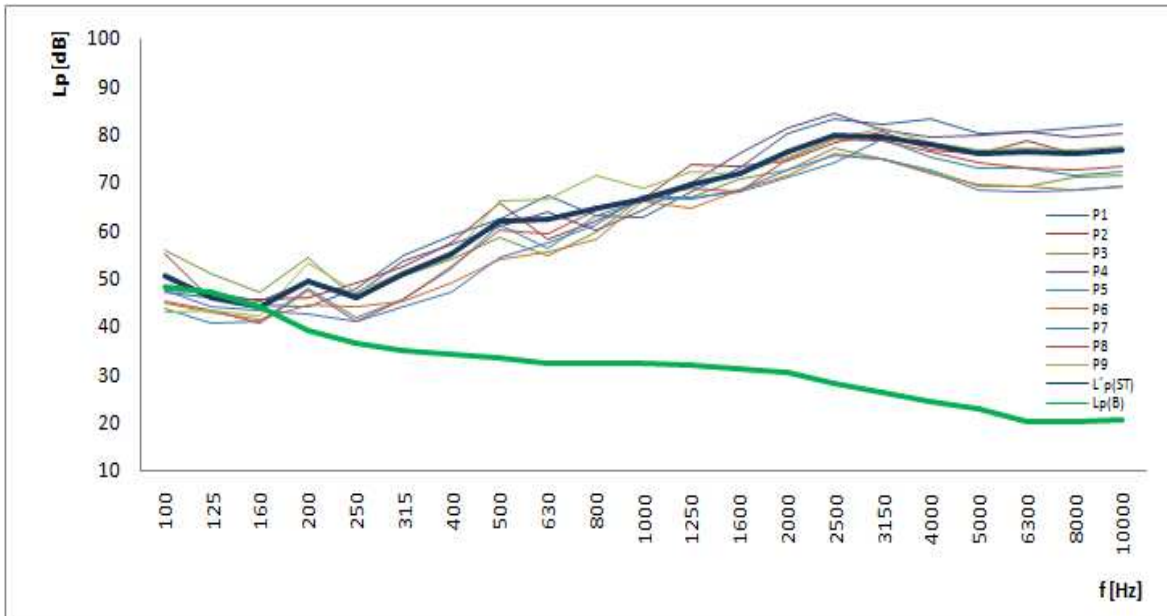


Tabela 15: Níveis sonoros nas operações sem carga, média $\overline{L'_{p(ST)}}$, ruído de fundo $[\overline{L_{p(B)}}]$ e Desvio Padrão

f	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	$\overline{L_{p(B)}}$	$\overline{L'_{p(ST)}}$	Desvio
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	Padrão
100	46,9	55,2	55,8	47,3	43,5	44,9	47,5	45,0	42,8	48,3	50,3	4,7
125	45,8	45,5	50,7	46,9	40,8	42,9	44,1	43,2	43,2	47,0	45,8	2,9
160	44,3	45,7	46,9	45,2	41,1	41,3	43,4	40,5	42,0	43,9	43,9	2,3
200	44,2	45,8	54,2	49,2	48,0	44,3	42,4	47,5	53,1	39,0	49,4	4,0
250	47,8	49,1	45,5	46,7	41,9	43,9	41,0	41,1	47,0	36,6	45,8	3,0
315	54,8	52,3	50,4	53,6	45,5	45,0	44,1	45,5	51,2	35,1	50,8	4,1
400	58,9	57,5	54,0	56,8	52,0	49,0	46,9	52,4	54,4	34,1	54,9	3,9
500	62,2	65,5	58,6	60,9	61,2	53,9	54,4	60,1	66,2	33,3	62,0	4,3
630	67,1	58,2	54,8	63,9	56,3	55,4	57,3	59,1	66,5	32,4	62,3	4,8
800	63,2	62	59,6	60,1	63,2	58,2	61,0	64,2	71,2	32,1	64,5	3,8
1000	62,6	66,4	67,0	64,3	66,1	66,0	67,3	66,9	68,7	32,5	66,4	1,8
1250	67,9	73,6	67,0	69,7	67,0	64,6	66,4	68,7	72,2	31,9	69,5	2,9
1600	73,0	73,2	70,5	76,1	67,9	68,4	68,2	67,8	71,9	31,2	71,7	3,0
2000	80,0	74,4	72,6	81,2	71,0	71,4	72,5	74,7	75,1	30,3	76,3	3,6
2500	83,0	78,3	77,0	84,2	73,9	76,1	75,4	79,1	78,8	28,2	79,7	3,4
3150	82,0	80,5	74,7	80,9	78,8	74,9	74,7	78,4	81,4	26,2	79,3	3,0
4000	83,0	76,8	72,4	79,4	75,3	71,7	72,0	76,4	78,1	24,4	77,7	3,8
5000	80,2	76	69,1	79,6	72,7	69,4	68,5	74,0	76,6	22,8	75,9	4,4
6300	80,3	78,5	68,9	80,3	72,8	68,9	68,1	72,8	76,9	20,1	76,4	5,0
8000	81,2	76,1	70,8	79,3	71,4	68,4	68,5	72,6	76,8	20,2	76,1	4,6
10000	82,0	76,9	71,5	80,1	72,1	69,1	69,2	73,3	77,6	20,4	76,8	4,7
Lp Global - Linear[dB]	90,8	87,1	82,6	90,2	83,7	81,7	81,6	85,2	87,6	52,4	86,9	-
Lp Global [dB(A)]	91,2	87,6	83,3	90,8	84,3	82,5	82,4	85,9	88,1	42,6	87,4	-

8.1.4. Medições de ruído da serra operando com placas cerâmicas

Os níveis de pressão sonora $L'_{p(ST)}$ gerado em operações de corte da cerâmica de P₁ a P₉, os níveis médios $\overline{L'_{p(ST)}}$ e o ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ são ilustrados na figura 35 e tabela 16.

Figura 35: Níveis de pressão sonora em cortes de Placas Cerâmicas, média $\overline{L'_{p(ST)}}$ e ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$

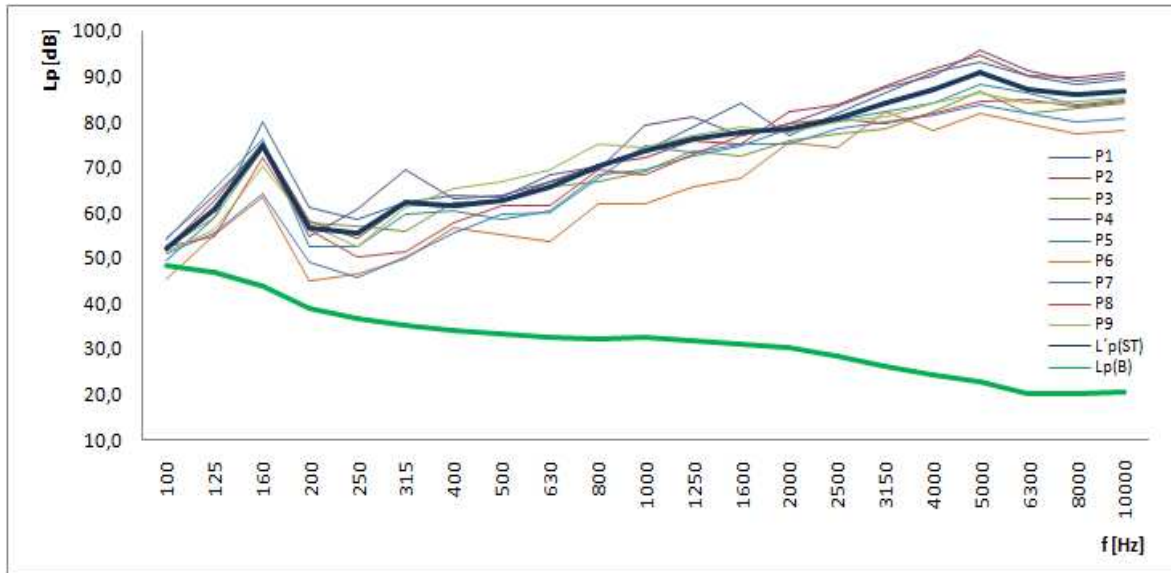


Tabela 16: Níveis de pressão em cortes de Cerâmica, média $\overline{L'_{p(ST)}}$, ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ e Desvio Padrão

f	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	$\overline{L_{p(B)}}$	$\overline{L'_{p(ST)}}$	Desvio
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	Padrão
100	49,5	52	52,5	54,5	54,0	45,2	51,1	52,4	51,3	48,3	52,0	2,8
125	58,8	62,7	58,7	63,7	65,3	55,3	55,5	54,7	56,2	47,0	60,7	4,0
160	80,0	75,5	73,8	74,4	76,3	63,5	64,1	72,0	70,1	43,9	74,6	5,5
200	61,2	58,2	57,8	54,8	52,4	45,1	49,1	56,1	57,2	39,0	56,6	5,0
250	58,6	54,2	57,0	60,9	52,4	46,6	45,7	50,4	52,5	36,6	55,6	5,2
315	62,2	61,9	56,0	69,3	59,7	49,7	50,4	51,3	61,3	35,1	62,1	6,6
400	63,7	61,1	62,1	62,9	60,4	56,5	55,5	57,8	65,1	34,1	61,6	3,3
500	63,3	62,5	62,6	63,6	58,6	55,0	59,6	61,4	66,7	33,3	62,5	3,4
630	68,1	66,7	65,7	66,8	60,4	53,5	59,9	61,5	69,6	32,4	65,6	5,1
800	70,1	70,4	66,7	69,5	68,3	61,8	67,6	69,3	75,1	32,1	70,0	3,5
1000	73,5	72,1	68,9	79,3	69,3	62,0	74,8	68,1	74,2	32,5	73,6	5,0
1250	78,7	75,9	73,7	81,0	72,5	65,6	73,0	72,9	76,8	31,9	76,2	4,4
1600	84,0	74,9	72,5	77,0	74,8	67,5	75,0	77,1	78,7	31,2	77,8	4,5
2000	77,1	82,1	75,8	79,7	78,5	75,4	75,0	79,5	77,7	30,3	78,5	2,3
2500	82,0	83,6	77,5	83,3	80,2	74,3	78,4	80,7	79,9	28,2	80,8	3,0
3150	86,4	87,9	78,3	87,4	82,2	82,2	79,9	79,5	81,2	26,2	84,1	3,6
4000	90,7	91,8	82,2	90,1	84,2	78,2	81,4	81,9	84,0	24,4	87,2	4,8
5000	93,1	94,7	86,6	95,7	88,3	81,8	83,8	84,5	86,5	22,8	90,9	5,0
6300	90,0	90,1	81,7	91,2	86,5	79,4	81,8	85,0	84,1	20,1	87,2	4,2
8000	88,4	89,8	83,1	89,1	83,9	77,3	79,9	83,5	84,4	20,2	86,0	4,2
10000	89,3	90,7	83,9	90,0	84,7	78,1	80,7	84,3	85,2	20,4	86,8	4,2
Lp Global - Linear[dB]	98,4	99,4	91,7	99,6	93,8	88,2	90,2	92,2	93,1	52,4	95,8	-
Lp Global [dB(A)]	98,5	99,6	91,6	99,7	93,8	88,6	90,4	92,2	93,1	42,6	95,9	-

8.1.5. Medições de ruído operando com rocha ornamental tipo ardósia

Os níveis de pressão sonora $L'_{p(ST)}$ gerados na operação de corte da ardósia em P₁ a P₉, níveis médios $\overline{L'_{p(ST)}}$ e o ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ são ilustrados na figura 36 e tabela 17.

Figura 36: Níveis de pressão sonora gerado em cortes de Ardósia, média $\overline{L'_{p(ST)}}$ e ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$

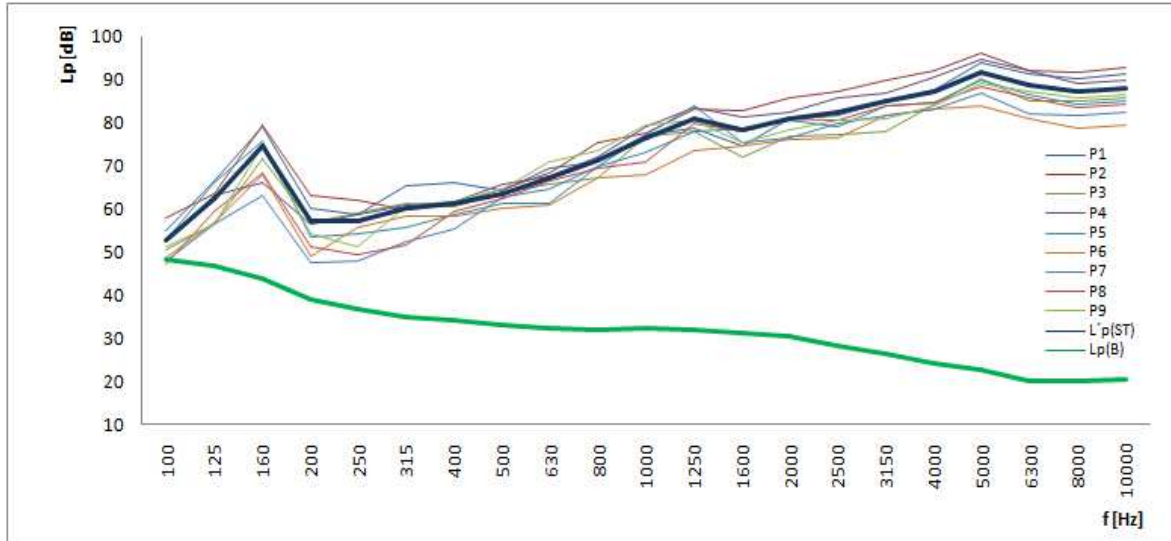


Tabela 17: Níveis de pressão em cortes de Ardósia, média $\overline{L'_{p(ST)}}$, ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ e Desvio Padrão

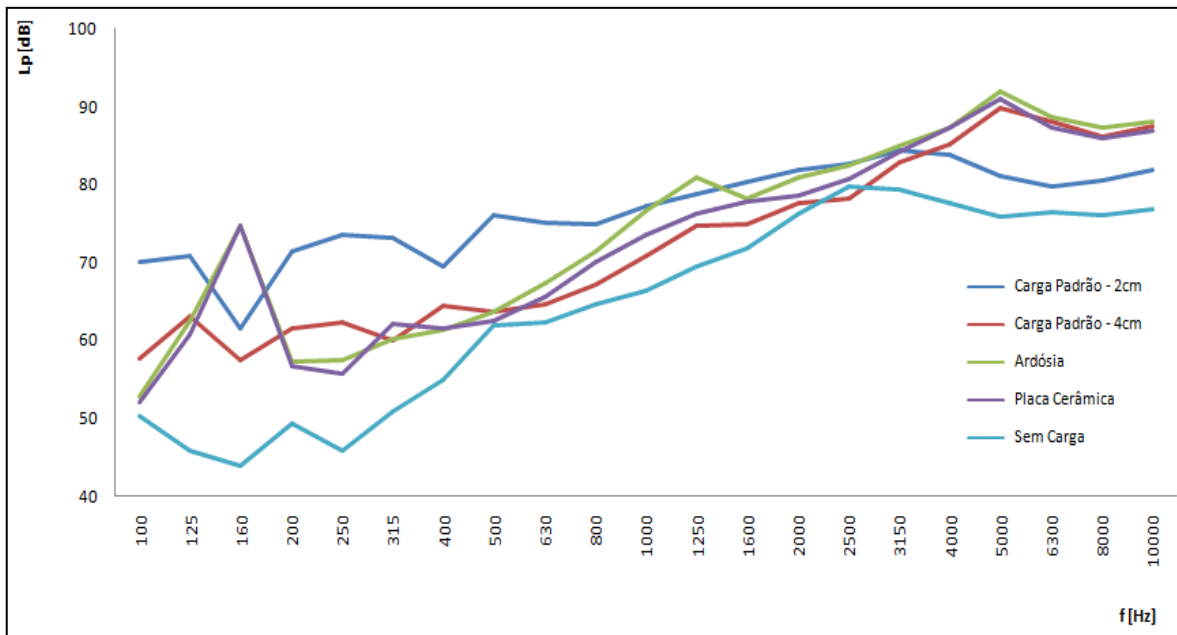
f	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	$\overline{L_{p(B)}}$	$\overline{L'_{p(ST)}}$	Desvio
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	Padrão
100	54,9	58,0	50,7	52,4	52,8	48,5	48,1	47,2	51,1	48,3	52,9	3,5
125	66,5	63,6	56,6	63,0	66,2	56,8	56,4	59,5	56,6	47,0	62,4	4,3
160	78,9	79,6	71,5	66,0	75,7	68,0	63,1	68,4	74,7	43,9	74,8	5,8
200	60,3	63,1	56,7	56,3	53,4	49,2	47,6	51,3	54,3	39,0	57,2	5,0
250	58,7	62,2	59,1	58,8	54,4	55,6	47,8	49,4	51,4	36,6	57,4	4,9
315	65,2	59,7	61,1	60,9	55,7	58,4	52,3	51,5	60,6	35,1	60,1	4,4
400	66,1	61,3	60,7	61,5	58,8	58,4	55,5	59,4	61,8	34,1	61,3	2,9
500	64,1	64,7	63,7	65,9	61,4	60,3	62,7	62,5	64,7	33,3	63,6	1,8
630	69,4	68,5	65,6	67,6	61,3	60,9	64,5	66,3	71,0	32,4	67,2	3,5
800	70,9	75,5	67,3	72,2	69,9	67,2	69,8	69,4	73,4	32,1	71,4	2,7
1000	77,3	77,5	76,8	79,1	73,3	67,8	77,1	70,8	79,3	32,5	76,6	4,0
1250	78,8	83,3	77,8	83,4	77,9	73,4	83,9	79,9	80,6	31,9	80,9	3,4
1600	74,8	82,7	71,9	81,2	78,7	74,7	75,3	78,1	75,2	31,2	78,2	3,5
2000	80,9	85,6	77,0	82,3	80,7	76,2	76,4	80,8	78,2	30,3	80,9	3,1
2500	81,8	87,3	77,4	85,8	79,2	76,5	80	80,5	80,4	28,2	82,4	3,6
3150	85,2	89,8	77,9	86,9	84,0	81,6	81,8	83,8	81,0	26,2	84,9	3,5
4000	87,6	92,0	84,2	90,7	84,7	83,0	83,2	84,7	83,8	24,4	87,3	3,3
5000	93,8	96,2	90,1	94,8	89,7	83,8	86,9	88,3	89,1	22,8	91,8	4,0
6300	91,2	92,0	85,2	92,1	86,5	80,8	82,1	85,7	87,2	20,1	88,6	4,1
8000	90,3	91,8	85	89,0	84,2	78,6	81,6	83,4	85,6	20,2	87,2	4,2
10000	91,2	92,7	85,9	89,9	85,0	79,4	82,4	84,2	86,5	20,4	88,1	4,3
Lp Global - Linear[dB]	98,8	101,2	94,2	99,6	94,7	90,1	92,6	94,0	94,8	52,4	96,9	-
Lp Global [dB(A)]	98,6	101,3	94,2	99,8	94,8	90,5	92,9	94,2	94,7	42,6	97,0	-

8.1.6. Comparativos do nível de pressão sonora variando as cargas

Para se considerar o comparativo dos níveis de pressão sonora gerado, ressalta-se que os valores apresentados são a média espacial dos níveis de pressão sonora obtidos nos pontos definidos na superfície de medição (Figura 23), sem a correção para o ruído de fundo, que será considerada a partir do item 8.2.

