

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO ISOLAMENTO
DO RUÍDO DE IMPACTO NAS FREQUÊNCIAS
DE 80 A 400 HZ**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ana Maria Schuch Araújo

**Santa Maria, RS, Brasil.
2013**

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO ISOLAMENTO DO RUÍDO DE IMPACTO NAS FREQUÊNCIAS DE 80 A 400 HZ

Ana Maria Schuch Araújo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Stephan Paul

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Vergara

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Schuch Araújo, Ana Maria
AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO ISOLAMENTO DO RUÍDO DE
IMPACTO NAS FREQUÊNCIAS DE 80 A 400 HZ / Ana Maria
Schuch Araújo.-2013.
142 p.; 30cm

Orientador: Stephan Paul
Coorientador: Felipe Vergara
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2013

1. Diferentes fontes geradoras de ruído de impacto 2.
Baixas frequências 3. Uso da média nos cálculos de nível
de pressão sonora I. Paul, Stephan II. Vergara, Felipe
III. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO ISOLAMENTO DO RUÍDO DE
IMPACTO NAS FREQUÊNCIAS DE 80 A 400 HZ**

elaborada por
Ana Maria Schuch Araújo

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA

Stephan Paul, Dr.
(Presidente/Orientador)

Eric Brandão Carneiro, Dr. (UFSM)

Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri, Dr. (UTFPR)

Santa Maria, 30 de julho de 2013.

Dedico este trabalho a minha mãe,
Maria Angélica Schuch e ao Sr.
Wilson Monteiro dos Santos por
embarcarem comigo neste sonho,
para mostrar que eu tinha
condições, mesmo quando eu já
duvidava...

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele nada seria possível.

A Maria Lucy Schuch Brunet, Renato Brunet, Olga Maria Schuch Reimann e Jorge Alberto Reimann, vocês sabem o quanto foram, são e sempre serão importantes não só para o meu mestrado, mas para minha vida.

Ao Professor Felipe Vergara por me aceitar como sua orientanda quando ingressei no mestrado e ao Professor Stephan Paul por acreditar no meu trabalho dando continuidade na orientação.

A Karina Brunet e Roque Kreutz pelas correções ortográficas.

Ao José Luiz Guerra, famoso Seu Guerra, mas que é da Paz, sua ajuda foi fundamental na realização dos meus experimentos.

Aos estagiários Gabriel Boeira, Vinicius Tadeu e Dyhonatan W. Russi que se dedicaram enquanto as suas aulas permitiram.

Ao Eduardo Flores Schoenau, Lucas Lobato, Professor Eric Brandão, Ricardo Scremin Rizatti, Juraci Jose Bortoluzzi, Olmiro Cezimbra de Souza Neto, Jeferson da Rosa, Sergio Aguirre por ajudar na trocar dos pisos, sem os quais eu não conseguiria executá-los sozinha.

Ao Eder Luiz Filipetto (verdadeiro professor Pardal) por ajudar nos experimentos, e ainda na criação da estrutura que ajudou nas medições com a pera.

Aos Professores Leonardo F. Lopes, Marco A. S. Pinheiro e William D'Andrea Fonseca, e aos colegas Talita Pozzer, Jéssica Lins, Gil Félix Greco, Ricardo Brum, Graziella Ravadelli, Andriele Panoso, Bernardo Murta e demais participantes dos seminários do Professor Stephan pelas considerações a respeito do meu trabalho, nossas conversas informais, muitas dúvidas sanaram.

A Tania Mara de Almeida Guerra pela ajuda madrugada adentro.

Ao Professor Ivanor Müller pela ajuda na análise estatística.

A Sheila Comiran e a Gertrudes Zanatta pelas infinitas ajudas.

A Tacosola Borrachas Ltda. pelas amostras de EVA cedidas.

A Capes pela ajuda financeira, que foi muito importante.

A UFSM por suas instalações.

Aos familiares e amigos que tiveram que aguentar todos os sintomas do estresse.

Sem a ajuda de todos isto tudo não seria possível!

"Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo, só depende de nossa vontade e perseverança".

(Albert Einstein)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Universidade Federal de Santa Maria

AValiação DO ISOLAMENTO DO RuÍDO DE IMPACTO EM BAIXAS FREQUêNCIAS DE PISOS DE EDIFÍCIOS

AUTORA: ANA MARIA SCHUCH ARAÚJO

ORIENTADOR: STEPHAN PAUL

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de julho de 2013.

O objetivo do presente trabalho é avaliar o nível de pressão sonora gerado por diferentes tipos de fontes sonoras de impacto em edificações, nas frequências compreendidas entre 80 Hz e 400 Hz, utilizando diferentes combinações de piso e material resiliente nos pisos flutuantes. Embora existam normas e pesquisas - internacionais e nacional - os pesquisadores ainda não conseguiram minimizar o problema causado nas baixas frequências (crianças pulando, queda de objetos, arrastar de móveis). Dessa forma, considera-se a avaliação do ruído de impacto em baixas frequências um assunto interessante. Considerando que diferentes fontes de ruído de impacto geram diferentes espectros de excitação que, por sua vez, são mais ou menos representativos para a situação real, foram feitas medições no laboratório de acústica da UFSM com três fontes geradoras de ruído de impacto (duas normalizadas: a máquina de impacto normalizada e a máquina de impacto modificada e uma não normalizada: pera de 5 kg), três tipos de piso (laje em “osso”, cerâmico e laminado), dois materiais resilientes (lã de vidro e EVA) e quatro posições de fonte de ruído. As medições foram divididas em duas etapas – com 12 e 4 pontos de microfone. Todavia para questão de análise os dados foram separados em 12, 4 e 16 posições de microfone. Após a análise dos dados, concluiu-se que as fontes padronizadas apresentam resultados diferentes conforme o tipo de material resiliente utilizado, mas quanto a fonte não padronizada os resultados diferenciam-se pelo tipo de piso usado sem material resiliente. As medições, tanto com 12 como com 16 pontos de microfone, seguem a mesma configuração dos resultados, mas as com 4 possuem diferenças expressivas. Evidencia-se, então, que a possibilidade de dispensa do procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010 é verdadeira. Outra consideração importante é que os dados não tem uma distribuição normal, provando assim que não se deve usar a média nos cálculos, contrariando o que vem sendo feito até hoje, nos cálculos de L_n , de $L_{i,Fmax}$ e de $L_{n,global}$. Todavia ao analisar os dados calculados em função da mediana para fontes padronizadas, observou-se que os valores não possuem diferença expressiva em relação aos calculados em função da média, não sendo necessário para este tipo de excitação o uso da mediana. Por outro lado, para a fonte não padronizada os valores apresentaram valores persuasivos, o que mostra que para este tipo de excitação acústica é necessário o uso da mediana. Mas não há diferenças relevantes nos resultados obtidos com as medições com 12 e 16 posições de microfone calculadas em função da mediana.

Palavras-chave: Diferentes fontes geradoras de ruído de impacto. Baixas frequências. Uso da média nos cálculos.

ABSTRACT

Master's Thesis
Pos-Graduation Program in Civil and Environmental Engineering
Federal University of Santa Maria

EVALUATION OF IMPACT NOISE INSULATION OF BUILDING FLOORS IN LOW FREQUENCIES

AUTHOR: ANA MARIA SCHUCH ARAÚJO

ADVISOR: STEPHAN PAUL

Place and Date: Santa Maria, July 30, 2013.

The objective of this study is to evaluate the sound pressure level generated by different kinds of sound impact sources in buildings at frequencies between 80 - 400 Hz using different combinations of flooring and resilient material inside floating floors. Although there exists international and national standards and researches, the researchers have not been able to minimize the problem caused at low frequencies (kids jumping, falling objects, dragging furniture). Thus, it is the assessment of impact noise at low frequencies an interesting subject. Whereas different noise sources generate different impact excitation spectra which, in turn, are more or less representative of the real situation, measurements were made in the laboratory of acoustics UFSM with three sources of noise impact (two standard: tapping machine and modified tapping machine and non-standard: pear 5 kg) three types of floor (slab "bone", ceramic and laminated), two resilient materials (glass wool and EVA) and four sound source positions. The measurement task was divided into two stages with 12 or 4 microphone positions. However for question of analysis the data were divided into 12, 4 and 16 microphone positions. After data analysis it was concluded that the standard sources perform differently depending on the type of resilient material used, but the non-standard source's results differ by the type of flooring used without resilient material. The measurements with both 12 and 16 points microphone, following the same results configuration, but have significant differences with 4. It is evident, then, that the possibility of waiving the additional procedure of Annex A of ISO 10140-4:2010 is true. Another important consideration is that the data has a non-normal distribution, what proves that mean calculations should not be used, contrary to what being done to data in calculations of L_n , $L_{i,Fmax}$ and $L_{n,global}$. However when analyzing the data according to the calculated median for standard sources, it was observed that the values have no expressive difference compared to calculated on the average, not being necessary for this kind of excitation using the median. On the other hand, to the source non-standard values showed no persuasive value, which shows that for this type of acoustic excitation is necessary to use the median. But there relevant differences in the results obtained from the measurements with 12 and 16 microphone positions calculated according to the median.

Keywords: Different sources of impact. noise. Low frequencies. Use the mean in calculations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ruído de impacto provocado por uma pessoa caminhando.....	32
Figura 2 - Esquema de transmissão de ruído de impacto	32
Figura 3 - Três fontes de impacto sonoro. Da esquerda para a direita: a máquina de pneu japonesa, a bola de impacto padrão e a máquina de impacto padrão.	35
Figura 4 - Ruído de impacto gerado no piso por uma máquina de pneu (a) e por uma máquina padrão de impacto (b). As linhas as lajes testadas: (○) laje 1; (□) laje 2; (Δ) laje 3; (x) laje 4.	36
Figura 5 - Vias de transmissão sonora para o cálculo do isolamento acústico entre dois quartos: (a) um acima do outro e (b) um ao lado do outro.	41
Figura 6 - Exemplo de utilização de piso flutuante.	41
Figura 7 - Transmissão por pontes acústicas.	42
Figura 8 - Isolamento por amortecimento.	42
Figura 9 - Laje flutuante.	43
Figura 10 - Máquina de impacto normalizada.	44
Figura 11 - Máquina de impacto modificada (MIM): a) Método A: molas individuais fixadas aos martelos e b) Método B: camada elástica sob os martelos, colocada sob o piso de teste a ser testado. Somente os martelos foram mostrados.	45
Figura 12 - Máquina de pneu.....	46
Figura 13 - Bola de borracha padronizada.....	46
Figura 14 - Equipamento para bola de areia caindo.	47
Figura 15 - Ruído de impacto causado por uma criança pulando.	48
Figura 16 - Ruído de impacto causado por pessoas caminhando.	49
Figura 17 - Histogramas: a) Simétrico, b) Assimétrico Positivo e c) Assimétrico Negativo. ...	63
Figura 18 - Boxplot sem outliers.	64
Figura 19 - Boxplot com outliers.....	64
Figura 20 - Exemplo de distribuição para entendimento do teste Kolmogorov-Smirnov.....	65
Figura 21 - Exemplo de gráfico do teste Kolmogorov-Smirnov.	66
Figura 22 - Sala emissora.	69
Figura 23 - Sala receptora.....	69
Figura 24 - Vista das salas: emissora e receptora.....	69
Figura 25 - Máquina de Impacto Padrão: a) com a proteção e b) sem a proteção.	70
Figura 26 - Máquina de Impacto Modificada com feltro abaixo dos martelos.	70
Figura 27 - Pera de 5 kg.....	70
Figura 28 - Tipos de Piso: laje em “osso”.	71
Figura 29 - Tipos de Piso: contrapiso de concreto.	71
Figura 30 - Tipos de Piso: contrapiso de concreto com piso cerâmico.	71
Figura 31 - Tipos de Piso: contrapiso de concreto com piso laminado.	71
Figura 32 - Material resiliente – lã de vidro.	72
Figura 33 - Material resiliente – EVA.	72
Figura 34 - Laje em “osso”.....	73
Figura 35 - Contrapiso + Lã de Vidro.	73
Figura 36 - Contrapiso + EVA.	73
Figura 37 - Contrapiso Cerâmico + Laje em “osso”.	73
Figura 38 - Contrapiso Cerâmico+ Lã de Vidro.....	73
Figura 39 - Contrapiso Cerâmico + EVA.....	73
Figura 40 - Contrapiso Laminado + Laje em “osso”.....	73
Figura 41 - Contrapiso Laminado + Lã de Vidro.	73