Os níveis de pressão sonora gerados em função da frequência nas operações de corte da serra-mármore sem carga e para as diferentes condições de carga, isto é, a carga padrão de 4cm, a carga padrão de 2cm, a placa cerâmica e a ardósia, são apresentados na figura 37.

Figura 37: Níveis médios de pressão sonora nas diferentes condições de carga



Os espectros sonoros gerados apontam aumento do nível de pressão sonora entre as frequências de 250 e 5.000Hz, variando de 44,0 a 91,8dB. Entre 5.000 e 10.000Hz, os valores se mantiveram relativamente constantes. Os níveis sonoros gerados nas operações da serra, entre as faixas de 500 a 2.500Hz, apresentaram comportamento mais similar aos níveis gerados nas operações com a carga padrão de 4cm. Observou-se que os níveis sonoros gerados pela carga padrão de 4cm apresentaram valores equivalentes aos da placa cerâmica e ardósia, que são os materiais comumente utilizados nas obras em operação com a serra-mármore.

Notou-se uma diferença relevante na faixa de 160Hz, onde a ardósia e a placa cerâmica diferenciaram-se das outras condições de carga, contudo este fato não interferiu significativamente nos valores dos níveis globais.

Os valores dos níveis de pressão sonora gerados nas operações de corte em relação à frequência para diferentes condições de carga e sem carga, são apresentados na tabela 18, destacando-se, na última linha, os níveis globais em dB e dB(A) para cada situação.

Tabela 18: Níveis médios de pressão sonora nas diferentes condições de carga e o desvio padrão

<i>f</i> (Hz)	Carga Padrão		Placa		Desvio Padrão	
	2cm	4cm	Ardósia	Cerâmica		
	<i>L_p</i> [dB]	<i>L_p</i> [dB]	<i>L_p</i> [dB]	<i>L_p</i> [dB]		
100	70,1	57,7	52,9	52,0	50,3	8,0
125	70,8	63,1	62,4	60,7	45,8	9,1
160	61,5	57,4	74,8	74,6	43,9	12,9
200	71,4	61,4	57,2	56,6	49,4	7,7
250	73,6	62,3	57,4	55,6	45,8	10,1
315	73,2	59,9	60,1	62,1	50,8	7,9
400	69,4	64,4	61,3	61,6	54,9	5,1
500	76,0	63,6	63,6	62,5	62,0	5,8
630	75,1	64,5	67,2	65,6	62,3	4,8
800	74,9	67,1	71,4	70,0	64,5	3,9
1000	77,2	70,8	76,6	73,6	66,4	4,5
1250	78,8	74,7	80,9	76,2	69,5	4,3
1600	80,2	74,9	78,2	77,8	71,7	3,2
2000	81,8	77,6	80,9	78,5	76,3	2,2
2500	82,6	78,2	82,4	80,8	79,7	1,8
3150	84,4	82,9	84,9	84,1	79,3	2,1
4000	83,7	85,1	87,3	87,2	77,7	3,8
5000	81,1	89,8	91,8	90,9	75,9	6,9
6300	79,7	88,1	88,6	87,2	76,4	5,4
8000	80,4	86,0	87,2	86,0	76,1	4,6
10000	81,8	87,5	88,1	86,8	76,8	4,7
L_p Global [dB]	92,4	95,2	96,9	95,8	86,9	3,9
L _p Global [dB(A)]	92,7	95,1	97,0	95,9	87,4	3,7

Percebe-se no comportamento dos valores globais de níveis de pressão sonora uma diferença significativa entre os níveis dos diferentes materiais de construção com a atividade sem carga, aumento que variou de 5,2dB a 9,6dB nas diferentes condições, sugerindo a relevância da condição de carga para a caracterização de ruído nas operações de serra-mármore, especificamente na determinação do nível de potência sonora.

Os valores globais dos níveis de pressão sonora das cargas padrões propostas mostraram-se bem próximos ao gerado pela placa cerâmica e a ardósia. As similaridades destes níveis globais sinalizaram a possibilidade da utilização de materiais de construção que representem as características da carga em serras, na busca por um material padrão ideal que gere níveis de ruído similares àqueles obtidos nos canteiros de obras, nas operações de serra-mármore, com maior facilidade de reprodução em laboratórios. Evidenciou-se desvio padrão mais elevado na faixa de 100 a 315Hz e em 5000Hz, mostrando-se menor nas outras frequências.

Em relação aos níveis sonoros globais, observou-se que o nível de ruído mais elevado gerou 96,9dB com a ardósia. O comparativo geral deste parâmetro, inclusive considerando a condição sem carga, resultou desvio padrão de 3,9.

Buscando-se um comparativo entre o ruído gerado pela serra-mármore operando somente em materiais, a tabela 19 apresenta um comparativo dos níveis de pressão sonora e o desvio padrão entre as situações, desconsiderando a condição sem carga.

Tabela 19: Níveis de pressão sonora e desvio desconsiderando a condição sem carga

<i>f</i> (Hz)	Carga Padrão	Carga Padrão	Ardósia	Placa	Desvio Padrão
	2cm	4cm		Cerâmica	
	<i>L_p</i> [dB]	<i>L_p</i> [dB]	<i>L_p</i> [dB]	<i>L_p</i> [dB]	
100	70,1	57,7	52,9	52,0	8,3
125	70,8	63,1	62,4	60,7	4,5
160	61,5	57,4	74,8	74,6	9,0
200	71,4	61,4	57,2	56,6	6,8
250	73,6	62,3	57,4	55,6	8,1
315	73,2	59,9	60,1	62,1	6,3
400	69,4	64,4	61,3	61,6	3,7
500	76,0	63,6	63,6	62,5	6,4
630	75,1	64,5	67,2	65,6	4,8
800	74,9	67,1	71,4	70,0	3,2
1000	77,2	70,8	76,6	73,6	3,0
1250	78,8	74,7	80,9	76,2	2,8
1600	80,2	74,9	78,2	77,8	2,2
2000	81,8	77,6	80,9	78,5	2,0
2500	82,6	78,2	82,4	80,8	2,0
3150	84,4	82,9	84,9	84,1	0,8
4000	83,7	85,1	87,3	87,2	1,7
5000	81,1	89,8	91,8	90,9	4,9
6300	79,7	88,1	88,6	87,2	4,2
8000	80,4	86,0	87,2	86,0	3,1
10000	81,8	87,5	88,1	86,8	2,9
L_p Global [dB]	92,4	95,2	96,9	95,8	1,9
L _p Global [dB(A)]	92,7	95,1	97,0	95,9	1,8

Uma vez que não foi considerado, nesta análise, o ruído gerado pela máquina sem carga, nota-se, na tabela 19, uma redução nos valores do desvio padrão, apresentando, em níveis globais (dB), um desvio de 1,9. Porém ainda percebe-se que os níveis sonoros gerados pela carga padrão de 2cm revelaram comportamentos diferenciados em relação aos outros materiais.

Tendo em vista a similaridade no espectro sonoro gerado com a carga padrão de 4cm, a ardósia e placa cerâmica, a tabela 20 elenca um comparativo dos níveis de pressão sonora gerados pela serra-mármore e o desvio padrão desconsiderando a condição sem carga e a carga de 2cm.

Tabela 20: Nível pressão sonora e desvio, desconsiderando condição sem carga e carga padrão de 4cm

<i>f</i> (Hz)	Carga Padrão		Placa	Desvio
	4cm	Ardósia	Cerâmica	
	<i>L_p</i> [dB]	<i>L_p</i> [dB]	<i>L_p</i> [dB]	
100	57,7	52,9	52,0	3,1
125	63,1	62,4	60,7	1,2
160	57,4	74,8	74,6	10,0
200	61,4	57,2	56,6	2,6
250	62,3	57,4	55,6	3,5
315	59,9	60,1	62,1	1,2
400	64,4	61,3	61,6	1,7
500	63,6	63,6	62,5	0,6
630	64,5	67,2	65,6	1,4
800	67,1	71,4	70,0	2,2
1000	70,8	76,6	73,6	2,9
1250	74,7	80,9	76,2	3,2
1600	74,9	78,2	77,8	1,8
2000	77,6	80,9	78,5	1,7
2500	78,2	82,4	80,8	2,1
3150	82,9	84,9	84,1	1,0
4000	85,1	87,3	87,2	1,3
5000	89,8	91,8	90,9	1,0
6300	88,1	88,6	87,2	0,7
8000	86,0	87,2	86,0	0,7
10000	87,5	88,1	86,8	0,6
L_p Global [dB]	95,2	96,9	95,8	0,9
L _p Global [dB(A)]	95,1	97,0	95,9	0,9

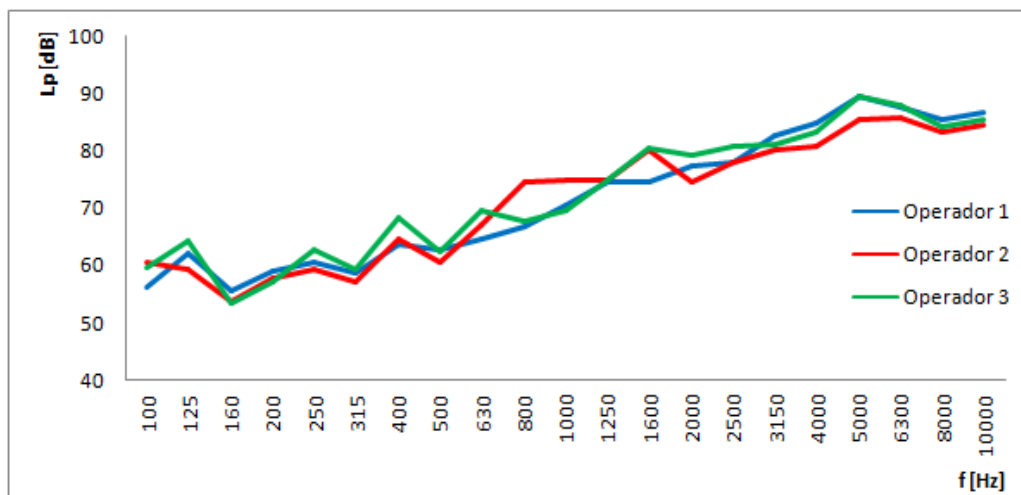
Este cenário apresenta com mais precisão a similaridade nos níveis de pressão sonora gerados pela serra operando com a ardósia, cerâmica e carga padrão de 4cm, uma vez que, em níveis globais, o desvio é de 0,9.

8.1.7. Comparativo do Nível de Pressão Sonora variando os operadores

Considerando as condições específicas das atividades da serra-mármore, em que a presença do operador fez-se necessária nas operações de corte, em virtude do manuseio, e visando reproduzir a condição de trabalho nos canteiros de obra, realizaram-se medições dos níveis de ruído gerados para diferentes operadores com a mesma serra.

Efetuaram-se medições do ruído gerado pela serra-mármore, operando com as cargas padrão de 2cm e 4cm de espessura, por três diferentes operadores, denominados de 1, 2 e 3. Os níveis de pressão sonora de corte da carga padrão de 4cm de espessura com diferentes operadores, em função da frequência, são apresentados na figura 38.

Figura 38: Nível de pressão sonora nas operações de corte - Carga padrão 4cm – Operadores 1, 2 e 3



Nota-se a uniformidade no comportamento nos valores do nível de pressão sonora em função das frequências, podendo-se considerar uma uniformidade nas curvas dos níveis sonoros gerados nas atividades, mesmo para operadores distintos.

A tabela 21 elenca os valores dos níveis de pressão sonora em função da frequência para cada operador, os níveis globais e o desvio padrão.

Tabela 21: Nível de pressão sonora e desvio padrão nas operações de corte da carga padrão de 4cm de espessura com os operadores 1, 2 e 3

f	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Desvio
(Hz)	Lp(dB)	Lp(dB)	Lp(dB)	Padrão
100	56,3	60,4	59,7	2,2
125	62,0	59,4	64,3	2,5
160	55,5	53,7	53,4	1,1
200	59,1	57,6	57,2	1,0
250	60,5	59,2	62,8	1,8
315	58,8	57,1	59,4	1,2
400	63,6	64,7	68,3	2,5
500	62,7	60,6	62,3	1,1
630	64,5	67,1	69,7	2,6
800	66,8	64,5	67,8	1,7
1000	70,6	74,9	69,6	2,8
1250	74,4	75,0	74,8	0,3
1600	74,6	80,2	80,4	3,3
2000	77,3	74,6	79,2	2,3
2500	78,1	78,1	80,8	1,6
3150	82,6	80,1	81,1	1,3
4000	84,8	80,8	83,1	2,0
5000	89,6	85,3	89,5	2,5
6300	87,6	85,6	87,9	1,3
8000	85,5	83,1	84,2	1,2
10000	86,8	84,3	85,5	1,2
Lp Global - Linear[dB]	94,8	92,3	94,5	1,4
Lp Global [dB(A)]	95,3	92,7	95,1	1,5

Puderam-se observar pequenas variações nos níveis globais e níveis sonoros gerados em função das frequências. Em níveis globais, o desvio padrão foi de 1,4 (dB). Os valores apontam uma similaridade do ruído gerado para a condição de carga padrão de 4cm com os diferentes operadores da serra-mármore.

Ilustram-se os níveis de pressão sonora em função da frequência da serra operando na carga padrão de 2cm, com diferentes operadores na figura 39 e tabela 22.

Figura 39: Nível de pressão sonora nas operações de corte - Carga padrão 2cm – Operadores 1, 2 e 3

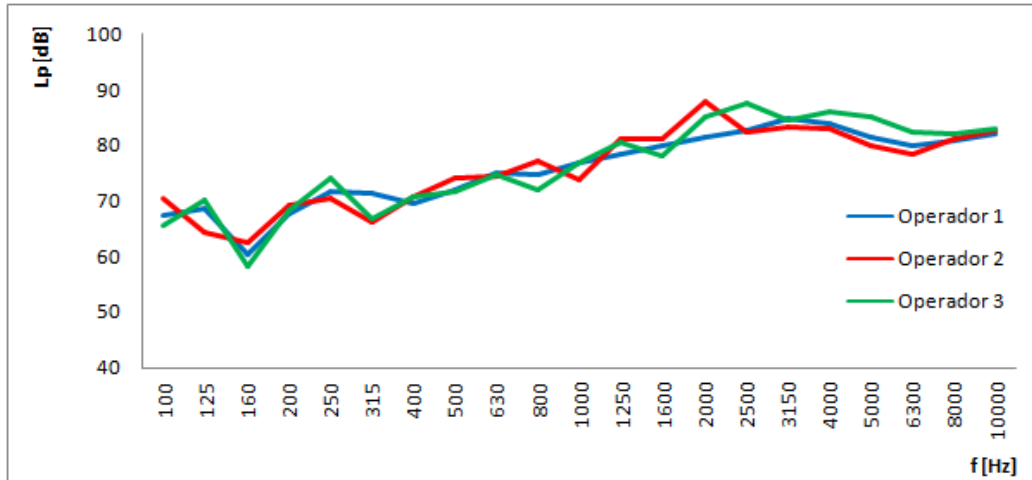


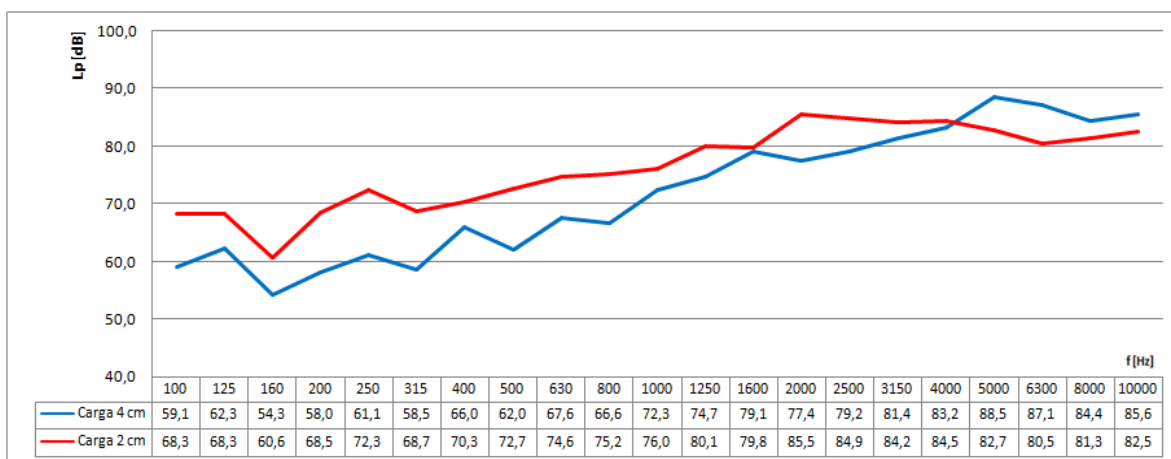
Tabela 22: Nível de pressão sonora e desvio padrão nas operações de corte da carga padrão de 2cm com os operadores 1, 2 e 3 [dB]

	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Desvio Padrão
<i>f</i> (Hz)	<i>Lp</i> (dB)	<i>Lp</i> (dB)	<i>Lp</i> (dB)	
100	67,3	70,5	65,5	2,5
125	68,5	64,4	70,1	2,9
160	60,2	62,4	58,2	2,1
200	67,8	69,3	68,4	0,8
250	71,5	70,4	74,2	2,0
315	71,3	66,2	66,8	2,8
400	69,5	70,8	70,6	0,7
500	72,0	74,1	71,6	1,3
630	74,9	74,3	74,7	0,3
800	74,6	77,3	72,1	2,6
1000	76,8	73,9	76,8	1,7
1250	78,5	81,0	80,4	1,3
1600	79,8	81,1	78,0	1,6
2000	81,3	87,8	85,0	3,3
2500	82,6	82,4	87,5	2,9
3150	84,7	83,2	84,5	0,8
4000	84,0	82,9	86,0	1,6
5000	81,4	79,8	85,1	2,7
6300	79,9	78,5	82,2	1,9
8000	80,7	81,1	82,1	0,7
10000	86,8	84,3	85,5	0,5
Lp Global - Linear[dB]	92,3	93,2	94,4	1,0
Lp Global [dB(A)]	92,8	93,7	95,1	1,1

Percebe-se também, para os níveis sonoros gerados com a carga de 2cm, uma uniformidade no comportamento da curva do nível de pressão sonora em função da frequência, podendo-se anotar pequenas diferenças geradas na atividade de corte, mesmo para operadores distintos. Porém, em níveis globais, os níveis sonoros gerados resultam um desvio padrão de 1,0 (dB).

Como comparativo, a figura 40 ilustra a média do nível de pressão sonora gerado nas atividades de corte com a serra-mármore pelos operadores 1, 2 e 3, nas cargas padrões de 2cm e 4cm.

Figura 40: Média do nível de pressão sonora gerado pelos 3 operadores (cargas de 2cm e 4cm)



Os níveis globais de pressão sonora, referente aos espectros da figura 40 foram: carga padrão de 2cm $L_p = 93,4\text{dB}$ e a carga de 4cm $L_p = 94\text{dB}$.

Os níveis de pressão sonora em função da frequência, gerados pelas cargas padrões propostas nas operações de corte com a serra-mármore por diferentes operadores, apresentaram um comportamento similar.

O parâmetro comparativo de diferentes operadores não conduz diretamente à escolha do material de carga padrão ideal, porém apresenta a similaridade da operação com os diferentes profissionais e a serra-mármore utilizada.

8.2. Nível de Potência Sonora

A potência sonora é uma energia dependente da própria fonte (serra-mármore) e independe do meio onde se encontra, podendo também ser determinada em campo livre, conforme proposto pela Norma ISO 3744:2010. O cálculo do nível de potência sonora nas operações com a serra, em condições normais do ambiente, tempo e local adequados de teste, é obtido a partir do nível de pressão sonora gerado nas operações com a serra-mármore, o ruído de fundo e suas devidas correções.

Calcula-se, inicialmente, os valores de ΔL_p (Equação 7.4), que é a diferença da média espacial do nível de pressão sonora obtido nos pontos da superfície de medição ($\overline{L'_{p(ST)}}$) e a média espacial do nível de pressão sonora referente ao ruído de fundo ($\overline{L_{p(B)}}$).

O nível de pressão sonora médio, $\overline{L_p}$, (Equação 7.5.), é calculado a partir da correção do nível de pressão sonora gerado nos pontos da superfície de medição para o ruído de fundo (K_1) e a influência do ambiente (K_2).

As correções do ruído de fundo (K_1) serão aplicáveis somente quando a diferença entre o nível espacial de pressão sonora gerado $\overline{L'_{p(ST)}}$ e o ruído de fundo $\overline{L_{p(B)}}$ resultar valores inferiores a 15dB. Isto é, $\Delta L_p < 15\text{dB}$ (Item 7.13).

Por recomendação normativa, nas condições do ambiente utilizadas, adotou-se o coeficiente $K_2 = 0$. A Norma ISO 3744:2010 determina que, em áreas externas, para superfícies rígidas, sem obstáculos de reflexão aos arredores e em distância equivalente a 10 vezes a maior distância entre a fonte e a extremidade superfície de medição, a correção devido ao ambiente (K_2) pode ser desconsiderada. (Item 7.13.1).

A partir da definição do nível de pressão sonora ($\overline{L_p}$), corrigido para os coeficientes K_1 e K_2 , calculou-se o nível de potência sonora (L_w) considerando a área na superfície de medição adotada (Equação 7.6).

Na tabela 23, apresentam-se ΔL_p , K_1 , K_2 , L_p e L_w obtidos a partir das medições e cálculo dos níveis de pressão sonora.

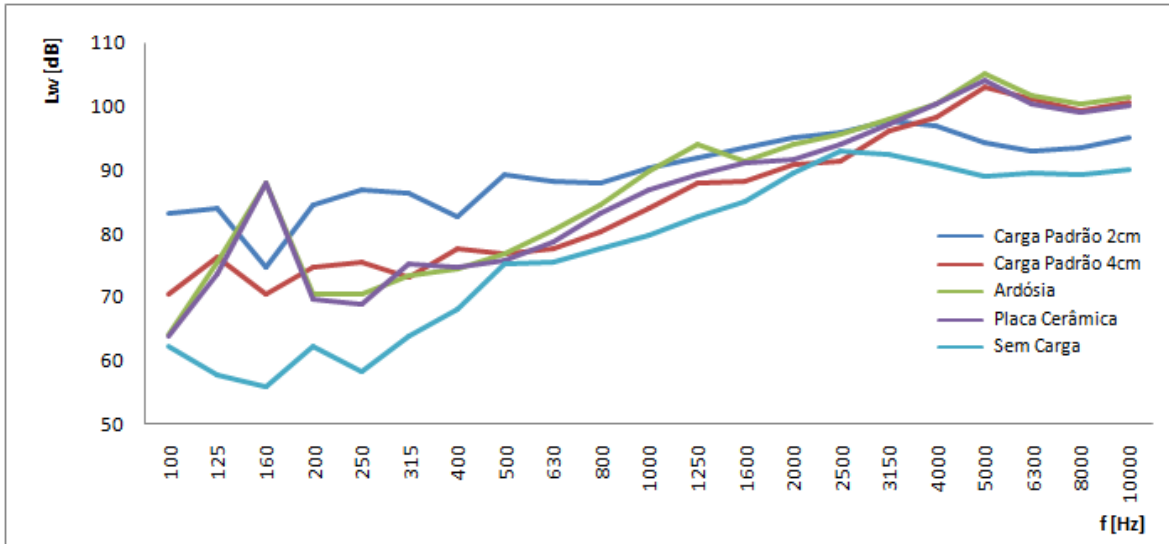
Tabela 23: Resultado dos cálculos da variação de pressão sonora em relação ao ruído de fundo [ΔL_p], Correções [K1 e K2], Pressão Sonora Corrigida [L_p] e Potência sonora [L_w]

f [Hz]	Carga Padrão 2cm			Carga Padrão 4cm			Ardósia			Placa Cerâmica			Sem Carga													
	ΔL_p	K1	K2	L_p	L_w	ΔL_p	K1	K2	L_p	L_w	ΔL_p	K1	K2	L_p	L_w	ΔL_p	K1	K2	L_p	L_w						
	[dB]			[dB]	[dB]	[dB]			[dB]	[dB]	[dB]			[dB]	[dB]	[dB]			[dB]	[dB]						
100	21,8	0,0	0,0	70,1	83,3	9,4	0,5	0,0	57,2	70,4	4,6	1,9	0,0	51,0	64,2	3,7	1,3	0,0	50,7	63,9	2,1	1,3	0,0	49,0	62,2	
125	23,9	0,0	0,0	70,8	84,0	16,1	0,0	0,0	63,1	76,3	15,4	0,0	0,0	62,4	75,6	13,7	0,2	0,0	60,5	73,7	0,1	1,3	0,0	44,5	57,7	
160	17,6	0,0	0,0	61,5	74,7	13,5	0,2	0,0	57,2	70,4	30,9	0,0	0,0	74,8	88,0	30,8	0,0	0,0	74,6	87,8	0,0	1,3	0,0	42,6	55,8	
200	32,4	0,0	0,0	71,4	84,6	22,4	0,0	0,0	61,4	74,6	18,3	0,0	0,0	57,2	70,4	17,6	0,0	0,0	56,6	69,8	10,4	0,4	0,0	49,0	62,2	
250	37,0	0,0	0,0	73,6	86,8	25,6	0,0	0,0	62,3	75,5	20,7	0,0	0,0	57,4	70,6	18,9	0,0	0,0	55,6	68,8	9,1	0,6	0,0	45,2	58,4	
315	38,1	0,0	0,0	73,2	86,4	24,8	0,0	0,0	59,9	73,1	25,0	0,0	0,0	60,1	73,3	27,0	0,0	0,0	62,1	75,3	15,6	0,0	0,0	50,8	64,0	
400	35,3	0,0	0,0	69,4	82,6	30,3	0,0	0,0	64,4	77,6	27,3	0,0	0,0	61,3	74,5	27,5	0,0	0,0	61,6	74,8	20,9	0,0	0,0	54,9	68,1	
500	42,7	0,0	0,0	76,0	89,2	30,3	0,0	0,0	63,6	76,8	30,4	0,0	0,0	63,6	76,8	29,3	0,0	0,0	62,5	75,7	28,7	0,0	0,0	62,0	75,2	
630	42,7	0,0	0,0	75,1	88,3	32,2	0,0	0,0	64,5	77,7	34,9	0,0	0,0	67,2	80,4	33,2	0,0	0,0	65,6	78,8	29,9	0,0	0,0	62,3	75,5	
800	42,7	0,0	0,0	74,9	88,1	35,0	0,0	0,0	67,1	80,3	39,3	0,0	0,0	71,4	84,6	37,9	0,0	0,0	70,0	83,2	32,4	0,0	0,0	64,5	77,7	
1000	44,8	0,0	0,0	77,2	90,4	38,4	0,0	0,0	70,8	84,0	44,2	0,0	0,0	76,6	89,8	41,1	0,0	0,0	73,6	86,8	34,0	0,0	0,0	66,4	79,6	
1250	46,9	0,0	0,0	78,8	92,0	42,8	0,0	0,0	74,7	87,9	49,0	0,0	0,0	80,9	94,1	44,3	0,0	0,0	76,2	89,4	37,6	0,0	0,0	69,5	82,7	
1600	49,1	0,0	0,0	80,2	93,4	43,8	0,0	0,0	74,9	88,1	47,1	0,0	0,0	78,2	91,4	46,6	0,0	0,0	77,8	91,0	40,6	0,0	0,0	71,7	84,9	
2000	51,5	0,0	0,0	81,8	95,0	47,2	0,0	0,0	77,6	90,8	50,5	0,0	0,0	80,9	94,1	48,1	0,0	0,0	78,5	91,7	46,0	0,0	0,0	76,3	89,5	
2500	54,3	0,0	0,0	82,6	95,8	50,0	0,0	0,0	78,2	91,4	54,2	0,0	0,0	82,4	95,6	52,5	0,0	0,0	80,8	94,0	51,4	0,0	0,0	79,7	92,9	
3150	58,2	0,0	0,0	84,4	97,6	56,7	0,0	0,0	82,9	96,1	58,6	0,0	0,0	84,9	98,1	57,9	0,0	0,0	84,1	97,3	53,1	0,0	0,0	79,3	92,5	
4000	59,4	0,0	0,0	83,7	96,9	60,7	0,0	0,0	85,1	98,3	62,9	0,0	0,0	87,3	100,5	62,9	0,0	0,0	87,2	100,4	53,3	0,0	0,0	77,7	90,9	
5000	58,3	0,0	0,0	81,1	94,3	67,0	0,0	0,0	89,8	103,0	69,0	0,0	0,0	91,8	105,0	68,0	0,0	0,0	90,9	104,1	53,1	0,0	0,0	75,9	89,1	
6300	59,6	0,0	0,0	79,7	92,9	68,0	0,0	0,0	88,1	101,3	68,4	0,0	0,0	88,6	101,8	67,1	0,0	0,0	87,2	100,4	56,3	0,0	0,0	76,4	89,6	
8000	60,2	0,0	0,0	80,4	93,6	65,8	0,0	0,0	86,0	99,2	67,0	0,0	0,0	87,2	100,4	65,8	0,0	0,0	86,0	99,2	55,9	0,0	0,0	76,1	89,3	
10000	61,4	0,0	0,0	81,8	95,0	67,1	0,0	0,0	87,5	100,7	67,7	0,0	0,0	88,1	101,3	66,4	0,0	0,0	86,8	100,0	56,4	0,0	0,0	76,8	90,0	
Lw Global - Lin[dB]	-	-	-	92,4	105,6	-	-	-	95,2	108,4	-	-	-	96,9	110,1	-	-	-	95,8	109,0	-	-	-	-	86,9	100,1
Lw Global [dB(A)]	-	-	-	92,7	105,91	-	-	-	95,1	108,32	-	-	-	97,0	110,2	-	-	-	95,9	109,09	-	-	-	-	87,4	100,6

8.2.1. Comparativos dos níveis de potência sonora (L_w)

Os valores comparativos dos níveis de potência sonora (L_w) da serra-mármore em função da frequência em bandas de 1/3 de oitava, variando as diversas condições de carga, são apresentados na figura 41.

Figura 41: Níveis de potência sonora (L_w) nas diferentes condições de carga



Os resultados indicaram elevados valores dos níveis de potência sonora da serra-mármore, ao operar em diferentes materiais de construção, em relação às atividades da serra-mármore sem carga.

Ao considerar os níveis de potência sonora em função da frequência da serra-mármore em operações sem carga e com os diversos materiais de construção, na figura 40, ilustra-se uma dispersão grande em baixas frequências de 100 a 200Hz, seguido por comportamento crescente do nível de potência sonora entre as frequências de 250Hz a 5.000Hz, com valores relativamente constantes nas frequências acima de 5.000Hz.

Na tabela 24, são apresentados os valores dos níveis de potência sonora em função da frequência gerados pela serra-mármore, nas diferentes condições de carga, destacando-se, nas duas últimas linhas, os níveis de potência sonora global, em dB e dB(A), para cada situação.

Tabela 24: Níveis de potência sonora nas diferentes condições de carga

F <i>(Hz)</i>	Carga Padrão 2cm	Carga Padrão 4cm	Ardósia	Placa Cerâmica	Sem Carga	Desvio Padrão
	<i>Lw [dB]</i>	<i>Lw [dB]</i>	<i>Lw [dB]</i>	<i>Lw [dB]</i>	<i>Lw [dB]</i>	
100	83,3	70,4	64,2	63,9	62,2	8,7
125	84,0	76,3	75,6	73,7	57,7	9,7
160	74,7	70,4	88,0	87,8	55,8	13,4
200	84,6	74,6	70,4	69,8	62,2	8,2
250	86,8	75,5	70,6	68,8	58,4	10,4
315	86,4	73,1	73,3	75,3	64,0	8,0
400	82,6	77,6	74,5	74,8	68,1	5,3
500	89,2	76,8	76,8	75,7	75,2	5,9
630	88,3	77,7	80,4	78,8	75,5	4,9
800	88,1	80,3	84,6	83,2	77,7	4,0
1000	90,4	84,0	89,8	86,8	79,6	4,4
1250	92,0	87,9	94,1	89,4	82,7	4,4
1600	93,4	88,1	91,4	91,0	84,9	3,3
2000	95,0	90,8	94,1	91,7	89,5	2,3
2500	95,8	91,4	95,6	94,0	92,9	1,8
3150	97,6	96,1	98,1	97,3	92,5	2,3
4000	96,9	98,3	100,5	100,4	90,9	4,0
5000	94,3	103,0	105,0	104,1	89,1	7,0
6300	92,9	101,3	101,8	100,4	89,6	5,6
8000	93,6	99,2	100,4	99,2	89,3	4,8
10000	95,0	100,7	101,3	100,0	90,0	4,8
Lw Global - Linear[dB]	105,6	108,4	110,1	109,0	100,1	4,0
Lw Global [dB(A)]	105,9	108,3	110,2	109,1	100,6	3,8

Quanto aos níveis globais de potência sonora, a tabela 24 apresenta diferenças que variam de 5,6 a 10,0dB, na condição da serra-mármore sem carga, em relação aos níveis apresentados quando operados com materiais de construção.

Para apresentar um comparativo entre o ruído gerado pela serra-mármore operando somente em materiais, na tabela 25, coloca-se o comparativo dos níveis de potência sonora e o desvio entre as situações.

Tabela 25: Níveis de potência sonora e desvio padrão (desconsiderando a condição sem carga)

<i>f</i> (Hz)	Carga Padrão 2cm	Carga Padrão 4cm	Ardósia	Placa Cerâmica	Desvio Padrão
	<i>Lw</i> [dB]	<i>Lw</i> [dB]	<i>Lw</i> [dB]	<i>Lw</i> [dB]	
100	83,3	70,4	64,2	63,9	9,1
125	84,0	76,3	75,6	73,7	4,6
160	74,7	70,4	88,0	87,8	9,0
200	84,6	74,6	70,4	69,8	6,8
250	86,8	75,5	70,6	68,8	8,1
315	86,4	73,1	73,3	75,3	6,3
400	82,6	77,6	74,5	74,8	3,7
500	89,2	76,8	76,8	75,7	6,4
630	88,3	77,7	80,4	78,8	4,8
800	88,1	80,3	84,6	83,2	3,2
1000	90,4	84,0	89,8	86,8	3,0
1250	92,0	87,9	94,1	89,4	2,8
1600	93,4	88,1	91,4	91,0	2,2
2000	95,0	90,8	94,1	91,7	2,0
2500	95,8	91,4	95,6	94,0	2,0
3150	97,6	96,1	98,1	97,3	0,8
4000	96,9	98,3	100,5	100,4	1,7
5000	94,3	103,0	105,0	104,1	4,9
6300	92,9	101,3	101,8	100,4	4,2
8000	93,6	99,2	100,4	99,2	3,1
10000	95,0	100,7	101,3	100,0	2,9
Lw Global - Linear[dB]	105,6	108,4	110,1	109,0	1,9
Lw Global [dB(A)]	105,9	108,3	110,2	109,1	1,8

Quanto aos níveis globais gerados, observa-se, na tabela 25, que o nível de potência sonora da carga padrão de 4cm ficou mais aproximado aos níveis sonoros da placa cerâmica e da ardósia.