Figura 42 - Contrapiso Laminado + EVA.	73
Figura 43 - Posição de fonte (PF1) e as 3 posições de microfone (PM1, PM2 e PM3).	75
Figura 44 - Posição de fonte (PF2) e as 3 posições de microfone (PM1, PM2 e PM3).	75
Figura 45 - Posições de fonte geradora de ruído de impacto.	77
Figura 46 - Posições de fonte geradora de ruído de impacto.	77
Figura 47 - Posições de microfone.	78
Figura 48 - Posições de microfone segundo Anexo A da ISO 10140-4.	78
Figura 49 - Exemplo de colocação da pera de 5 kg.	80
Figura 50 - Mecanismo de suporte da pera de 5 kg.	80
Figura 51 - Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com contrapiso de concreto: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone.	87
Figura 52: Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com contrapiso de concreto: 4 posições de microfone.	88
Figura 53 - Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com piso cerâmico: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone e c) 4 posições de microfone.	89
Figura 54 - Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com piso laminado: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone.	90
Figura 55: Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com piso laminado: 4 posições de microfone.	91
Figura 56 - Exemplos da comparação entre os NPS das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone.	93
Figura 57 - Exemplos da comparação entre os NPS das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone.	95
Figura 58 - Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração Fast: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone.	97
Figura 59: Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração Fast: 4 posições de microfone.	98
Figura 60 - Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração Fast: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone e c) 4 posições de microfone.	99
Figura 61 - Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração Fast: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone e c) 4 posições de microfone.	100
Figura 62 - Exemplos da comparação entre os NPS das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone.	102
Figura 63 - Exemplo de Histograma dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições – combinação MIN + Laje em “osso” em 80 Hz.	103
Figura 64 - Exemplo de Histograma dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições – combinação pera + contrapiso cerâmico em 315 Hz.	103
Figura 65 - Exemplo de Histograma dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições – combinação MIN + contrapiso + EVA em 315 Hz.	104
Figura 66 - Exemplo de Histograma dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições – combinação MIN + contrapiso laminado + Lã de vidro em 100 Hz.	104
Figura 67 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIN para 12 pontos de microfone.	106

Figura 68 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIN para 4 pontos de microfone.	107
Figura 69 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIN para 16 pontos de microfone.	108
Figura 70 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIM para 12 pontos de microfone.	109
Figura 71 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIM para 4 pontos de microfone.	110
Figura 72 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIM para 16 pontos de microfone.	111
Figura 73 - Coeficiente de assimetria das medições com a pera para 12 pontos de microfone.	112
Figura 74 - Coeficiente de assimetria das medições com a pera para 4 pontos de microfone.	113
Figura 75 - Coeficiente de assimetria das medições com a pera para 16 pontos de microfone.	114
Figura 76 - Boxplots predominantes dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições.	115
Figura 77 - Os 3 tipos de gráficos predominantes dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições das pressões sonoras.	116
Figura 78 - Diferença entre a média e a mediana para a MIN referente aos dados para a combinação contrapiso cerâmico conforme Tabela 13.	118
Figura 79 - Diferença entre a média e a mediana para a MIN referente aos dados para a combinação laje em “osso” conforme Tabela 13.	119
Figura 80 - Diferença entre a média e a mediana para a MIN referente aos dados para a combinação contrapiso laminado + lã de vidro conforme Tabela 13.	119
Figura 81 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM referente aos dados para a combinação contrapiso cerâmico conforme Tabela 14.	121
Figura 82 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM referente aos dados para a combinação contrapiso laminado + EVA conforme Tabela 14.	122
Figura 83 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM referente aos dados para a combinação contrapiso laminado + lã de vidro conforme Tabela 14.	122
Figura 84 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM referente aos dados para a combinação contrapiso + lã de vidro conforme Tabela 14.	123
Figura 85 - Diferença entre a média e a mediana para a pera referente aos dados para a combinação contrapiso cerâmico conforme Tabela 15.	125
Figura 86 - Diferença entre a média e a mediana para a pera referente aos dados para a combinação contrapiso laminado conforme Tabela 15.	126
Figura 87 - Diferença entre a média e a mediana para a pera referente aos dados para a combinação contrapiso cerâmico + lã de vidro conforme Tabela 15.	126
Figura 88 - Tempo de reverberação x frequências centrais obtidos no âmbito das medições com fontes padronizadas.	141
Figura 89 - Tempo de reverberação x frequências centrais obtidos no âmbito das medições com fonte não padronizada.	141
Figura 90 - Área de absorção sonora equivalente x frequências centrais obtidas no âmbito das medições com fontes padronizadas.	142
Figura 91 - Área de absorção sonora equivalente x frequências centrais obtidas no âmbito das medições com fonte não padronizada.	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos para isolamento de ruído de impacto em países europeus.....	50
Tabela 2 - Valores da curva de referência para todos os pisos de referência com a classificação número único correspondente.	59
Tabela 3 - Nível de exposição da fonte de impacto em cada banda de oitava da força de impacto forte/leve.	60
Tabela 4 – Critério, nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ e nível de desempenho para sistemas de pisos.....	62
Tabela 5 – Escala de Assimetria.....	64
Tabela 6 - Valores críticos para teste de Kolmogorov-Smirnov	66
Tabela 7 - Combinações Fontes Geradoras de Ruído de Impacto / Pisos / Material Resiliente / Posições de Fonte.....	73
Tabela 8 - Valores Temperatura e Umidade encontrados nas Câmaras de Emissão e Recepção durante as medições	86
Tabela 9 - L_n das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone para a MIN	91
Tabela 10 – L_n das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone para a MIM.....	93
Tabela 11 - Valores Temperatura e Umidade encontrados nas Câmaras de Emissão e Recepção durante as medições.....	96
Tabela 12 - $L_{i,Fmax}$ das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone para a pera.....	101
Tabela 13 - Diferença entre a média e a mediana para a MIN	117
Tabela 14 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM	120
Tabela 15 - Diferença entre a média e a mediana para a pera	123