Em relação à similaridade dos níveis sonoros, na tabela 26, expõe-se um comparativo dos níveis de potência sonora gerados pela serra-mármore e o desvio padrão desconsiderando a condição sem carga e a carga de 2cm.

Tabela 26: Níveis sonoros e desvio padrão (desconsiderando condição sem carga e carga padrão de 2cm)

<i>f</i> (Hz)	Carga Padrão 4cm	Ardósia	Placa Cerâmica	Desvio Padrão
	<i>Lw</i> [dB]	<i>Lw</i> [dB]	<i>Lw</i> [dB]	
100	70,4	64,2	63,9	3,7
125	76,3	75,6	73,7	1,4
160	70,4	88,0	87,8	10,1
200	74,6	70,4	69,8	2,6
250	75,5	70,6	68,8	3,5
315	73,1	73,3	75,3	1,2
400	77,6	74,5	74,8	1,7
500	76,8	76,8	75,7	0,6
630	77,7	80,4	78,8	1,4
800	80,3	84,6	83,2	2,2
1000	84,0	89,8	86,8	2,9
1250	87,9	94,1	89,4	3,2
1600	88,1	91,4	91,0	1,8
2000	90,8	94,1	91,7	1,7
2500	91,4	95,6	94,0	2,1
3150	96,1	98,1	97,3	1,0
4000	98,3	100,5	100,4	1,3
5000	103,0	105,0	104,1	1,0
6300	101,3	101,8	100,4	0,7
8000	99,2	100,4	99,2	0,7
10000	100,7	101,3	100,0	0,6
Lw Global - Linear[dB]	108,4	110,1	109,0	0,9
Lw Global [dB(A)]	108,3	110,2	109,1	0,9

Na tabela 26, evidencia-se a similaridade nos níveis de potência sonora gerados pela serra operando com a ardósia, cerâmica e carga padrão de 4cm. Em níveis globais, o desvio padrão dos níveis sonoros gerados resultou 0,9.

Observou-se, na frequência de 160Hz, mesmo com as devidas correções de K_1 e K_2 (Tabela 22), uma grande diferença do ruído gerado pela carga padrão de 4cm em relação à ardósia e à placa cerâmica.

A tabela 27 apresenta um comparativo dos níveis de potência sonora gerados pela serra-mármore, desconsiderando a condição sem carga e a carga de 4cm.

Tabela 27: Níveis sonoros e desvio padrão (desconsiderando condição sem carga e carga padrão de 4cm)

<i>f</i> (Hz)	Carga Padrão 2cm	Ardósia	Placa Cerâmica	Desvio Padrão
	<i>Lw</i> [dB]	<i>Lw</i> [dB]	<i>Lw</i> [dB]	
100	83,3	64,2	63,9	11,1
125	84,0	75,6	73,7	5,5
160	74,7	88,0	87,8	7,6
200	84,6	70,4	69,8	8,3
250	86,8	70,6	68,8	9,9
315	86,4	73,3	75,3	7,0
400	82,6	74,5	74,8	4,6
500	89,2	76,8	75,7	7,5
630	88,3	80,4	78,8	5,1
800	88,1	84,6	83,2	2,5
1000	90,4	89,8	86,8	2,0
1250	92,0	94,1	89,4	2,4
1600	93,4	91,4	91,0	1,3
2000	95,0	94,1	91,7	1,7
2500	95,8	95,6	94,0	1,0
3150	97,6	98,1	97,3	0,4
4000	96,9	100,5	100,4	2,0
5000	94,3	105,0	104,1	5,9
6300	92,9	101,8	100,4	4,8
8000	93,6	100,4	99,2	3,6
10000	95,0	101,3	100,0	3,4
Lw Global - Linear[dB]	105,6	110,1	109,0	2,3
Lw Global [dB(A)]	105,9	110,2	109,1	2,2

Na tabela 27, observa-se uma menor similaridade nos níveis de potência sonora gerados pela serra operando com a ardósia, cerâmica e carga padrão de 2cm. Em níveis globais, o desvio padrão dos níveis sonoros gerados resultou 2,3.

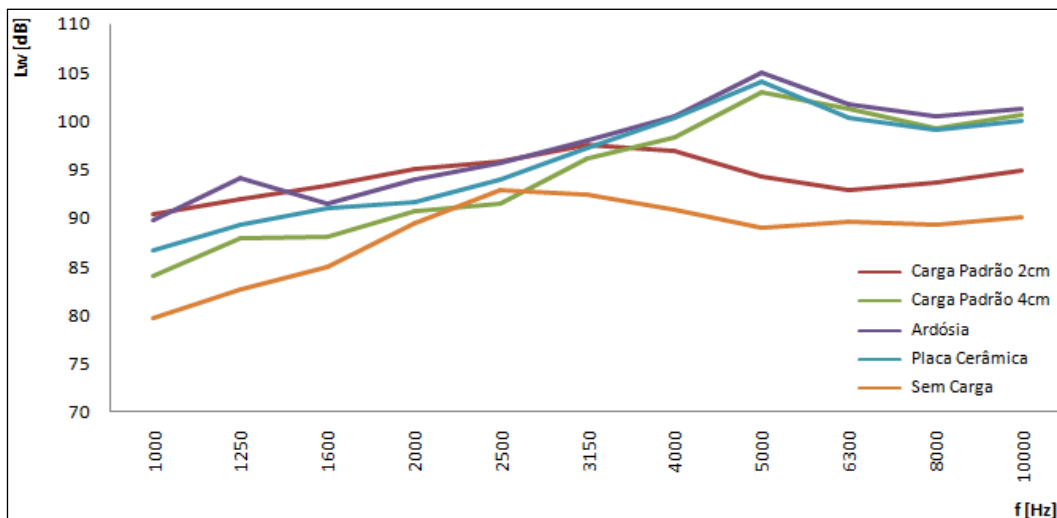
8.2.2. Análise do nível de potência sonora L_w no espectro de 1K a 10KHz

Observando o comportamento dos níveis de potência sonora gerados nas diferentes condições de carga, apresenta-se, na tabela 28 e figura 42, uma análise comparativa limitando o espectro de frequência de 1K a 10KHz.

Tabela 28: Análise da potência sonora L_w para as diferentes condições de carga no espectro de 1K a 10KHz

f (Hz)	Carga Padrão 2cm	Carga Padrão 4cm	Ardósia	Placa Cerâmica	Sem Carga
	L_w [dB]	L_w [dB]	L_w [dB]	L_w [dB]	L_w [dB]
1000	90,4	84,0	89,8	86,8	79,6
1250	92,0	87,9	94,1	89,4	82,7
1600	93,4	88,1	91,4	91,0	84,9
2000	95,0	90,8	94,1	91,7	89,5
2500	95,8	91,4	95,6	94,0	92,9
3150	97,6	96,1	98,1	97,3	92,5
4000	96,9	98,3	100,5	100,4	90,9
5000	94,3	103,0	105,0	104,1	89,1
6300	92,9	101,3	101,8	100,4	89,6
8000	93,6	99,2	100,4	99,2	89,3
10000	95,0	100,7	101,3	100,0	90,0
Lw Global - Linear [dB]	105,1	108,4	110,0	108,9	100,0
Lw Global [dB(A)]	105,7	108,3	110,1	109,1	100,6

Figura 42: Análise da potência sonora L_w para as diferentes condições de carga no espectro de 1K a 10KHz



Observa-se que a condição sem carga registra os menores níveis sonoros na maioria das frequências, sinalizando a contribuição da condição de carga para o ruído gerado pela serra-mármore nas operações de corte.

Os níveis sonoros gerados nas operações da serra com a placa cerâmica, ardósia e carga padrão de 4cm se mostraram mais próximos entre si do que em relação à carga padrão de 2cm. A equivalência dos níveis globais de potência sonora gerados é mais bem ilustrada na Tabela 29.

Tabela 29: Comparativo da potência sonora no espectro de 100 Hz a 10KHz e de 1KHz a 10KHz

	Carga Padrão 2cm	Carga Padrão 4cm	Ardósia	Placa Cerâmica	Sem Carga
Espectro de 1000 - 10.000 Hz					
Lw Global - Linear[dB]	105,1	108,4	110,0	108,9	100,0
Lw Global [dB(A)]	105,7	108,3	110,1	109,1	100,6
Espectro Comparativo (100 - 10.000 Hz)					
Lw Global - Linear[dB]	105,6	108,4	110,1	109,0	100,1
Lw Global [dB(A)]	105,9	108,3	110,2	109,1	100,6
Diferença dB	0,5	0,0	0,1	0,1	0,1
dB(A)	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0

Destaca-se, nas duas últimas linhas, a diferença dos níveis globais de potência sonora para as diferentes condições de carga com a serra-mármore.

8.3. Resultados das incertezas de medição

Nas tabelas 30, 31, 32, 33 e 34 são apresentados os resultados da incerteza padrão (u_i) e coeficiente de sensibilidade (c_i) dos parâmetros associados às condições e situações de ensaio, método, microfones e instrumentação, temperatura, umidade relativa, ângulo e constantes de ensaio, em conformidade com a Norma ISO 3744:2010.

Apresenta-se, ainda, o resultado dos desvios das incertezas de instabilidade da operação e condições de montagem (σ_{omc}), dos desvios das incertezas das condições ambientais e de ensaio (σ_{R0}), desvio total (σ_{tot}), fator de abrangência (k) e a incerteza de medição expandida (U) nas diversas condições de carga da serra-mármore operadas em campo aberto sobre um plano refletor.

Tabela 30: Incertezas de medição da serra-mármore na condição sem carga

f [Hz]	$\overline{L'P}_{(ST)}$ [dB(A)]		δ_{method}		S		K1		K2		$C_1 + C_2$		δ_{slm}		δ_{mic}		δ_{angle}		δ_B		δ_H		σ_{R0}	σ_{omc}	σ_{tot}	U
	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i	u_i	c_i				
100	0,5	0,8	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,8	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,7	0,5	2,8	5,5
125	0,0	1,8	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	1,8	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,7	0,1	2,7	5,5
160	0,1	1,3	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	1,3	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,5	0,3	2,5	5,1
200	1,7	0,1	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,1	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,5	2,2	4,3
250	1,1	0,1	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,1	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,1	2,1	4,2
315	2,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,6	2,1	4,2
400	2,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,5	2,0	4,0
500	0,6	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,6	2,1	4,1
630	3,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,9	2,2	4,4
800	0,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,4	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,7	2,2	4,3
1000	1,8	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,1	2,0	4,1
1250	0,5	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,3	2,0	4,1
1600	0,7	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,3	2,0	4,0
2000	2,1	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,5	2,0	4,1
2500	1,8	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,4	2,0	4,0
3150	1,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,3	2,0	3,9
4000	2,8	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,5	2,0	4,0
5000	2,5	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,7	2,1	4,1
6300	2,5	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,8	2,1	4,2
8000	3,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,8	2,2	4,5
10000	3,1	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,8	2,3	4,5

Tabela 31: Incertezas de medição da serra-mármore operando cortes com a ardósia

f [Hz]	L'p (ST) [dB(A)]		δ _{method}		S		K1		K2		C ₁ +C ₂		δ _{sim}		δ _{mic}		δ _{angle}		δ _θ		δ _H		σ _{R0}	σ _{omc}	σ _{tot}	U
	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i				
100	1,3	0,5	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,5	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,9	0,2	2,9	5,8
125	2,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,6	2,2	4,4
160	3,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	1,1	2,3	4,5
200	2,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,9	2,2	4,3
250	1,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,7	2,1	4,2
315	2,8	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,6	2,0	4,1
400	2,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,3	2,0	3,9
500	0,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,1	2,0	3,9
630	1,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,1	4,1
800	0,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,4	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,3	2,1	4,1
1000	0,6	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,1	4,2
1250	0,7	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,0	4,1
1600	1,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,5	2,0	4,1
2000	0,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,0	4,0
2500	0,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,5	2,0	4,0
3150	0,5	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,5	2,0	4,0
4000	0,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,5	2,0	4,0
5000	1,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,5	2,0	4,1
6300	1,6	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,6	2,0	4,1
8000	1,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,6	2,2	4,4
10000	1,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,6	2,2	4,4

Tabela 32: Incertezas de medição da serra-mármore operando cortes com a placa cerâmica

f [Hz]	L'p (ST) [dB(A)]		δ _{method}		S		K1		K2		C ₁ +C ₂		δ _{sim}		δ _{mic}		δ _{angle}		δ _θ		δ _H		σ _{R0}	σ _{omc}	σ _{tot}	U
	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i				
100	1,0	0,6	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,6	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,8	0,2	2,8	5,6
125	0,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,5	2,1	4,3
160	3,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,9	2,2	4,4
200	2,7	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,7	2,1	4,2
250	2,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,9	2,2	4,3
315	1,6	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	1,5	2,4	4,9
400	1,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,4	2,0	3,9
500	0,5	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,0	4,0
630	1,8	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,7	2,1	4,3
800	0,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,4	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,4	2,1	4,2
1000	0,7	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,8	2,2	4,4
1250	1,7	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,6	2,1	4,2
1600	3,5	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,7	2,1	4,2
2000	0,5	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,2	2,0	4,0
2500	0,6	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,3	2,0	3,9
3150	1,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,5	2,0	4,0
4000	2,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,8	2,1	4,2
5000	1,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,9	2,2	4,3
6300	1,8	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,6	2,0	4,1
8000	1,6	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,6	2,2	4,4
10000	1,6	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,6	2,2	4,4

Tabela 33: Incertezas de medição da serra-mármore operando cortes com a carga padrão de 4cm

f [Hz]	L'P (ST) [dB(A)]		δ _{method}		S		K1		K2		C ₁ +C ₂		δ _{slim}		δ _{mic}		δ _{angle}		δ _θ		δ _H		σ _{R0}	σ _{omc}	σ _{tot}	U
	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i				
100	2,4	0,1	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,1	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,4	0,6	2,4	4,9
125	2,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,6	2,2	4,4
160	1,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,9	2,3	4,5
200	2,1	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	1,7	2,6	5,2
250	0,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,7	2,1	4,2
315	0,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,4	2,0	4,0
400	1,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,8	2,1	4,2
500	1,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,5	2,0	4,0
630	0,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,1	4,1
800	1,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,4	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,3	2,1	4,1
1000	0,7	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,3	2,1	4,1
1250	0,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,3	2,0	4,1
1600	0,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,3	2,0	4,0
2000	0,6	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,0	4,0
2500	0,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,4	2,0	4,0
3150	0,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,8	2,1	4,2
4000	0,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,9	2,1	4,2
5000	1,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,8	2,1	4,2
6300	1,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,6	2,0	4,1
8000	0,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,8	2,3	4,5
10000	0,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,8	2,3	4,6

Tabela 34: Incertezas de medição da serra-mármore operando cortes com a carga padrão de 2cm

f [Hz]	L'P (ST) [dB(A)]		δ _{method}		S		K1		K2		C ₁ +C ₂		δ _{slim}		δ _{mic}		δ _{angle}		δ _θ		δ _H		σ _{R0}	σ _{omc}	σ _{tot}	U
	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i	u _i	c _i				
100	4,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	1,0	2,3	4,6
125	2,7	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	2,0	2,9	5,7
160	3,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,5	2,1	4,3
200	2,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,9	2,1	4,3
250	1,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	1,2	2,3	4,6
315	4,5	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	1,4	2,4	4,8
400	0,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,3	2,0	3,9
500	0,8	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	1,5	2,5	5,0
630	0,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,1	4,1
800	0,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,4	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,2	2,1	4,1
1000	1,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,4	2,1	4,1
1250	0,2	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,2	2,0	4,0
1600	0,1	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,2	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,2	2,0	4,0
2000	1,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,2	2,0	4,0
2500	2,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,6	2,0	4,1
3150	1,4	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	1,1	2,2	4,4
4000	1,3	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	1,9	0,6	2,0	4,1
5000	0,9	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,6	2,1	4,1
6300	1,7	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,1	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,0	0,7	2,1	4,1
8000	2,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,8	2,3	4,5
10000	2,0	0,0	0,4	1,0	0,0	5,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,3	1,0	0,5	1,0	0,2	1,0	0,7	1,0	3,1	0,0	9,1	0,0	2,1	0,8	2,3	4,5

Os cálculos realizados ilustram as incertezas de medição em todas as frequências, nas diferentes condições de carga da serra-mármore nas operações, apresentando ainda a incerteza total correspondente.

Observa-se que a maior contribuição da incerteza de medição no desvio total (σ_{tot}) está relacionada à incerteza das condições ambientais e de ensaio (σ_{RO}), denotando a importância no atendimento aos requisitos normativos em relação à montagem, dimensões, instrumentação, ambiente e suas constantes de ensaio.

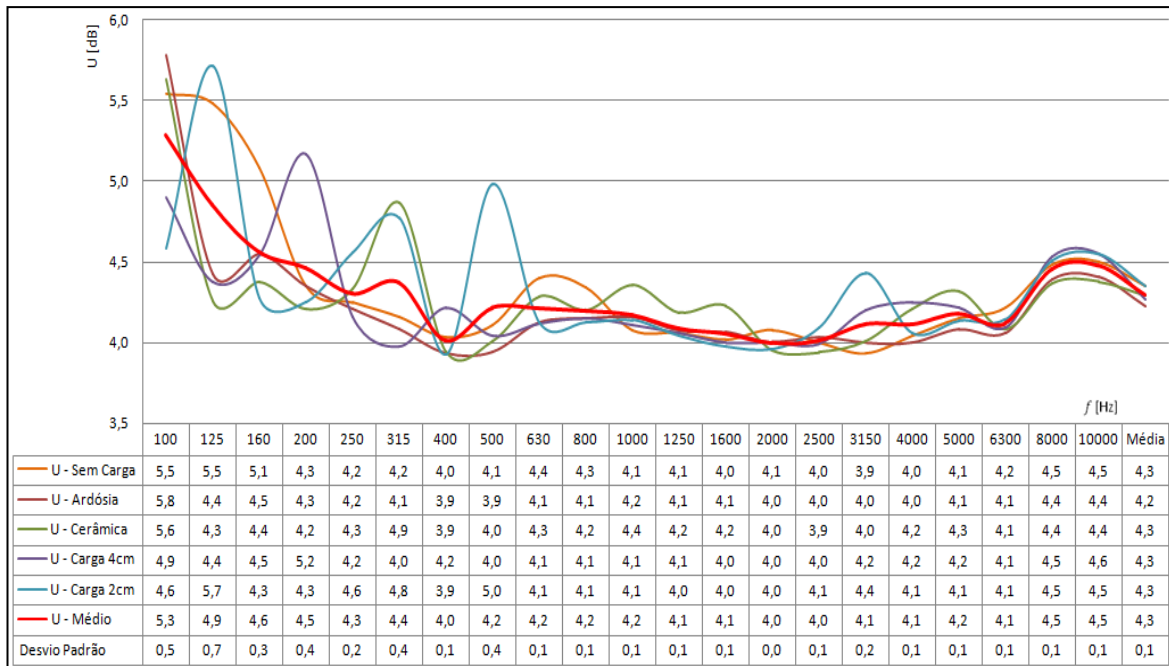
A incerteza relativa à instabilidade da operação e condições de montagem (σ_{omc}) são baixas e mostram-se bem similares para todas as frequências e em todas as condições de carga, podendo-se entender que os níveis sonoros obtidos nas medições realizadas representam de forma confiável a operação da serra, podendo-se validar o método adotado, durante este estudo dos níveis sonoros gerados por serra-mármore, num campo livre sobre um plano refletor.

Na maioria das frequências, a maior contribuição da incerteza está relacionada à incerteza do nível de pressão sonora ($U_{L_{p(STR)}}$), que se refere à repetibilidade de medição, sendo maiores nas baixas frequências, influenciada possivelmente ao ruído de fundo e comportamento vibracional da serra-mármore e materiais de corte.

A incerteza referente à superfície de medição é zero, visto que não existe variação neste parâmetro durante as medições. A incerteza referente ao ruído de fundo K_1 está presente somente nas faixas de frequência que precisaram ser corrigidas neste parâmetro (Tabela 23), enquanto que a incerteza referente à correção ambiental K_2 é zero, uma vez que foi desconsiderada esta correção, conforme prerrogativa da norma (Item 7.13.1). Assim como nos componentes de incerteza referente à temperatura (δ_θ) e umidade relativa (δ_H), onde considera-se o coeficiente de sensibilidade K_2 nos cálculos, resultando valor igual a zero para estes parâmetros.

O gráfico da incerteza de medição expandida (U) em relação à frequência, resultante de todas as grandezas associadas às operações com a serra-mármore nos ensaios de medição dos níveis sonoros, nas diferentes condições de carga em campo aberto sobre o plano refletor, é representado na figura 43. Para uma análise dos resultados são apresentados também a incerteza de medição expandida média e o desvio padrão dos resultados obtidos.

Figura 43: Incerteza da medição expandida (U) nas condições de carga, média e desvio padrão



Observa-se que os maiores valores da incerteza de medição expandida (U) estão presentes nas baixas frequências.

É possível perceber que a incerteza na condição sem carga tem comportamento similar em relação às operações de corte com os diferentes materiais.

Existe uma proximidade nos valores da incerteza para todas as condições de carga de 1K a 10KHz, norteando um entendimento da confiabilidade dos resultados nesta faixa de frequência pelo método adotado.

Percebe-se um desvio padrão constante, da ordem de 0,1dB, nas frequência acima de 500Hz.

Nota-se que a média da incerteza de medição expandida (U) nas diferentes condições de carga é bem similar, fato que possivelmente está associado à contribuição significativa da incerteza das condições ambientais e de ensaio (σ_{R0}).

Com base nesses resultados, pode-se inferir que o valor de $U = 4,3\text{dB}$ representa, de forma confiável, a incerteza de medição expandida (U) para este estudo. Considerando a análise de interpretação das condições de ensaio da Norma ISO 3744:2010, o método adotado neste estudo está associado a um grau de precisão 2 (em relação ao desvio padrão de reprodutibilidade do método) e, em relação às condições de montagem e operação, como instável.

8.4. Análise da incerteza de medição

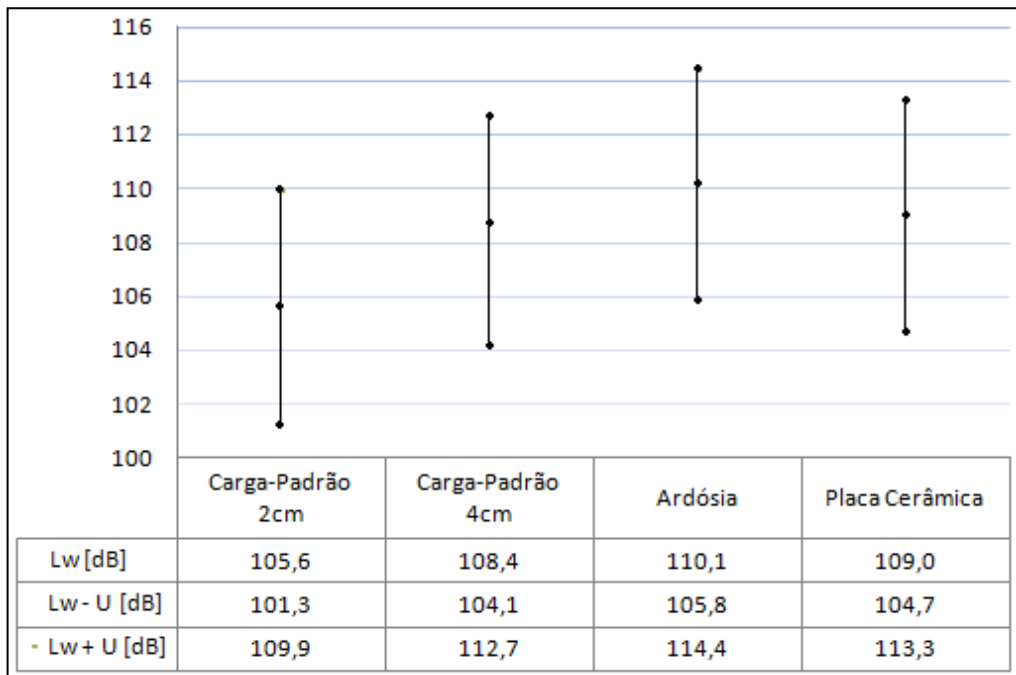
Para o cálculo da incerteza de medição expandida (U), adotou-se um fator de abrangência normal ($K = 2$) que corresponde a 95% de confiança de que o valor verdadeiro se encontra dentro do intervalo utilizado.

A figura 43 mostrou que o valor do desvio a ser considerado para análise das incertezas de potência sonora (L_w) a partir das medições e cálculos realizados, de acordo com a Norma ISO 3744:2010, nas frequências de 1K a 10KHz, é de $U = 4,3\text{dB}$.

Segundo a Norma ISO 3744:2010, a incerteza de medição depende do grau de confiança desejado. Considerando as condições de ensaio apresentadas, a distribuição dos valores de potência sonora [L_w] se encontra dentro do intervalo [$L_w - U$] a [$L_w + U$].

A partir dos níveis de potência sonora obtidos, para as condições de carga com materiais de construção nas operações com a serra-mármore (Tabela 24), a figura 44 ilustra os níveis de potência sonora (L_w) relacionados com os intervalos da incerteza de medição expandida U .

Figura 44: Nível de Potência sonora [L_w] e intervalos da incerteza de medição expandida [U]



Observa-se, na figura 44, que o intervalo da incerteza de medição que representa a carga padrão de 2cm é inferior aos demais, o que ressalta que o seu valor máximo de nível de potência sonora, no intervalo $[L_w+U]$, chegou a 109,9dB, e este representa um valor abaixo da média do nível obtido pelo corte da ardósia (110,1dB) e próximo à média resultante para o corte da placa cerâmica (109dB).

Pode-se afirmar que 39,5% do intervalo, na incerteza da carga padrão de 2cm, encontram-se dentro do intervalo correspondente à ardósia e placa cerâmica juntas, enquanto que para a carga de 4cm este valor chega a 93,3%, assim, sinalizando maior similaridade no intervalo do nível de potência sonora $[L_w - U]$ a $[L_w + U]$ da carga padrão de 4cm, quando comparada com estes materiais.

Observou-se, porém, que os valores do desvio padrão dos níveis globais de potência sonora da carga de 4cm ($\sigma=0,9$ dB) e da carga de 2cm ($\sigma=2,3$ dB) encontram-se dentro da margem considerada neste estudo ($U = 4,3$ dB). Desta forma, na análise da incerteza de medição nos resultados dos níveis de potência sonora, afirma-se que ambas as cargas (2cm e 4cm) atenderam aos critérios da incerteza de medição expandida, podendo qualificá-las como conformes, de acordo com a Norma ISO 3744:2010.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

“[...] Olho pro céu, ele está sorrindo,
Apaga o passado e vê ressurgindo,
Os ‘Valores Reais’ enterrados em seu coração [...]”

Márcio Ribeiro Barbosa

9. Conclusões

O ruído gerado por serra-mármore é um tema pouco abordado. Exceto por alguns estudos de doses ocupacionais, não se encontram informações sobre o comportamento do espectro sonoro ou particularidades de geração de ruído desta ferramenta, desse modo, o assunto mostra-se interessante para ser explorado em pesquisas científicas.

A observação do comportamento sonoro das operações com serra-mármore em um estudo preliminar (pré-teste), tornou viável o estudo proposto nesta pesquisa. Adotando uma simulação laboral para análise do ruído gerado nas operações de serra-mármore em diferentes condições de carga e operação, para ambientes de ensaio distintos, com diferentes materiais e equipamentos, foi possível estabelecer, com propriedade, a metodologia a ser adotada para o desenvolvimento do estudo relativo à determinação de nível de potência sonora de serras mármore em operação.

Para a proposição das placas cimentícias como carga padrão foi necessário analisar o comportamento do ruído gerado pela serra-mármore nas operações de corte de placas cerâmicas e a ardósia, considerados como materiais de referência, e comparar os resultados com os níveis sonoros gerados nas operações de corte da carga padrão.

Para o estudo do nível de potência sonora gerado por serra-mármore, adotou-se o método de ensaio proposto pela Norma ISO 3744:2010 (*Engineering Methods for Free Field Conditions over a Reflecting Plane*) que especifica a determinação de níveis de potência sonora transmitidos através do ar, por um método de engenharia num campo livre sobre um plano refletor. Ainda que ocorressem algumas dificuldades inerentes a medições dos níveis sonoros em áreas externas, a pesquisa mostrou a possibilidade do estudo do nível de potência sonora gerado por serra-mármore em campo livre sobre um plano refletor.

Para aplicação do método utilizado, destacam necessidades específicas, como: a presença do operador nas atividades de corte com a serra, utilização do suporte para amostra e um plano refletor, além da adoção de materiais para corte. Estas necessidades foram identificadas visando garantir a condição real de uso da ferramenta. A Norma ISO 3744:2010 recomenda que as atividades que gerem o ruído com um determinado equipamento simulem os parâmetros mais próximos da prática real, nas condições normais de uso, a fim de garantir condições relevantes de utilização do equipamento.

Os resultados obtidos neste estudo, a partir dos procedimentos de ensaio utilizados e atendimento aos critérios normativos estabelecidos, permitiram determinar o nível de potência sonora gerado por serra-mármore portátil com diferentes condições de carga e calcular as incertezas de medição associadas ao método utilizado.

As cargas padrões propostas neste estudo foram placas cimentícias padronizadas para confecção em laboratórios, medindo 40x40cm, com 2cm e 4cm de espessura. Elementos confeccionados com materiais de construção básicos. Mostrou-se de fácil preparação e moldagem, viabilizando sua utilização como condição de carga em ensaios na determinação de níveis sonoros com a serra-mármore.

Os valores globais dos níveis sonoros das cargas padrões propostas mostraram-se bem próximos àqueles gerados pelos materiais de referência. As cargas padrões (placas cimentícias) representaram nas operações de corte, os níveis sonoros gerados conforme àqueles obtidos nos canteiros de obras, em operações com a serra-mármore.

Para níveis de pressão sonora na operação de corte superior a 15dB, em relação ao ruído de fundo, indicaram que não existe interferência do ambiente na maioria das frequências, sendo que não foram necessárias correções acima de 200Hz nas situações de corte dos materiais, bem como a partir de 315Hz para a serra-mármore sem carga.

Realizou-se um comparativo dos níveis de pressão sonora gerado por diferentes operadores de serra-mármore evidenciando a similaridade dos níveis sonoros gerados durante a operação de corte de materiais. Obteve-se um desvio padrão de 1,4dB para carga padrão de 4cm e um desvio padrão de 1,0dB para carga padrão de 2cm. Ressalta-se, contudo, que não foi esse critério que determinou a escolha da carga padrão.

Os níveis de potência sonora da serra-mármore ao operar em diferentes materiais de construção comparados às atividades da serra-mármore sem carga são elevados. Os níveis globais de potência sonora obtidos nas operações chegaram a 110,1dB. Em relação à condição de operação do equipamento em vazio, os valores de nível de potência sonora com carga apresentam diferenças de até 10dB.

Na análise do nível de potência sonora em função da frequência no espectro de 100Hz a 10KHz, os maiores desvios dos dos níveis de potência sonora ocorreram em 160Hz, atingindo um desvio padrão de 13,4dB. Na comparação das cargas padrões, a placa cerâmica e ardósia, observa-se maior uniformidade no espectro de 200Hz a 10KHz. Ressalta-se, contudo, que os desvios em 160Hz não interferiram significativamente em níveis sonoros globais obtidos.

Os valores globais dos níveis de pressão e dos níveis de potência sonora das cargas padrões propostas se mostraram bem próximos aos materiais de referência, permitindo confirmar a hipótese de que se pode adotar uma placa cimentícia, como material padronizado nas operações de corte, para ser utilizado nos métodos de determinação do nível de potência sonora da serra-mármore em vista de diferentes materiais encontrados no mercado.

Um estudo comparativo do comportamento dos níveis de potência sonora, limitando o espectro na faixa de frequência entre 1K a 10KHz, mostrou que esta faixa representa, com muita propriedade, os níveis sonoros globais gerados pela serra-mármore por meio do método adotado, nas diferentes condições de carga e da ferramenta sem carga. Assim, a contribuição do ruído de fundo, especialmente nas baixas frequências, não precisará ser corrigida pelo coeficiente K_1 , podendo reduzir as componentes de incerteza do método. Todavia ressalta-se que desconsiderando as baixas frequências, podem-se limitar futuras análises e comparativos do método, equipamentos e materiais utilizados, uma vez que não se pode garantir este cenário em outros procedimentos de medição.

De acordo com o critério estabelecido no Selo Ruído pelo INMETRO, em relação ao nível de eficiência acústica de equipamentos, a “Classificação E” representa a faixa mais crítica de ruído gerado, considerada para os aparelhos que geram níveis potência sonora maior ou igual a 95 dB(A). Observa-se nesta pesquisa, que o ruído gerado pela serra-mármore em vazio e nas diferentes condições de carga atingem níveis de potência sonora variando de 100,6 a 110,1dB(A). Independente do material utilizado, os níveis sonoros gerados pela serra-mármore são elevados, atingindo o valor mais crítico do critério adotado no Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Da análise da incerteza de medição nos resultados dos níveis de potência sonora, observou-se que ambas as placas cimentícias propostas (cargas padrão de 2cm e 4cm) atenderam aos critérios da incerteza de medição expandida e aos desvios dos níveis globais, podendo qualificá-las como conformes, de acordo com a Norma ISO 3744:2010.

A maior contribuição da incerteza está relacionada às condições ambientais e de ensaio, parâmetro este, associado à repetibilidade das medições do nível de pressão sonora gerado nas operações. A incerteza relativa à instabilidade da operação e condições de montagem é baixa, sinalizando que a utilização da serra-mármore, do disco diamantado, do suporte da amostra, do plano refletor, materiais de corte e do operador, representaram de forma confiável os níveis de pressão sonora gerados pela serra-mármore nas diferentes condições de corte.

O comportamento dos níveis de potência sonora e incertezas de medição para a carga padrão de 4cm mostrou-se mais próximas aos materiais de referência, quando comparada com a carga padrão de 2cm. Portanto, a proposta mais adequada para condição de carga padronizada, em ensaios da avaliação do ruído gerado por serra-mármore portátil é a placa cimentícia com 4cm de espessura (carga padrão de 4cm).

Em relação ao estudo das incertezas, o cálculo dos desvios padrões associados à instabilidade da operação, condições de montagem, condições ambientais e de ensaio e agregados a um fator de abrangência normal igual a 2, que corresponde a 95% de confiança, de que o valor verdadeiro se encontra dentro do intervalo utilizado, mostrou que a incerteza de medição expandida (U) a ser considerada em um método de potência sonora gerada por serra-mármore em campo livre sobre um plano refletor, na ótica da Norma ISO 3744:2010, é de $U=4,3\text{dB}$.

Ao longo da pesquisa, se identificaram algumas lacunas que merecem um estudo aprofundado. Entre as sugestões de trabalhos futuros, destacam-se:

- Estudo da influência das propriedades físicas de diferentes materiais de construção operados com a serra-mármore no ruído gerado nas operações de corte, destacando-se a massa específica e porosidade.
- Elaboração de um protocolo que assegure a estabilidade na operação da serra-mármore em suas condições de funcionamento.