LISTA DE SIGLAS E VARIÁVEIS

ANSI	American National Standards Institute
B_2	Nível de Pressão Sonora do Ruído de Fundo
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
C_1	Termo de Adaptação do Espectro
C_1	Piso de referência leve – Classificação 1
C_2	Piso de referência leve – Classificação 2
C_3	Piso de referência leve – Classificação 3
CII	Classe de Isolamento de Impacto
EN	<i>European Norm</i>
EPI	Equipamento de proteção individual
EPS	Poliestireno expandido
EVA	<i>Ethylene-vinyl acetate</i>
hi-fi	<i>High Fidelity</i>
H_0	Hipótese Nula
H_1	Hipótese Alternativa
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIS	<i>Japanese Industrial Standard</i>
KS	<i>Korea Standard</i>
L_{FE}	Nível de Exposição de Força de Impacto
L_{Fmax}	Nível de Pressão Sonora Máximo
$L_{i,Fmax}$	Nível de Pressão Sonora Máximo Medido com Tempo de Integração <i>Fast</i>
$L_{i,médio}$	Nível de Pressão Sonora Médio Medido
L_n ou L'_n	Nível de Pressão Sonora de Impacto Normalizado
$L_{n,global}$	Índice de Frequência Global
L'_{nTw}	Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado
$L_{n,w}$ ou $L'_{n,w}$	Nível de Pressão Sonora de Impacto Normalizado Ponderado
L_{n0}	NPS de Impacto Normalizado sem cobertura de piso
L_2	Nível de Pressão Sonora do Ruído de Impacto
MIN	Máquina de Impacto Normalizada
MIM	Máquina de Impacto Modificada
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NPS	Níveis de pressão sonora
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PFGR1	Posição Fonte Geradora de Ruído de Impacto
PM	Posição de Microfone
RI	Resilient Isolators
RS	Rio Grande do Sul
s^2_r	Variância da Repetibilidade
s^2_L	Variância entre Laboratórios
s^2_R	Variância da Reprodutibilidade
TR	Tempo de Reverberação
TR_2	Tempo de Reverberação na Sala de Recepção
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
ΔL	Redução do Nível de Pressão Sonora de Impacto
γ_3	Coefficiente de Assimetria

LISTA DE EQUAÇÕES

Redução do Nível de Pressão Sonora de Impacto - (1)	52
Nível de Pressão Sonora Máximo - (2)	53
Nível de Pressão Sonora Máximo Medido com Tempo de Integração <i>Fast</i> - (3).....	54
Nível Médio de Pressão Sonora para Microfones Fixos - (4)	55
Nível Médio de Energia - (5).....	56
Correções para Nível de Sinal - (6)	56
Nível de Exposição de Força de Impacto - (7)	60
Coefficiente de Assimetria de Pearson - (8)	63
Área de Absorção Sonora Equivalente - (9).....	76
Nível de Pressão Sonora de Impacto Normalizado - (10)	80
Nível de Pressão Sonora de Impacto - (11)	81

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	27
OBJETIVOS	28
JUSTIFICATIVA	29
METODOLOGIA	30
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
1.1 RUÍDO DE IMPACTO EM PISOS	31
1.1.1 Propagação do ruído de impacto	39
1.1.2 Isolamento sonoro de impacto	40
1.2 FONTES SONORAS DE IMPACTO EM PISOS	43
1.2.1 Máquina de impacto padrão ou normalizada - MIN	44
1.2.2 Máquina de impacto modificada – MIM	44
1.2.3 Máquina de pneu (<i>bang machine</i>)	45
1.2.4. Bola de impacto (<i>rubber ball</i>)	46
1.2.5 Saco ou bola de areia	47
1.2.6 Crianças pulando	48
1.3 PROCEDIMENTOS DE NORMALIZAÇÃO	49
1.3.1 Normas internacionais	49
1.3.1.1 ISO 5725-2: 1994 - Precisão dos métodos de medição e dos resultados	50
1.3.1.2 ISO 10140-1:2010 – Acústica – Medição laboratorial do isolamento acústico dos elementos da construção. Parte 1: Aplicação das regras para produtos específicos.....	51
1.3.1.3 ISO 10140-3:2010 – Acústica – Medição laboratorial do isolamento acústico dos elementos da construção. Parte 3: Medição do isolamento do impacto sonoro	52
1.3.1.4 ISO 10140-4:2010 – Acústica – Medição laboratorial do isolamento acústico dos elementos da construção. Parte 4: Medição sonora: procedimentos e requisitos	55
1.3.1.5 ISO 10140-5:2010 – Acústica – Medição laboratorial do isolamento acústico dos elementos da construção. Parte 5: Requisitos para instalações de teste e equipamentos	58
1.3.1.6 ISO 354: 2003 – Medição da absorção sonora em câmara reverberante.....	60
1.3.2 Norma nacional.....	61
1.3.2.1 NBR 15575-3: 2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos	61
1.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	62
1.4.1 Assimetria.....	63
1.4.2 Boxplot	64
1.4.3 Teste de Kolmogorov-Smirnov	65
2 MATERIAIS E MÉTODOS	69
2.1 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	70
2.2 PARÂMETROS A SEREM MEDIDOS	74
2.2.1 Medição do tempo de reverberação na câmara de recepção - TR_2	75
2.2.2 Nível de pressão sonora do ruído de fundo – B_2	76
2.2.3 Nível de pressão sonora de impacto - L_2	76
2.3 CONSIDERAÇÕES PERTINENTES A REALIZAÇÃO DO TRABALHO	81
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	82
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
3.1 FONTES PADRONIZADAS	85

3.1.1	Medições com as combinações com contrapiso de concreto	87
3.1.2	Medições com as combinações com piso cerâmico	88
3.1.3	Medições com as combinações com piso laminado	90
3.1.4	Comparação entre medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone	91
3.2	FONTE NÃO PADRONIZADA.....	95
3.2.1	Medições com as combinações com contrapiso de concreto	97
3.2.2	Medições com as combinações com piso cerâmico	98
3.2.3	Medições com as combinações com piso laminado	99
3.2.4	Comparação entre medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone	101
3.3	O USO DA MÉDIA NOS CÁLCULOS DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO	102
4	CONCLUSÕES.....	129
4.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	134
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
	APÊNDICE	141
	A TEMPO DE REVERBERAÇÃO E ÁREA DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE.....	141

INTRODUÇÃO

Um dos tipos de incômodo que mais causam reclamações dos habitantes e/ou usuários das edificações é aquele relacionado ao ruído de impacto do sistema laje/piso nas unidades residenciais, sendo ele causado principalmente pelo caminhar das pessoas, de crianças pulando, pela queda de objetos, o arrastar de um móvel, uma reforma, o trepidar de uma máquina de lavar roupa, etc. Além dessas, muitas reclamações ocorrem por causa do aumento do uso de fontes sonoras de baixa frequência (geram som abaixo de 100 Hz), como é o caso dos sistemas de áudio *hi-fi*¹ com alta potência e resposta de graves aprimorada, sem contar o uso crescente de serviços mecânicos e dispositivos eletroeletrônicos.

Todavia, o incômodo pode ser amenizado através de um projeto adequado do piso e dos elementos que compõem o sistema laje/piso, algo que já vem ocorrendo em vários países a fim de ter um maior conforto acústico nas edificações habitacionais de pavimentos múltiplos. Neste sentido países considerados desenvolvidos já possuem uma legislação que regulamenta o isolamento ao ruído aéreo e de impacto. No Brasil existe a norma NBR² 15575:2013, para edifícios habitacionais - que estabelece requisitos, critérios e métodos de medição de desempenho a serem aplicados a edifícios habitacionais. No entanto, esta norma não é suficiente para regulamentar o isolamento aéreo e de impacto, pois não prevê a metodologia de testagem do ruído de impacto entre os pavimentos da edificação como ocorre com as normas internacionais, que têm sido utilizadas como parâmetro para a realização dos ensaios e medições pelos profissionais. Desta forma, então, verifica-se a necessidade de se aprimorar a norma brasileira para que a mesma atinja o seu objetivo com eficácia no que diz respeito à avaliação do conforto acústico nas instalações prediais.

Apesar de todos os esforços para isolar o ruído de impacto nas edificações ainda existe um ponto que causa muito incômodo aos usuários destas construções o qual os pesquisadores não conseguem resolver através do uso de materiais resilientes. Trata-se do ruído de impacto causado em baixas frequências de 20 Hz até 200 Hz. A própria máquina padronizada de impacto é deficiente nestas frequências no que concerne o ruído gerado por ela. Quanto as frequências a serem consideradas na maioria das normas ISO³ são superiores a 100 Hz. Todavia, a ISO 10140-3:2010 diz que há a opção de medir a partir de 50 Hz e a ISO 10140-4:2010 diz que para informações adicionais, se for necessário, nas faixas de baixa

¹ *High Fidelity.*

² Norma Brasileira Regulamentadora

³ *Internacional Organization for Standardization*

frequência se usem filtros para as frequências centrais das bandas de terço de oitava de 50 Hz, 63 Hz e 80 Hz. A audição humana consegue detectar sons entre os 20 Hz e os 20.000 Hz, por isso as normas deveriam exigir que as baixas frequências fossem sempre analisadas.

Além disto, a transmissão sonora em baixas frequências pode ocorrer apenas em algumas habitações particulares e em outras não, mesmo que façam parte do mesmo edifício. Este fato acontece porque o ruído em baixas frequências pode excitar ressonâncias apenas em alguns compartimentos do prédio e, desta forma, ser observado apenas nestes.

Neste contexto, a fim de se garantir conforto acústico às edificações, considerando as peculiaridades inerentes às baixas frequências, identifica-se a necessidade de se avaliar o nível de pressão sonora gerado por diferentes tipos de fontes sonoras de impacto em edificações, nas frequências compreendidas entre 80 Hz e 400 Hz, utilizando diferentes combinações de piso e material resilientes, pois, embora existam normas e pesquisas - internacionais e nacional -, os pesquisadores ainda não conseguiram minimizar o problema causado nas baixas frequências.