- Desenvolvimento de um equipamento automatizado para substituir o operador, com as particularidades de sensibilidade e manejo da serra-mármore.
- Estudo do comportamento de vibração das placas, suas frequências de ressonância, séries harmônicas geradas e sua interferência no ruído gerado aos arredores da fonte.
- Investigação sobre a determinação do nível de potência sonora gerada em serra-mármore por intensimetria acústica.
- Estudo sobre a influência do tempo de uso (serra-mármore usada) e diferentes tipos de discos, no ruído gerado nas operações de corte.
- Proposta de um método para determinação do nível de potência sonora de serra-mármore, considerando o tipo de máquina, características técnicas, distâncias de corte, quantidades de uso do disco, base de apoio a ser utilizada, entre outras informações relevantes para a aplicação do ensaio por fabricantes nacionais, buscando contribuir com o Programa Brasileiro de Etiquetagem.

APÊNDICE A – RESULTADOS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

Tabela A1: Medições do Ruído de Fundo nos Pontos – P1 a P9 [dB]

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Desvio
<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão
100	47,0	47,4	47,5	52,9	49,8	47,6	46,6	45,0	42,5	2,9
125	43,3	47,6	45,2	47,7	44,8	43,8	46,9	51,9	42,7	2,9
160	41,2	41,1	41,0	43,8	44,3	42,9	43,0	48,7	42,0	2,4
200	37,2	38,8	36,5	39,5	40,3	40,2	38,6	39,7	38,4	1,3
250	35,8	35,7	36,1	39,4	38,4	36,2	36,6	33,9	35,0	1,7
315	34,6	34,6	33,8	35,9	35,7	35,6	36,8	34,0	33,9	1,1
400	33,3	32,8	32,2	34,1	34,6	34,6	35,4	33,5	35,0	1,1
500	30,6	30,2	32,5	33,2	35,2	34,2	35,2	30,6	34,1	2,0
630	27,5	27,6	29,9	30,1	35,0	34,2	35,0	30,8	33,4	3,0
800	27,0	27,3	28,7	28,3	35,2	34,3	35,2	30,6	32,4	3,4
1000	26,7	28,5	31,3	29,0	36,1	34,3	34,6	30,7	32,4	3,1
1250	28,0	29,5	30,3	28,3	35,1	34,2	33,6	30,0	31,6	2,6
1600	28,6	29,6	29,9	28,3	33,4	33,8	32,9	28,6	30,8	2,2
2000	30,0	29,3	30,1	27,1	32,2	33,0	30,9	27,9	29,2	1,9
2500	28,1	27,5	29,7	26,2	29,4	29,9	28,4	25,5	27,4	1,5
3150	25,8	25,1	27,4	27,6	26,9	27,2	26,0	23,0	25,3	1,5
4000	23,0	23,2	25,4	24,1	24,3	25,5	26,3	22,0	23,8	1,4
5000	21,4	21,2	23,5	23,3	21,8	26,2	22,9	19,9	21,8	1,8
6300	18,8	17,9	21,7	21,3	20,0	21,8	20,4	17,8	19,3	1,5
8000	17,0	15,1	19,9	17,9	26,5	18,7	19,5	16,4	16,5	3,3
10000	17,2	15,3	20,1	18,1	26,8	18,9	19,7	16,6	16,7	3,4

Tabela A2: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P1 e P2

Ponto P1								Ponto P2							
	1	2	3	4	5	6	Desvio		1	2	3	4	5	6	Desvio
<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão
100	59,7	55,5	60,4	56,6	61,5	66,3	3,8	53,6	63,0	60,2	63,0	62,3	61,2	3,6	
125	64,6	66,8	64,6	68,2	68,5	61,7	2,6	69,7	60,2	66,5	64,9	64,0	56,0	4,8	
160	51,0	59,2	51,4	60,6	53,6	60,4	4,5	63,0	51,4	48,8	55,1	56,3	56,7	4,9	
200	45,5	53,2	50,0	52,2	52,7	55,3	3,4	59,3	68,5	62,3	67,2	70,9	70,1	4,6	
250	67,0	60,6	59,7	58,4	58,8	56,1	3,7	60,5	63,3	64,0	67,4	58,0	62,0	3,2	
315	56,7	56,1	55,2	57,1	58,1	59,0	1,4	53,2	56,3	56,3	64,4	65,8	63,9	5,3	
400	56,5	60,5	62,7	58,6	57,5	58,3	2,2	57,6	62,4	58,6	62,7	66,2	63,6	3,2	
500	59,7	58,6	59,7	59,9	59,7	60,3	0,6	61,0	66,6	62,1	62,4	67,9	66,1	2,9	
630	65,1	65,6	64,1	64,9	64,3	64,5	0,6	63,3	68,6	65,2	63,8	71,0	67,0	3,0	
800	64,6	64,0	64,6	65,3	64,1	64,7	0,5	64,9	65,5	66,2	66,1	75,4	69,8	4,0	
1000	68,8	68,4	68,4	68,7	68,5	70,5	0,8	70,7	70,7	71,1	71,2	74,2	73,5	1,5	
1250	72,5	70,6	71,0	72,2	73,8	76,5	2,2	72,9	71,9	76,1	73,3	78,8	80,3	3,4	
1600	73,5	72,4	72,1	72,5	73,7	77,0	1,8	74,3	76,5	74,2	77,0	78,7	78,8	2,0	
2000	77,8	77,3	79,4	78,1	77,6	79,6	1,0	79,2	77,8	78,8	81,4	83,6	84,5	2,7	
2500	78,5	77,4	78,0	78,2	78,9	80,2	1,0	80,4	82,6	81,2	82,9	83,7	84,6	1,6	
3150	79,8	81,4	81,7	81,9	82,4	84,7	1,6	86,1	87,0	87,9	91,0	87,3	88,3	1,7	
4000	80,5	82,0	82,1	84,3	84,4	87,5	2,5	88,6	90,7	90,0	94,2	91,8	92,0	1,9	
5000	88,4	90,0	90,3	90,3	90,7	95,2	2,3	92,1	94,1	93,3	95,7	95,8	95,5	1,5	
6300	86,0	87,9	88,4	88,4	88,2	93,8	2,6	89,2	89,6	89,5	93,6	90,9	90,3	1,6	
8000	84,6	85,3	85,6	85,7	85,5	88,8	1,5	90,2	90,9	89,7	94,4	90,8	90,8	1,7	
10000	85,9	86,5	87,1	86,7	87,3	90,3	1,6	91,6	92,2	91,3	95,5	92,7	92,3	1,5	

Tabela A3: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P3 e P4

	Ponto P3							Ponto P4						
	1	2	3	4	5	6	Desvio	1	2	3	4	5	6	Desvio
<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão
100	57,6	60,1	54,8	47,8	62,7	52,4	5,4	53,7	56,5	57,9	57,1	59,2	59,6	2,1
125	63,8	61,4	61,9	59,4	64,9	64,1	2,1	63,6	58,7	65,1	68,7	70,7	65,4	4,2
160	52,9	48,7	46,9	46,9	50,7	47,6	2,4	44,8	45,5	49,3	48,4	48,8	47,4	1,8
200	62,4	61,7	53,5	51,6	62,1	55,1	4,9	54,1	53,7	58,0	66,8	59,4	64,8	5,4
250	61,2	63,3	57,5	60,0	62,8	65,1	2,7	57,7	59,7	63,5	73,8	66,9	63,3	5,7
315	64,5	59,6	56,4	56,4	53,8	55,6	3,8	55,4	59,7	63,4	62,1	62,4	66,3	3,7
400	61,9	55,6	56,7	59,1	55,6	58,5	2,4	60,5	60,9	63,1	59,8	64,3	63,2	1,8
500	63,0	59,8	60,1	60,1	60,8	63,2	1,5	61,1	59,3	61,7	64,9	63,0	60,9	1,9
630	66,2	62,2	64,8	64,1	62,2	62,9	1,6	65,3	66,8	66,4	67,5	67,8	71,4	2,1
800	67,3	63,8	65,9	64,4	62,3	63,9	1,8	64,3	65,6	68,9	69,2	70,3	71,3	2,7
1000	68,8	67,0	69,0	68,7	69,2	69,6	0,9	72,6	71,9	72,8	74,6	72,0	72,6	1,0
1250	71,6	70,0	71,2	71,7	73,0	72,3	1,0	77,9	78,8	76,5	76,4	75,3	75,7	1,3
1600	73,6	71,0	72,4	73,1	73,2	72,6	0,9	75,2	75,6	77,1	77,5	78,5	78,0	1,3
2000	74,3	73,9	73,5	74,9	75,2	74,4	0,6	79,3	79,5	80,0	82,0	81,7	81,2	1,2
2500	77,6	79,5	76,6	75,4	76,3	75,5	1,5	79,4	79,7	80,3	81,2	80,4	81,8	0,9
3150	81,4	83,6	81,0	82,4	82,0	82,7	0,9	86,7	84,6	85,0	86,0	86,0	84,6	0,9
4000	82,5	82,5	82,3	82,7	82,1	82,7	0,2	86,3	87,5	88,6	86,1	85,6	85,2	1,3
5000	86,9	87,1	87,6	87,2	87,4	87,2	0,2	93,1	95,0	94,5	92,1	92,8	91,4	1,4
6300	88,4	86,8	86,9	87,7	86,4	87,0	0,7	94,3	93,4	91,7	92,5	91,9	91,4	1,1
8000	84,8	83,4	84,9	83,9	84,0	83,8	0,6	88,8	87,9	88,9	89,9	89,8	90,0	0,8
10000	86,1	84,6	86,4	84,9	85,8	85,2	0,7	90,1	89,1	90,5	91,0	91,7	91,5	1,0

Tabela A4: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P5 e P6

	Ponto P5							Desvio Padrão	Ponto P6							Desvio Padrão
	1	2	3	4	5	6	1		2	3	4	5	6			
	<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)		<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)		
100	47,7	54,0	59,3	50,9	58,4	56,6	4,5	59,8	55,3	53,5	53,3	58,4	59,6	3,0		
125	63,3	64,1	57,6	53,4	56,2	56,9	4,2	53,6	54,9	52,9	53,1	51,9	56,9	1,8		
160	54,1	46,5	52,3	47,6	50,2	60,6	5,1	53,4	57,2	44,7	46,0	54,0	43,1	5,8		
200	55,7	51,3	53,8	55,8	58,5	64,4	4,5	65,4	66,8	62,2	58,7	64,7	61,3	3,0		
250	61,1	61,7	52,7	57,1	52,8	56,1	3,9	61,8	66,8	63,6	60,2	58,1	60,1	3,1		
315	55,1	59,7	68,0	62,3	64,4	58,8	4,5	62,3	60,0	58,6	56,3	57,0	54,0	2,9		
400	63,6	68,4	69,0	63,7	69,6	69,5	2,9	70,4	71,1	69,3	61,6	65,5	57,9	5,3		
500	62,6	70,6	68,8	64,8	65,6	68,7	3,0	67,7	69,2	67,1	64,3	62,2	61,2	3,2		
630	61,9	63,1	67,2	65,7	63,8	63,9	1,9	62,2	65,5	58,5	60,9	58,6	59,2	2,7		
800	68,0	69,7	69,2	68,3	71,7	68,9	1,3	65,1	66,9	63,0	61,0	60,3	58,7	3,1		
1000	71,8	71,9	73,0	70,7	74,1	72,7	1,2	68,8	65,3	65,1	64,4	62,6	63,0	2,2		
1250	73,6	76,0	75,4	75,6	77,1	76,1	1,2	72,1	70,3	67,7	67,5	68,3	69,7	1,8		
1600	74,4	76,3	76,4	77,1	78,4	80,0	1,9	72,3	71,1	69,4	71,1	69,4	72,0	1,2		
2000	74,2	74,9	73,6	73,6	75,6	77,1	1,4	74,6	73,1	75,1	74,5	74,0	78,1	1,7		
2500	74,2	75,9	73,4	73,5	75,6	76,3	1,3	75,1	73,7	73,1	73,5	75,5	75,1	1,0		
3150	80,9	80,7	79,0	81,4	79,9	77,9	1,3	76,2	77,8	79,7	81,8	78,3	80,8	2,1		
4000	82,8	82,7	81,8	81,5	82,9	80,7	0,9	76,4	76,8	78,4	79,1	77,7	81,0	1,7		
5000	86,5	87,6	84,2	85,7	84,6	84,7	1,3	80,1	81,7	84,0	84,6	81,6	86,2	2,3		
6300	88,0	88,5	85,0	87,1	86,7	84,0	1,7	77,1	79,7	81,8	83,4	81,9	85,7	3,0		
8000	82,5	82,8	81,2	81,0	80,7	79,9	1,1	75,1	77,5	79,2	80,9	79,5	82,0	2,5		
10000	83,7	84,0	82,7	82,0	82,4	81,3	1,0	76,2	78,6	80,6	81,9	81,2	83,4	2,5		

Tabela A5: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P7 e P8

	Ponto P7							Desvio Padrão	Ponto P8							Desvio Padrão
	1	2	3	4	5	6	1		2	3	4	5	6			
	<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)		<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)		
100	46,5	45,3	45,3	47,6	47,1	46,0	0,9	53,7	52,0	47,5	50,8	49,0	54,5	2,7		
125	58,9	50,9	58,5	61,0	61,6	63,7	4,4	58,5	58,3	58,3	63,0	60,6	55,5	2,5		
160	62,7	62,3	54,5	61,1	59,0	65,5	3,8	57,4	61,1	63,3	63,7	62,1	60,3	2,3		
200	46,2	48,5	43,6	45,2	44,6	49,4	2,3	42,2	51,1	47,3	45,0	43,2	48,5	3,4		
250	54,1	52,0	54,7	54,2	50,1	50,7	2,0	53,0	53,9	51,7	53,1	53,8	56,3	1,5		
315	56,9	54,7	57,7	50,6	49,5	50,5	3,6	51,3	52,5	53,3	53,6	53,7	48,0	2,2		
400	53,7	58,7	57,0	54,7	53,8	53,6	2,1	55,0	55,4	55,2	55,1	54,7	57,3	0,9		
500	55,7	55,8	54,1	57,7	55,4	56,7	1,2	58,6	58,5	58,1	58,0	57,7	62,2	1,7		
630	57,7	58,0	58,3	58,8	57,1	57,8	0,6	58,9	58,0	58,4	57,8	58,3	60,6	1,0		
800	64,2	63,8	63,9	61,3	59,6	61,9	1,8	65,1	65,2	61,7	62,2	65,0	64,7	1,6		
1000	67,2	67,9	69,7	67,0	66,7	67,6	1,1	67,2	66,9	66,5	67,4	66,7	71,0	1,7		
1250	69,1	69,1	71,4	69,9	69,1	70,9	1,0	71,1	72,0	72,9	72,2	72,6	75,3	1,4		
1600	68,5	68,3	70,5	69,8	69,4	69,6	0,8	71,7	72,1	72,0	73,5	73,8	74,5	1,2		
2000	72,5	71,2	72,7	74,2	72,0	70,8	1,2	74,3	74,6	74,1	74,0	72,7	75,7	1,0		
2500	73,5	73,5	75,7	73,3	72,7	72,6	1,1	72,5	72,9	72,4	72,4	71,8	73,2	0,5		
3150	71,7	70,9	75,4	71,9	71,4	71,5	1,6	73,8	73,1	72,6	73,0	72,0	76,3	1,5		
4000	76,6	76,5	79,7	79,8	76,8	76,7	1,6	77,0	76,9	76,8	77,2	76,1	79,0	1,0		
5000	81,2	80,6	83,6	83,4	81,7	79,7	1,5	82,7	82,9	82,0	82,2	81,7	84,7	1,1		
6300	80,8	77,8	81,8	80,5	79,8	79,0	1,4	80,6	81,5	79,7	80,4	80,8	83,0	1,1		
8000	78,0	75,3	79,6	76,3	75,1	77,0	1,7	79,1	79,4	77,9	77,4	76,9	80,1	1,3		
10000	79,2	76,4	81,0	77,2	76,7	78,3	1,8	80,3	80,5	79,3	78,3	78,5	81,5	1,2		

Tabela A6: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 4cm [dB] – P9 e P10

<i>f</i> (Hz)	Ponto P9						Desvio Padrão	Ponto P10						Desvio Padrão
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)		<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	
100	51,3	46,0	48,2	47,7	50,6	50,4	2,1	55,2	53,8	52,7	58,2	65,5	60,9	4,9
125	59,1	57,2	52,6	51,8	56,6	53,1	3,0	65,7	66,1	61,8	66,8	72,0	70,3	3,6
160	55,5	48,9	45,7	43,8	45,3	48,3	4,2	53,3	68,7	52,2	57,4	60,7	59,9	6,0
200	49,7	49,6	49,6	54,0	50,4	53,6	2,1	51,0	50,1	52,0	54,9	62,1	57,8	4,6
250	61,5	56,2	60,6	60,9	59,4	53,5	3,2	64,5	59,7	56,2	57,7	65,3	59,9	3,6
315	61,0	56,7	55,5	57,6	58,0	61,6	2,4	63,1	64,9	60,7	61,2	64,6	60,2	2,0
400	66,2	66,5	66,5	68,9	71,4	70,8	2,3	77,2	74,7	72,4	71,4	74,2	66,2	3,8
500	59,8	64,5	64,8	62,5	63,7	62,8	1,8	69,6	69,3	69,6	68,9	70,4	75,1	2,3
630	63,0	64,3	62,4	64,3	64,9	63,5	0,9	73,5	75,7	73,4	72,6	70,7	72,3	1,7
800	68,5	69,1	67,7	68,1	68,1	66,5	0,9	77,5	77,5	75,7	74,1	75,0	77,1	1,4
1000	75,3	74,0	72,9	72,5	74,7	74,7	1,1	84,7	83,2	83,9	82,7	82,2	84,7	1,0
1250	76,0	77,1	76,4	77,8	80,6	79,6	1,8	84,9	85,6	87,8	86,2	84,7	88,2	1,5
1600	74,9	75,7	75,5	76,1	76,7	75,2	0,6	82,3	84,5	84,2	84,7	82,6	87,0	1,7
2000	76,0	76,5	74,9	77,6	77,9	76,3	1,1	83,5	86,6	85,2	84,8	85,9	87,3	1,4
2500	79,6	78,1	77,2	78,6	79,1	78,1	0,8	83,9	81,9	83,2	84,3	82,0	84,2	1,1
3150	81,6	80,7	81,6	82,1	83,5	82,2	0,9	87,4	86,6	86,6	89,1	88,9	87,4	1,1
4000	82,2	82,9	83,7	83,5	84,0	82,5	0,7	88,4	87,4	88,8	89,1	89,4	89,4	0,8
5000	88,0	88,4	88,8	88,0	88,2	87,2	0,5	93,2	95,1	95,4	96,2	98,8	97,9	2,0
6300	87,0	87,3	86,9	86,0	85,1	84,4	1,2	90,9	93,2	94,7	96,3	95,4	93,5	1,9
8000	85,0	84,7	85,3	85,2	84,8	82,4	1,1	90,6	88,9	92,4	89,8	94,0	92,0	1,9
10000	86,3	85,9	86,8	86,2	86,6	83,8	1,1	92,0	90,1	94,1	90,9	96,0	93,6	2,2