Para tanto, desenvolveu-se o presente trabalho em quatro capítulos. Primeiramente, apresenta-se a “Introdução” que versa sobre o tema do trabalho - ruído de impacto - demonstra a importância do estudo, os objetivos da presente pesquisa e justifica a delimitação do tema. O Capítulo 1 – “Revisão Bibliográfica” faz um levantamento dos trabalhos existentes, tanto no Brasil quanto no exterior, sobre ruído de impacto, elucida os principais conceitos que envolvem o tema de transmissão sonora estrutural, além dos tipos de fontes geradoras de ruído de impacto para experimentos em laboratório, da normatização existente para tal e traz uma explanação breve sobre análise estatística. O Capítulo 2 – “Metodologia” apresenta o ambiente onde foi executada a pesquisa, as fontes e os materiais resilientes que foram usados e as normas de ensaios acústicos consideradas. O Capítulo 3 – “Resultados e Discussões” - apresenta e discute os resultados obtidos nos ensaios acústicos realizados no laboratório. E por último, o Capítulo 4 – “Conclusões” - apresenta as considerações obtidas no final deste estudo, além das propostas para trabalhos futuros.

Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é verificar experimentalmente a transmissão sonora devido ao ruído de impacto nas frequências compreendidas entre 80 Hz e 400 Hz, utilizando

diferentes combinações de pisos, dois materiais resilientes e variadas tipologias de fontes sonoras.

E os objetivos específicos são:

- Quantificar e avaliar experimentalmente a transmissão de ruído de impacto no sistema laje/piso em “osso” causado por diferentes tipos de fontes geradoras de impacto;
- Quantificar e avaliar o isolamento sonoro ao ruído de impacto devido às diferentes fontes geradoras de impacto no sistema piso flutuante;
- Caracterizar e avaliar a viabilidade das diferentes fontes geradoras de impacto quanto aos seus parâmetros acústicos e os níveis de pressão sonora que causam no sistema laje/piso.

Justificativa

O ruído em baixas frequências tem sido estudado desde os anos 1950. No entanto, a transmissão sonora de baixa frequência ainda não conseguiu ser compreendida corretamente. Inúmeros fatores precisam ser reconsiderados para que haja um melhor desempenho no estudo das baixas frequências. Um deles é que os ambientes estão cada vez menores, na maioria dos casos, menores que 20 m³, o que impossibilita a aplicação da norma que considera as salas tendo um campo sonoro difuso. Todavia estes pequenos espaços possuem características modais e isto torna difícil a análise das baixas frequências em salas de pequeno porte.

Apesar da importância para o quesito percepção sonora de ruído de impacto as baixas frequências são, atualmente consideradas opção nas medições. Houve, no entanto, um aumento do número de construções leves e junto com o crescente uso de aparelhos capazes de gerar ruídos com mais energia em baixas frequências, isso fez emergir a necessidade de incluir o ruído em baixas frequências em normas e regulamentos como item obrigatório.

Em função disto, este trabalho tem por objetivo avaliar a transmissão e o isolamento do ruído de impacto nas baixas frequências centrais das bandas de terço de oitava entre, 80 e 400 Hz, dos pisos das edificações através do uso de diferentes fontes geradoras de impacto para melhor avaliar o desempenho do isolamento, uma vez que já se tem conhecimento que a máquina padrão de impacto não reproduz com fidelidade o caminhar de pessoas e fontes de baixa frequência. É fundamental definir novos métodos de previsão para este tipo de

avaliação, isto é, métodos que reproduzam fielmente o que acontece nas estruturas quando estas forem expostas a ruídos de impacto nas baixas frequências.

Metodologia

Para a realização da pesquisa foram realizadas medições no laboratório de acústica da UFSM com três fontes geradoras de ruído de impacto (duas normalizadas: a máquina de impacto normalizada e a máquina de impacto modificada e uma não normalizada: pera de 5 kg), três tipos de piso (laje em “osso”, cerâmico e laminado), dois materiais resilientes (lã de vidro e EVA) e quatro posições de fonte de ruído. As medições foram divididas em duas etapas – com 12 e 4 pontos de microfone. O ruído foi medido em termos de NPS⁴ nas bandas de terço de oitava de 80 Hz a 5.000 Hz em função da norma ISO 10140-3:2010 dizer que normalmente é medido na gama de frequências de 100 Hz a 5000 Hz com opção para 50 Hz. Frequências menores – banda de 50 Hz – não foram consideradas em função das dimensões da sala de ruído de impacto do laboratório não comportarem.

⁴ Níveis de pressão sonora

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será apresentada, a seguir, uma revisão bibliográfica que abordará os principais temas relacionados à pesquisa desenvolvida, tais como ruído de impacto em pisos, fontes sonoras de impacto em pisos, procedimentos de normalização e análise estatística.

1.1 Ruído de impacto em pisos

A partir da década de 70 e início da de 80 começaram a surgir os primeiros estudos científicos sobre ruídos de impacto, desenvolvidos pelo holandês Eddy Gerretsen. Desde então, muitos estudos têm sido realizados a fim de encontrar uma solução para o isolamento do ruído de impacto em pisos. É fato que um dos maiores problemas de se viver em habitações verticais é o mal estar causado pelo ruído de impacto produzido nelas, seja pelas pessoas que ali moram, seja pelos equipamentos necessários para o funcionamento do prédio.

O ruído de impacto é aquele produzido pela percussão sobre um corpo sólido e radiado por este para o ar e/ou transmitido via estrutura da edificação. Então o ruído de impacto nada mais é que uma vibração causada por um contato mecânico entre dois sólidos, onde a estrutura passa a ser um excelente propagador e radiador de energia sonora numa ampla faixa de frequência. Assim, quando a vibração se propaga em um elemento estrutural, ela força este a oscilar, gerando, desta forma, o ruído, por radiação. Porém, a parcela de energia que é transmitida à estrutura quando lhe é aplicada uma excitação, depende de vários fatores como: natureza dessa força, variação temporal e impedância mecânica da estrutura, que, por sua vez também, está condicionada a vários fatores tais como: tipo da estrutura, e velocidade de propagação da onda e frequência da vibração. (SANCHES e SENCHERMES, 1982)

Por exemplo, se o objeto que causar o impacto for rígido e o piso também, a amplitude cessará em pouco tempo, mas terá mais energia nas altas frequências. Porém, se o piso possuir um material resiliente⁵ cobrindo-o, ou entre este e a laje, ou se a fonte de impacto for menos rígida como é o caso de bolas, pés sem calçados, ... , o tempo de contato é maior, com mais energia no sinal, concentrada nas baixas frequências, que é (energia) difícil de isolar.

⁵ Material resiliente: material com alta flexibilidade, elasticidade, ou seja, após cessada a deformação, volta ao seu estado original. (FERRAZ, 2008)

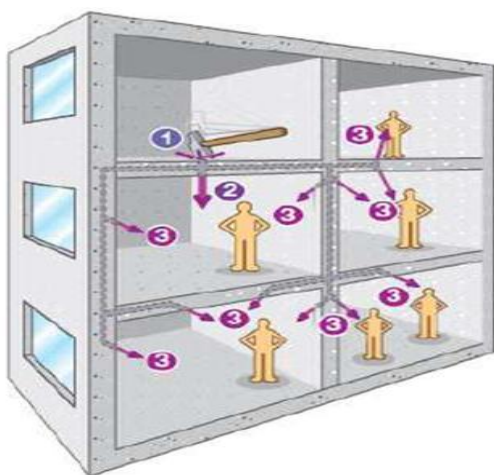
Sons produzidos pelo caminhar das pessoas (Figura 1), por crianças pulando, pela queda de objetos, pelo arrastar de um móvel, por uma reforma, pelo trepidar de uma máquina de lavar roupa, etc., são exemplos de ruídos de impacto.



Figura 1 - Ruído de impacto provocado por uma pessoa caminhando

Disponível em: <http://www.italmextermoconstrucciones.com/acústico.html>. Acessado em: 12/10/2011

Dependendo do tipo de rigidez que existe nas ligações entre os elementos construtivos existentes no edifício, os ruídos de impacto podem se propagar mais facilmente por toda a sua estrutura produzindo campos sonoros em ambientes muito afastados donde ocorreu a excitação inicial devido ao amortecimento estrutural fraco (Figura 2). (PATRÍCIO, 2005)



- 1 - Ruído de Impacto
- 2 - Transmissão Sonora Direta
- 3 - Transmissão Sonora Indireta

Figura 2 - Esquema de transmissão de ruído de impacto

Fonte: CORNACCHIA, 2009 apud ISOVER, 2005.

Além de considerar impactos na laje ou piso, o ruído também pode ser produzido por impacto nos elementos verticais. Por exemplo, a ação de um martelo sobre a parede produz energia que não fica confinada apenas a esta parede, pois parte dela é dissipada em forma de calor e a outra parte se propaga na forma de energia acústica radiada para o ar, fazendo com que o ruído seja transmitido ao ambiente adjacente, havendo uma terceira parte que se transmite diretamente pela estrutura da edificação, ocorrendo vibração entre as superfícies. (JOSSE, 1975).

O isolamento sonoro ao ruído de impacto procura diminuir ou interromper a transmissão das vibrações nas estruturas das edificações, podendo ser feito através da utilização de materiais resilientes para revestir as estruturas ou ser colocado entre elas, como é o caso da laje e do piso, ou da laje e do forro suspenso. No entanto, se o material irá ajudar ou não no isolamento dependerá da rigidez dinâmica⁶ dele. Além disso, a rigidez da estrutura e a sua frequência crítica⁷ também têm que serem levadas em consideração para um bom isolamento sonoro. Em relação à frequência crítica, a importância se reforça, uma vez que nas frequências menores a f_c o isolamento é negativo, isto é, quando a frequência é inferior a f_c a melhora do isolamento sonoro é muito discreta apesar do uso de material elástico, podendo até ser negativa. Em função disto, deve se utilizar material que tenha a mais baixa frequência crítica possível. (PEDROSO, 2007)

O incômodo causado por esse tipo de ruído nas pessoas nem sempre corresponde ou tem relação com o nível de pressão sonora encontrado nas medições nas salas de recepção. A maioria dos ruídos de impactos tem energia nas baixas frequências (20 Hz a 200 Hz) e ao medi-los os técnicos utilizam a máquina de impacto padrão após comprovação em vários experimentos, embora não se consiga imitar os ruídos em baixas frequências tal como eles ocorrem (SHI et al., 1997; WARNOCK, 1992, 1998 e 2000; JEON, 2001; JEON e JEONG et al., 2004; BRADLEY, 2004; JEON e SATO, 2008; KIM et al., 2009; YOO et al., 2010; SCHOENWALD et al., 2010; SCHOENWALD e NIGHTINGALE, 2010; NEVES e SOUSA e GIBBS, 2011, CABEÇAS, 2011).

Além disso, na prática o isolamento ao ruído de impacto é caracterizado por um número único obtido por ponderação que não expressa necessariamente a percepção e o incômodo causados. Fatores como o período do dia em que o ruído ocorre, o tipo de excitação

⁶ Rigidez dinâmica (s') é definida como a razão entre o deslocamento dinâmico para carga dinâmica, e pode ser expressa por: $s' = [(F/S)/\Delta d][(N/m^2)/m = N/m^2m = N/m^3]$ onde S é a área (m^2) da amostra, F é a carga dinâmica (N) vertical aplicada à amostra, e Δd é a variação dinâmica (m) da espessura da amostra.

⁷ Frequência crítica (f_c) é aquela para a qual a velocidade de propagação da onda no meio sólido coincide com a velocidade de propagação do som no ar, produzindo uma radiação ou irradiação eficiente do som. (MÉNDEZ, et al. 1994, pág. 131)

que resultou na vibração devem ser considerados, além, é claro, de saber qual era a atividade que o indivíduo estava fazendo quando percebeu o ruído (THADEN, 2004). Vários parâmetros devem ser analisados ao se fazer o levantamento da reclamação do ruído, uma vez que a percepção de incômodo é subjetiva. Existem, no entanto, pesquisadores trabalhando para transformar estes conceitos subjetivos em parâmetros mais objetivos (NETO e BERTOLI, 2008 e GERRETSEN, 1979).