Tabela A7: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 2cm [dB] – P1 e P2

Ponto P1								Ponto P2							
	1	2	3	4	5	6	Desvio		1	2	3	4	5	6	Desvio
<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão
100	79,9	78,8	78,1	76,5	74,0	71,8	3,1	71,6	69,9	70,1	70,6	68,6	66,1	1,9	
125	61,2	61,9	60,8	58,7	54,1	57,3	2,9	59,0	59,1	59,2	59,6	63,7	63,1	2,2	
160	63,2	68,7	63,1	66,8	62,4	71,4	3,6	58,4	64,9	59,8	59,7	54,0	56,9	3,6	
200	77,8	79,4	72,7	72,3	75,8	72,4	3,1	74,2	73,6	66,0	65,8	69,4	62,3	4,7	
250	66,5	77,8	70,2	77,6	74,9	74,5	4,4	67,0	67,0	69,2	66,9	67,0	65,7	1,1	
315	79,9	82,6	82,3	71,0	77,3	78,1	4,3	74,1	67,7	70,2	70,8	68,2	69,3	2,3	
400	70,2	68,1	68,9	64,5	66,2	67,7	2,0	62,0	67,1	65,1	66,4	71,3	68,1	3,1	
500	72,4	71,8	67,9	71,6	67,8	67,6	2,3	69,4	71,8	69,3	68,2	69,4	67,5	1,5	
630	75,1	76,7	75,3	76,0	75,1	73,4	1,1	75,6	73,3	75,5	71,5	72,8	69,2	2,4	
800	72,6	72,5	74,2	73,9	75,6	73,6	1,1	72,8	75,3	72,3	71,2	71,0	69,7	1,9	
1000	74,2	73,1	74,2	74,0	77,0	72,1	1,6	74,1	77,0	74,0	75,5	75,0	74,1	1,2	
1250	79,2	79,6	77,1	76,5	81,7	75,5	2,3	79,3	80,6	82,6	82,6	84,8	83,9	2,0	
1600	79,3	78,6	76,7	79,4	82,9	79,1	2,0	79,8	84,4	83,6	83,4	80,9	80,9	1,9	
2000	83,3	84,4	81,7	81,2	87,4	81,6	2,4	80,7	80,9	79,2	80,1	79,6	77,6	1,2	
2500	86,9	87,7	85,9	84,2	89,5	83,2	2,3	82,3	84,3	85,5	85,5	85,0	84,1	1,2	
3150	85,1	84,9	83,7	86,5	84,5	85,4	0,9	87,1	91,6	90,9	91,7	91,8	91,4	1,8	
4000	85,6	85,9	84,9	85,1	86,3	85,4	0,5	84,7	86,2	86,9	86,8	88,7	89,4	1,7	
5000	82,2	81,8	81,5	81,7	83,0	80,8	0,7	82,0	81,6	82,0	81,7	82,8	83,7	0,8	
6300	82,2	81,9	82,1	81,3	83,4	81,0	0,8	79,7	80,4	80,7	80,7	81,1	82,4	0,9	
8000	83,5	83,2	82,7	81,7	84,2	83,2	0,8	80,8	82,3	82,9	83,2	84,1	85,0	1,5	
10000	84,8	84,4	83,7	82,9	85,0	84,7	0,8	82,0	85,4	85,1	84,1	86,9	86,1	1,7	

Tabela A8: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 2cm [dB] – P3 e P4

Ponto P3								Ponto P4							
	1	2	3	4	5	6	Desvio		1	2	3	4	5	6	Desvio
<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão
100	63,0	66,0	68,1	68,8	69,1	64,7	2,5	67,3	69,1	67,7	62,5	69,8	63,2	3,1	
125	75,6	65,7	71,4	73,0	72,8	75,2	3,6	66,4	64,4	72,8	73,7	75,8	79,0	5,6	
160	63,1	51,1	53,5	49,9	53,9	50,6	4,9	56,8	55,3	53,7	57,6	57,7	57,0	1,6	
200	66,1	76,5	71,2	67,4	71,7	68,0	3,8	79,6	78,3	69,7	69,0	65,6	68,8	5,7	
250	78,7	75,9	73,7	72,8	74,7	80,4	3,0	76,7	73,5	76,0	72,0	65,4	80,5	5,1	
315	65,6	73,2	71,9	74,7	75,9	72,3	3,6	73,8	71,9	70,3	70,7	62,7	68,8	3,8	
400	71,1	68,0	68,4	70,7	70,3	71,4	1,4	69,5	68,8	71,8	67,5	64,5	71,5	2,7	
500	73,1	72,5	72,2	73,8	75,2	68,8	2,1	74,6	71,9	73,8	72,9	72,9	73,8	0,9	
630	73,5	72,1	77,5	79,4	79,4	74,8	3,1	73,1	70,1	77,7	75,3	74,8	73,9	2,5	
800	70,2	67,8	73,7	72,3	72,0	71,5	2,0	75,9	75,2	75,1	75,1	72,9	71,0	1,9	
1000	76,1	74,0	76,3	73,6	74,0	76,1	1,3	75,8	74,8	78,8	78,0	77,0	77,6	1,5	
1250	77,1	76,9	80,0	74,4	73,3	74,0	2,5	81,2	79,3	78,9	81,8	76,9	84,3	2,6	
1600	85,1	80,7	77,9	73,9	72,3	74,0	4,9	80,8	79,8	80,0	81,3	76,9	84,0	2,3	
2000	86,9	78,1	78,1	77,2	73,2	75,4	4,7	83,3	84,7	82,6	86,2	84,0	82,6	1,4	
2500	80,6	77,8	78,8	74,8	73,9	74,0	2,8	85,9	83,5	84,9	87,9	85,8	86,7	1,5	
3150	78,8	77,2	78,2	75,0	74,0	74,6	2,0	85,6	85,0	86,3	88,1	85,5	87,6	1,2	
4000	78,5	80,8	81,8	77,6	77,1	77,5	2,0	87,2	88,2	88,0	89,3	86,6	86,7	1,0	
5000	76,9	76,7	82,7	77,8	78,0	75,3	2,5	86,2	86,9	87,9	86,4	86,7	86,8	0,6	
6300	78,0	75,1	79,6	74,4	74,0	74,3	2,3	85,5	84,6	85,4	85,7	85,0	85,4	0,4	
8000	75,6	74,5	78,9	74,6	74,0	74,6	1,8	85,1	85,6	85,0	86,2	84,4	85,2	0,6	
10000	76,7	75,6	80,1	75,7	75,1	75,7	1,8	86,4	86,9	86,3	87,5	85,7	86,5	0,6	

Tabela A9: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 2cm [dB] – P5 e P6

Ponto P5								Ponto P6							
	1	2	3	4	5	6	Desvio		1	2	3	4	5	6	Desvio
<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão
100	58,6	59,2	61,4	59,5	60,2	65,8	2,6	58,3	60,4	56,5	54,0	58,5	61,2	2,6	
125	57,0	67,0	60,2	51,7	64,0	65,1	5,7	53,9	52,0	52,8	52,2	56,5	56,5	2,1	
160	48,7	47,5	48,6	50,5	56,1	50,6	3,1	57,7	56,7	62,7	65,2	66,8	56,9	4,5	
200	57,0	63,5	63,3	58,9	60,8	57,7	2,8	62,3	66,7	62,3	62,0	62,9	67,9	2,6	
250	55,4	61,4	61,0	59,4	64,0	60,8	2,8	57,2	64,7	62,1	68,6	60,6	57,7	4,3	
315	60,4	65,2	58,4	61,8	61,5	59,2	2,4	65,0	64,3	61,6	59,2	59,8	66,7	3,0	
400	69,3	68,1	69,7	75,9	71,0	67,6	3,0	72,0	69,4	68,2	68,2	66,0	75,3	3,3	
500	66,6	62,7	66,0	65,8	70,2	71,8	3,3	63,6	64,1	69,2	68,6	69,8	65,3	2,7	
630	74,8	74,1	79,3	76,2	75,1	74,5	1,9	67,6	66,1	63,9	65,6	65,8	70,4	2,2	
800	72,2	72,0	73,8	75,8	74,4	78,5	2,4	75,5	74,6	77,5	76,4	72,7	69,3	3,0	
1000	76,1	75,3	78,2	78,8	76,2	72,9	2,1	69,3	69,9	73,6	69,0	67,7	73,3	2,4	
1250	79,1	74,6	76,9	77,2	75,2	76,0	1,6	77,1	73,9	74,3	73,1	72,6	74,0	1,6	
1600	80,2	81,6	82,2	80,7	82,3	79,3	1,2	72,0	73,9	75,1	77,0	71,8	76,8	2,3	
2000	81,9	78,9	82,2	82,0	82,1	81,8	1,3	75,3	75,7	76,4	79,7	73,3	82,4	3,3	
2500	81,3	79,8	82,2	80,8	79,3	77,3	1,7	74,1	74,2	76,7	77,6	73,6	76,2	1,6	
3150	82,7	79,3	81,3	79,9	81,3	80,6	1,2	74,4	73,9	75,2	77,2	77,9	75,6	1,6	
4000	86,7	81,8	84,9	83,5	81,7	82,8	1,9	74,3	74,4	75,8	76,4	76,6	75,9	1,0	
5000	85,5	81,2	84,2	80,7	79,4	78,1	2,8	70,1	72,4	71,3	71,1	70,6	74,1	1,4	
6300	82,6	78,9	80,5	78,2	77,9	76,7	2,1	69,7	71,5	71,1	71,1	69,9	70,8	0,7	
8000	82,4	79,4	83,9	81,2	78,6	79,2	2,1	70,4	71,4	70,1	69,8	69,0	71,6	1,0	
10000	83,6	80,7	85,2	82,6	79,5	80,6	2,1	71,5	72,6	71,2	71,0	69,8	72,9	1,1	

Tabela A10: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 2cm [dB] – P7 e P8

Ponto P7								Ponto P8							
	1	2	3	4	5	6	Desvio		1	2	3	4	5	6	Desvio
<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão
100	72,3	68,2	65,3	60,2	64,4	64,2	4,1	64,6	64,5	66,2	67,1	63,6	57,4		3,4
125	61,1	52,5	55,1	52,8	52,2	55,4	3,4	56,1	56,7	58,4	63,0	60,3	53,7		3,3
160	51,9	52,9	57,5	64,8	59,0	55,4	4,7	56,8	60,8	55,5	62,7	65,9	60,7		3,8
200	60,0	54,3	60,5	61,9	58,0	56,6	2,8	67,0	61,1	64,1	69,0	62,9	62,1		3,0
250	57,1	54,7	55,8	63,7	57,5	64,1	4,1	62,3	59,9	59,5	62,4	66,6	57,6		3,1
315	59,7	59,1	58,7	55,6	55,9	55,0	2,1	63,2	59,4	60,4	59,7	62,6	57,8		2,0
400	64,0	62,3	60,5	55,2	55,8	54,8	4,0	70,3	58,8	64,8	66,9	68,0	68,1		4,0
500	64,8	66,5	62,6	70,0	59,3	62,9	3,7	69,2	67,4	68,9	69,7	68,4	66,1		1,3
630	72,8	73,3	67,3	69,7	69,2	66,4	2,8	71,5	64,7	77,4	68,8	66,6	66,9		4,6
800	80,0	80,1	76,2	77,7	75,6	76,1	2,0	77,7	74,6	73,6	73,5	71,0	74,7		2,2
1000	82,8	83,5	84,0	81,2	79,3	81,1	1,8	74,3	74,2	74,6	77,6	79,6	81,4		3,1
1250	81,3	78,2	76,6	74,8	73,5	74,1	3,0	76,6	79,6	74,4	76,3	73,7	77,8		2,2
1600	82,6	79,4	75,3	77,1	77,4	80,7	2,7	81,5	79,7	79,4	83,9	80,4	84,8		2,3
2000	82,2	77,5	77,0	78,8	76,3	79,8	2,2	83,9	86,7	83,5	84,7	83,0	86,3		1,5
2500	82,6	78,1	77,1	78,7	78,3	79,7	1,9	82,2	81,1	81,4	83,9	82,2	83,7		1,2
3150	83,0	82,3	80,2	81,6	78,8	80,8	1,5	77,1	78,7	77,8	81,4	81,3	79,4		1,8
4000	83,7	82,2	80,8	81,1	80,0	80,1	1,4	80,2	80,2	80,4	84,0	82,6	85,3		2,2
5000	83,1	78,7	77,9	77,3	76,6	75,5	2,6	77,6	78,3	77,8	80,1	76,4	80,3		1,5
6300	79,5	75,6	74,5	75,8	75,3	75,1	1,8	76,1	75,5	75,6	77,7	77,3	78,9		1,3
8000	79,2	78,0	76,1	77,4	75,7	77,3	1,3	78,1	76,6	77,6	79,2	76,5	79,2		1,2
10000	80,4	79,2	77,4	78,6	77,0	78,2	1,2	79,3	77,7	78,9	80,4	77,8	80,1		1,1

Tabela A11: Medições de Ruído de Corte da Carga Padrão – 2cm [dB] – P9 e P10

Ponto P9								Ponto P10							
	1	2	3	4	5	6	Desvio		1	2	3	4	5	6	Desvio
<i>f</i> (Hz)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	<i>L_p</i> (dB)	Padrão
100	57,9	61,4	67,4	69,3	66,3	64,0	4,2	70,1	69,2	69,1	78,6	71,8	70,9	3,6	
125	73,0	67,4	76,4	77,6	77,0	75,7	3,8	77,1	75,2	76,1	79,7	75,4	79,3	2,0	
160	55,2	57,7	55,5	60,3	59,4	58,9	2,1	59,3	56,7	61,9	62,4	57,1	63,3	2,8	
200	63,4	62,8	62,1	66,6	65,4	70,5	3,1	75,8	73,9	70,4	76,0	69,5	74,2	2,7	
250	74,9	69,1	69,5	75,3	77,1	72,8	3,3	84,7	82,1	74,5	78,0	74,1	75,8	4,3	
315	65,9	68,6	67,7	73,1	75,4	77,4	4,6	87,1	88,1	85,2	84,5	83,6	89,9	2,4	
400	69,2	67,9	67,7	74,1	71,7	76,4	3,5	85,7	83,9	79,6	82,7	75,9	88,6	4,5	
500	77,0	80,3	79,7	86,3	88,2	83,3	4,3	91,6	88,2	81,7	82,3	81,0	86,0	4,2	
630	78,4	76,6	79,4	77,4	76,5	81,2	1,8	89,1	93,9	87,6	88,6	85,2	86,8	3,0	
800	78,1	73,7	74,5	78,6	74,9	79,6	2,5	99,0	99,5	92,5	94,0	92,5	89,5	4,0	
1000	77,7	76,7	77,3	79,4	76,0	76,4	1,2	92,5	93,2	87,1	91,6	90,5	87,8	2,5	
1250	80,4	77,0	74,9	78,9	80,5	76,2	2,3	88,3	85,3	85,1	86,5	84,6	85,8	1,3	
1600	78,3	78,6	77,1	82,6	77,2	76,0	2,3	87,6	83,4	82,5	85,2	82,4	82,5	2,1	
2000	77,2	77,2	76,2	81,7	78,7	77,4	2,0	88,1	85,9	83,8	87,1	84,5	84,3	1,7	
2500	77,2	76,2	77,7	80,6	76,4	77,3	1,6	89,9	90,3	89,4	93,1	89,8	89,5	1,4	
3150	79,1	78,4	79,7	83,2	78,7	78,7	1,8	89,0	88,3	88,8	92,2	91,1	89,5	1,5	
4000	79,5	79,1	80,7	81,0	79,4	78,9	0,9	90,4	90,0	88,8	92,1	91,6	89,8	1,2	
5000	76,5	75,8	76,4	76,9	75,3	75,0	0,7	89,6	87,7	89,6	89,3	88,8	87,4	1,0	
6300	74,5	74,7	75,8	74,9	73,2	72,1	1,3	86,8	86,1	87,1	90,0	88,2	87,9	1,4	
8000	74,8	74,2	74,7	75,5	73,2	72,4	1,1	85,5	85,4	86,4	89,2	86,7	86,1	1,4	
10000	75,9	75,5	75,9	76,8	74,0	73,7	1,2	86,8	86,9	87,7	90,7	87,7	87,6	1,4	

Tabela A12: Medições de Ruído da Serra Sem Carga [dB] – P1 a P9

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Desvio
<i>f(Hz)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	Padrão
100	46,9	55,2	55,8	47,3	43,5	44,9	47,5	45	42,8	4,7
125	45,8	45,5	50,7	46,9	40,8	42,9	44,1	43,2	43,2	2,9
160	44,3	45,7	46,9	45,2	41,1	41,3	43,4	40,5	42	2,3
200	44,2	45,8	54,2	49,2	48	44,3	42,4	47,5	53,1	4,0
250	47,8	49,1	45,5	46,7	41,9	43,9	41	41,1	47	3,0
315	54,8	52,3	50,4	53,6	45,5	45	44,1	45,5	51,2	4,1
400	58,9	57,5	54	56,8	52	49	46,9	52,4	54,4	3,9
500	62,2	65,5	58,6	60,9	61,2	53,9	54,4	60,1	66,2	4,3
630	67,1	58,2	54,8	63,9	56,3	55,4	57,3	59,1	66,5	4,8
800	63,2	62	59,6	60,1	63,2	58,2	61	64,2	71,2	3,8
1000	62,6	66,4	67	64,3	66,1	66	67,3	66,9	68,7	1,8
1250	67,9	73,6	67	69,7	67	64,6	66,4	68,7	72,2	2,9
1600	73	73,2	70,5	76,1	67,9	68,4	68,2	67,8	71,9	3,0
2000	80	74,4	72,6	81,2	71	71,4	72,5	74,7	75,1	3,6
2500	83	78,3	77	84,2	73,9	76,1	75,4	79,1	78,8	3,4
3150	82	80,5	74,7	80,9	78,8	74,9	74,7	78,4	81,4	3,0
4000	83	76,8	72,4	79,4	75,3	71,7	72	76,4	78,1	3,8
5000	80,2	76	69,1	79,6	72,7	69,4	68,5	74	76,6	4,4
6300	80,3	78,5	68,9	80,3	72,8	68,9	68,1	72,8	76,9	5,0
8000	81,2	76,1	70,8	79,3	71,4	68,4	68,5	72,6	76,8	4,6
10000	82,0	76,9	71,5	80,1	72,1	69,1	69,2	73,3	77,6	4,7

Tabela A13: Medições de Ruído de Corte da Ardósia [dB] – P1 a P9

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Desvio
<i>f(Hz)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	Padrão
100	54,9	58,0	50,7	52,4	52,8	48,5	48,1	47,2	51,1	3,5
125	66,5	63,6	56,6	63,0	66,2	56,8	56,4	59,5	56,6	4,3
160	78,9	79,6	71,5	66,0	75,7	68,0	63,1	68,4	74,7	5,8
200	60,3	63,1	56,7	56,3	53,4	49,2	47,6	51,3	54,3	5,0
250	58,7	62,2	59,1	58,8	54,4	55,6	47,8	49,4	51,4	4,9
315	65,2	59,7	61,1	60,9	55,7	58,4	52,3	51,5	60,6	4,4
400	66,1	61,3	60,7	61,5	58,8	58,4	55,5	59,4	61,8	2,9
500	64,1	64,7	63,7	65,9	61,4	60,3	62,7	62,5	64,7	1,8
630	69,4	68,5	65,6	67,6	61,3	60,9	64,5	66,3	71,0	3,5
800	70,9	75,5	67,3	72,2	69,9	67,2	69,8	69,4	73,4	2,7
1000	77,3	77,5	76,8	79,1	73,3	67,8	77,1	70,8	79,3	4,0
1250	78,8	83,3	77,8	83,4	77,9	73,4	83,9	79,9	80,6	3,4
1600	74,8	82,7	71,9	81,2	78,7	74,7	75,3	78,1	75,2	3,5
2000	80,9	85,6	77,0	82,3	80,7	76,2	76,4	80,8	78,2	3,1
2500	81,8	87,3	77,4	85,8	79,2	76,5	80,0	80,5	80,4	3,6
3150	85,2	89,8	77,9	86,9	84,0	81,6	81,8	83,8	81,0	3,5
4000	87,6	92,0	84,2	90,7	84,7	83,0	83,2	84,7	83,8	3,3
5000	93,8	96,2	90,1	94,8	89,7	83,8	86,9	88,3	89,1	4,0
6300	91,2	92,0	85,2	92,1	86,5	80,8	82,1	85,7	87,2	4,1
8000	90,3	91,8	85,0	89,0	84,2	78,6	81,6	83,4	85,6	4,2
10000	91,2	92,7	85,9	89,9	85,0	79,4	82,4	84,2	86,5	4,3

Tabela A14: Medições de Ruído de Placa Cerâmica [dB] – P1 a P9

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Desvio
<i>f(Hz)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	<i>Lp(dB)</i>	Padrão
100	49,5	52,0	52,5	54,5	54,0	45,2	51,1	52,4	51,3	2,8
125	58,8	62,7	58,7	63,7	65,3	55,3	55,5	54,7	56,2	4,0
160	80,0	75,5	73,8	74,4	76,3	63,5	64,1	72,0	70,1	5,5
200	61,2	58,2	57,8	54,8	52,4	45,1	49,1	56,1	57,2	5,0
250	58,6	54,2	57,0	60,9	52,4	46,6	45,7	50,4	52,5	5,2
315	62,2	61,9	56,0	69,3	59,7	49,7	50,4	51,3	61,3	6,6
400	63,7	61,1	62,1	62,9	60,4	56,5	55,5	57,8	65,1	3,3
500	63,3	62,5	62,6	63,6	58,6	55,0	59,6	61,4	66,7	3,4
630	68,1	66,7	65,7	66,8	60,4	53,5	59,9	61,5	69,6	5,1
800	70,1	70,4	66,7	69,5	68,3	61,8	67,6	69,3	75,1	3,5
1000	73,5	72,1	68,9	79,3	69,3	62,0	74,8	68,1	74,2	5,0
1250	78,7	75,9	73,7	81,0	72,5	65,6	73,0	72,9	76,8	4,4
1600	84,0	74,9	72,5	77,0	74,8	67,5	75,0	77,1	78,7	4,5
2000	77,1	82,1	75,8	79,7	78,5	75,4	75,0	79,5	77,7	2,3
2500	82,0	83,6	77,5	83,3	80,2	74,3	78,4	80,7	79,9	3,0
3150	86,4	87,9	78,3	87,4	82,2	82,2	79,9	79,5	81,2	3,6
4000	90,7	91,8	82,2	90,1	84,2	78,2	81,4	81,9	84,0	4,8
5000	93,1	94,7	86,6	95,7	88,3	81,8	83,8	84,5	86,5	5,0
6300	90,0	90,1	81,7	91,2	86,5	79,4	81,8	85,0	84,1	4,2
8000	88,4	89,8	83,1	89,1	83,9	77,3	79,9	83,5	84,4	4,2
10000	89,3	90,7	83,9	90,0	84,7	78,1	80,7	84,3	85,2	4,2

REFERÊNCIAS

ANFACER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO. **Números do setor.** São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.anfacer.com.br>>. Acesso em: 26 dez. 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.502:1995 – Rochas e solos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

_____. **ABNT NBR 7170:1983 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.** Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

_____. **ABNT NBR 10.151:2000 - Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. **ABNT NBR 10.152:1987 - Níveis de ruído para conforto acústico.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **ABNT NBR 11.173:1990 - Projeto e execução de argamassa armada: Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

_____. **ABNT NBR 13.818:1997 - Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. **ABNT NBR 13858:1997 - Telhas de concreto.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. **ABNT NBR 14715:2010 - Chapas de gesso acartonado.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. **ABNT NBR 15012:2003 - Rochas para revestimentos de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **ABNT NBR 15270:2005 - Componentes cerâmicos: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **ABNT NBR 15310:2009 – Componentes Cerâmicos – Telhas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **ABNT NBR 15498:2007 – Placa plana cimentícia sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **ABNT NBR 15.575:2013 - Níveis de ruído para conforto acústico.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **ABNT NBR 15.846:2010 - Rochas para revestimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **ABNT NBR 15.910:2010 - Ferramentas elétricas portáteis operadas a motor — Segurança: Requisitos particulares para serras-mármore.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BALLESTEROS, M. J. et al. Noise emission evolution on construction sites. Measurement for controlling and assessing its impact on the people and on the environment. **Revista Building and Environment**, v. 45, Issue 3, p. 711-717, March 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/article/pii/S0360132309002054>>. Acesso em: 25 mar. 2011.

BARBA, A. et al. **Materias primas para la fabricación de soporte de baldosas cerámicas.** Castellón, España: Instituto de Tecnologia Cerámica, 1997.

BARBOSA, A. A. R. **Segurança do Trabalho.** Curitiba/PR: Livro Técnico, 2011.

BARBOSA, A. A. R.; BERTOLI, S. R. Ruído de serra-mármore operando em placas cerâmicas. In: XXIV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC 2012. **Anais do XXIV ENCONTRO DA SOBRAC.** Belém/PA, 29 de maio a 1º de junho, 2012a.

_____. Noise generated by portable masonry saws operating materials in constructions. In: 41ST. INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING - INTERNOISE. **Annals - 41ST INTERNOISE.** New York City, 19 a 22 de agosto, 2012b.

BAUER, L. A. F.. **Materiais de Construção.** 5.ed. Rio de Janeiro: ABDR Afiliada, 1994. v.1.

BERANEK, L. L. **Noise and Vibration Control.** Nova York: McGraw-Hill Book Company, 1971.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering principles and Applications.** New York: John Wiley & Sons Inc, 1992.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do Ruído.** São Paulo: Blucher, 2006.

BOSCH FERRAMENTAS DO BRASIL. **Catálogo BOSCH de ferramentas elétricas.** Disponível em: <<http://www.boschferramentas.com.br>>. Acesso em: 29 abr. 2014.

BRASIL. **Normas Regulamentadoras**. Portaria do Ministério de Trabalho. MTB Nº 3.214 de 8/06/1978. Revisão de 27/08/2008. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/default.asp>. Acesso em: 25 mar. 2011.

_____. Norma de Higiene Ocupacional (NHO-01). **Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído - Procedimento Técnico**. São Paulo: Ministério do Trabalho e Emprego, FUNDACENTRO, 2001.

_____. **Informe de previdência social**. Brasília, DF: Ministério da Previdência Social, Secretaria de Políticas de Previdência Social. 2012. v.24. n.7.

_____. **Portaria INMETRO n.º 430, de 16 de agosto de 2012**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Brasília/DF: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, 2012.

_____. **Portaria INMETRO n.º 388, de 06 de agosto de 2013**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Brasília/DF: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, 2013.

_____. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Programa Nacional de educação e controle da poluição sonora – Silêncio. Resolução CONAMA n. 20 de 07/12/1994**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/silencio/home.htm>>. Acesso em: 21 ago. 2012.

BRINK, M. Parameters of well-being and subjective health and their relationship with residential traffic noise exposure — A representative evaluation in Switzerland. **Environment International**, v. 37, Issue 4, p. 723-733, 2011.

CALLAHAN, G. **Noise levels of common construction power tools**. Florida, USA: Thesis Presented for Degree of Master of Science in Building Construction, 2004.

COHEN, M. **Materials science and engineering: Its Evolution, Practice and Prospects**. Amsterdam: Elsevier, 1979.

CHIODI FILHO, C. **Consumo interno, perfil de utilização e estrutura de comercialização das rochas ornamentais e de revestimento no Brasil**. São Paulo: – CETEM/ABIROCHAS, 2011.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. P. **Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos**. Projeto Bula. São Paulo: Abirochas, 2009.

CONSTANTINO, A. O.; ROSA, S. E. S.; CORRÊA, A. R. Panorama do setor de revestimentos cerâmicos. **Revista Revestimentos Cerâmicos ANFACER**, Edição Especial, 2006.

COSTA E SILVA, A. J. **Descolamentos nos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade de Recife**. 2001. 182fls. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

EMMANOUILIDIS, C.; LIYANAGE, J. P.; JANTUNEN, E. Mobile solutions for engineering asset and maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 15, Issue 1, p.92-105, 2009.

ERSOY, A.; ATICI, U. Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks. *Diamond Related Materials*. **Science Direct**, n.13. p.22-37, 2004.

FERNANDES, D. M. P. Introdução ao Processo Cerâmico. **Revista da Indústria de Cerâmica**. Curso de Formação - SERT/PR, v.11, 25 p., 1999.

FERNANDES, J. C. **Acústica e Ruídos**. Bauru,SP: Editora Unesp, 2001.

FGV - FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Instituto Brasileiro de Economia. **Revista Conjuntura da Construção**. Ano IX, n.4, dez. 2011.

GAETA, A. S.; BERTOLI, S. R. Absorção Acústica de Materiais Porosos. In: XIX CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, SERVIÇO DE APOIO AO ESTUDANTE - SAE. **Anais do XIX congresso interno de iniciação científica do Serviço de apoio ao estudante da UNICAMP**. Campinas, SP: UNICAMP, 2011.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2. ed. Florianópolis, SC: NR, 2000.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

HOUAISS. **Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2010. v. 1.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Avaliação de dados de medição: Guia para expressão de incerteza de medição (GUM)**. Duque de Caxias/RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. Traduzido do original (inglês): Guide to the expression of uncertainty in measurement – GUM.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. **Hand-Held Motor-Operated Electric Tools – Safety General Requirements**. 4.ed. Genebra: IEC, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3741 - **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Precision method for reverberations rooms**. Switzerland: ISO, 2010.

_____. ISO 3743 - **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Engineering method for small, movable sources in reverberant fields – Part 1: Comparison method for hard-walled test rooms**. Switzerland: ISO, 2010.

_____. ISO 3744 - **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure**: Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. Switzerland: ISO, 2010.

_____. ISO 3745 - **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure**: Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic room. Switzerland: ISO, 2010.

_____. ISO 3746 - **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure**: Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane. Switzerland: ISO, 2010.

_____. ISO 3747 - **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure**: Engineering/survey methods for use in situ in a reverberant environment. Switzerland: ISO, 2010.

IRWIN INDUSTRIAL TOOLS FERRAMENTAS DO BRASIL. **Catálogo de Discos Diamantados**. São Paulo, 2011.

ISOLDI, R.; SATTler, M. A.; GUTIERREZ, E. Tecnologias inovadoras visando a sustentabilidade: um estudo sobre inovação, técnica, tecnologia e sustentabilidade em arquitetura e construção. **Revista Inovação e Sustentabilidade** - UFRGS, v.7 n.2, p.19, 2009.

JOMAFI FERRAMENTAS LTDA. **Catálogo de Produtos – Ferramentas Elétricas**. Disponível em: <<http://www.jomafiferramentas.com.br>>. Acesso em: 2 abr. 2012.

KREH, R. T. **Masonry Skills**. 5.ed. Nova York, EUA: Thomson Delmar Learning, 2004.

LASZLO, H. E. et al. Annoyance and other reaction measures to changes in noise exposure. **Review Science of The Total Environment**, v.435/436, p.551-562, 2012.

LIBÓRIO, J. B. L. **Estudo patológico de construções de argamassa armada existentes no Brasil**. 1989. 322fls. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – EESC/USP, São Carlos, 1989.

MAIA, P. A. **O ruído nas obras da construção civil e o risco da surdez ocupacional**. 1999. 164fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

MILANELI, E. et al. **Manual Prático de Saúde e Segurança do Trabalho**. São Caetano do Sul, SP: Yendis, 2009.

NEITZEL, R. **An assessment of occupational exposures in four construction trades**. 1998. 176fls. Thesis (Master of Science) - University of Washington, Washington, 1998.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. **Occupational noise exposure, 1998 - revised criteria 2011**. Ohio: United State Department of Health and Human Services. Disponível em: <www.cdc.gov/niosh/docs/98-126/pdfs/98-126.pdf>. Acesso em: 17 out. 2013.

NORTON ABRASIVOS BRASIL /SAINT GOBAIN. Disponível em: <<http://www.norton-abrasivos.com.br>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

OLIVEIRA, A. P. N. Grês porcelanato: Aspectos mercadológicos e tecnológicos. **Revista Cerâmica Industrial**, n.3, p.25, maio 1998.

OLIVEIRA, J. P. B. **Otimização de processos construtivos através da inserção de tecnologias na indústria da construção civil**. Repositório ROCA. Curitiba: Universidade Federal Tecnológica do Paraná, 2013.

OHRING, M. **Engineering Materials Science**. Londres, Reino Unido: Academic Press – A division of Harcourt Brace & Company, 1995.

PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1997.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2.ed. Belo Horizonte/MG: UFMG, 2002.

SALIBA, T. M. **Manual prático de avaliação e controle do ruído: PPRA**. 3. ed. São Paulo: LTR, 2004.

SALGADO, J. C. P. et al. **Mestre de Obras: Gestão Básica para a Construção Civil**. São Paulo: Érica, 2011.

SANTOS, C. **Investigação dos Métodos de Determinação de Potência Sonora Visando Programa de Etiquetagem de Furadeiras Elétricas de Uso Doméstico**. 2004. 162fls. Dissertação de Mestrado. FEC/Unicamp. Campinas/SP, 2004.

_____. **Influência do espalhamento acústico na percepção auditiva de espaços: Métodos e desenvolvimentos**. 2011. 179fls. Tese (Doutorado em Eng. Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2011.

SCHULTZ, T. J. Sound power measurements in a reverberation room. **Journal of Sound and Vibration**, v.16, p. 119-129, 1971.

SEIXAS, N. S. et al. 10-Year prospective study of noise exposure and hearing damage among construction workers. **Occupational & Environmental Medicine Journal**, v.69, p.643-650, 2012.

SELLAPPAN, E. Noise Effects of Generator Sets at Construction Sites. **International Journal of Occupational Safety and Health**, v.3, n. 2, p.11, 2013.

SINDUSCON/FGV PROJETOS. **48ª Sondagem Nacional da Indústria da Construção Civil**. São Paulo, agosto/2011. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br>>. Acesso em: 26 dez. 2011.

SJÖSTRÖM, M. et al. **A Job-Exposure Matrix for Occupational Noise**: Development and Validation. 2013. Disponível em: <<http://oxfordjournals.org/2013/02/01/met001>>. Acesso em: 17 mar. 2014.

SOSSAI, F. J. M. **Caracterização de rochas para uso na construção civil**. 2006. 101fls. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SOUZA SANTOS, P. **Tecnologia de Argilas**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.

STEPHENSON, M. R. National Research Agenda for the Prevention of Occupational Hearing Loss. **Semin Hear Journal**, New York: Thieme Medical Publishers, v.11, n.7, p.27, 2013.

SUTER, A. H. Construction noise: exposure, effects and the potential for remediation: a review and analysis. **AIHA Journal**, v. 63, p. 768-789. 2002.

VARGAS, T.; MOTOKI, A.; NEVES, J. L. P. Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção. **Revista de Geociências**, v.2, n.2, p.119-132, 2001.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Resumé d'Orientation des directives de ROMS Relatives au Bruit dans l'Environmental**. Disponível em: <<http://www.who.int>>. Acesso em: abr. 2011

Autorizo a cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização do autor.

Campinas, 15 de Julho de 2014.

Adriano Aurélio Ribeiro Barbosa

adriano@ifsp.edu.br

*E o pó volte à terra, como era,
e o espírito volte a Deus, que o deu.
Vaidade de vaidades, diz o pregador,
Tudo é vaidade.*

Eclesiastes, 12:7-8