Gerretsen (1979) comenta que a parcela de pessoas que ouvem os barulhos causados pelos seus vizinhos é muito maior do que a parcela que se considera, realmente, incomodada por causa dos ruídos. O autor afirma não haver um julgamento direto para tal questão, isto é, se a percepção ocorre por causa da detecção do ruído ou pela intensidade com que ele é percebido, mas garante que o ruído de alta “intensidade” provocará incômodo em qualquer ser humano.

As pesquisas que estão sendo feitas muitas vezes tratam das necessidades específicas impostas pela tipologia das construções da região onde estão sendo realizadas. Muitas realizaram trabalhos com experimentos em laboratório, analisando a transmissão sonora em pisos flutuantes e forros suspensos, e ainda analisam a aplicabilidade de novos materiais para uma possível aplicação como piso flutuante. Se comparada à totalidade de pesquisas que são realizadas no âmbito do ruído de impacto, a porcentagem que trata das diferentes fontes geradoras de impacto é muito pequena.

Pedroso (2007) concluiu que o revestimento cerâmico apresenta desempenho insatisfatório para frequências abaixo de 115 Hz, enquanto que o revestimento laminado, a partir das frequências abaixo de 315 Hz, já apresenta desempenho negativo. Para ele, o uso da lã de vidro possibilita um melhor desempenho de $L'_{n,w}$ ⁸ em todas as frequências, mesmo que a composição - lã de vidro e porcelanato - tenha um decréscimo de $L'_{n,w}$ em 250 Hz e a composição - lã de vidro e laminado - tenha um decréscimo de $L'_{n,w}$ entre as frequências 160 Hz e 200 Hz. Ainda assim, o desempenho deste é maior quando comparado a outras composições de pisos.

Já na linha de pesquisa com diferentes fontes geradoras de ruído de impacto (ver Figura 3), Shi et al., em 1997, investigaram a avaliação do isolamento sonoro de impacto de uma construção através de novas formas geradoras de impacto. Participaram 16 indivíduos pesando entre 20 e 90 kg, sendo 7 mulheres e 9 homens, com diferentes tipos de sapatos e exercendo diferentes atividades, como correr, pular e caminhar: e foram utilizadas também 3

⁸ Nível de Pressão Sonora de Impacto Normalizado Ponderado.

bolas de areia pesando 2, 3,5 e 8,5 kg respectivamente; dois sacos de areia pesando 5,5 e 7 kg cada e a máquina de pneu, além, é claro, da máquina de impacto padrão. Os autores observaram que embora os pesos das pessoas sejam diferentes, os passos humanos no caminhar têm espectro de frequências do ruído na câmara de recepção similares. Assim como os espectros sonoros de pessoas correndo e pulando. A partir dos resultados desses estudos experimentais, demonstrou-se que o espectro da máquina de impacto padrão é muito diferente da pisada real dos indivíduos e que uma bola de areia caindo, representa melhor os passos humanos.

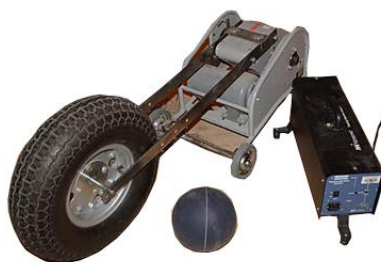


Figura 3 - Três fontes de impacto sonoro. Da esquerda para a direita: a máquina de pneu japonesa, a bola de impacto padrão e a máquina de impacto padrão.

Disponível em: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ci-ic/article/v15n4-1>. Acessado em: 15/072013.

Warnock, em 1998, utilizou, além da máquina de impacto padrão, a máquina de pneu, a bola de impacto padrão e pessoas caminhando como fontes geradoras de impacto. Concluiu em seus estudos que a bola se aproximou do ideal, isto é, que melhor se aproxima da pisada humana, enquanto a máquina de pneu (*bang machine*) gera sons com frequências muito baixas. Já em 2000, ele estudou a transmissão sonora de ruído de impacto em frequências abaixo de 25 Hz, com quatro dispositivos de impacto pesado: máquina de impacto padrão, máquina de pneu, bola de impacto padrão e uma pessoa caminhando. Para o autor, a principal conclusão é em grande parte a mesma que a encontrada no projeto anterior que ele realizou em 1992 - *Low frequency impact sound transmission through floor systems*, ou seja, parece haver necessidade de abandonar o uso da máquina de impacto padrão da ISO⁹ 10140-5. Além disso, os dados existentes da máquina de impacto padrão devem ser reprocessados para dar

⁹ *International Organization for Standardization*

uma melhor classificação do que o número único, CII^{10} ou $L_{n,w}$. Do mesmo modo, o procedimento de teste para os níveis de pressão sonora medidos a 50 Hz deve ser modificado para se chegar a uma classificação mais apropriada do que o número único. O autor sugere, ainda, que outros laboratórios devem realizar este experimento para haver uma comparação dos dados encontrados por ele.

No trabalho de Jeon (2001), foi estudada e desenvolvida uma grandeza objetiva para representar respostas subjetivas para ruído de impacto em pisos. Foram utilizados como geradores de ruído de impacto em piso, uma máquina do pneu e uma máquina de impacto padrão, para simular o pulo de crianças e o caminhar com sapatos de salto alto. Os resultados mostram que o ruído da máquina de pneu é percebido como mais alto e mais ruidoso do que o da máquina de impacto normalizada, apesar de a figura 4 mostrar que os níveis de pressão gerados em uma sala receptora pela máquina de pneu são menos elevados em baixas frequências. Concluiu através de um questionário que foi apresentado a 1.200 moradores, entre 20 e 50 anos, sobre suas opiniões a respeito do ambiente onde vive. Os resultados indicaram que os problemas de ruído de impacto estão diretamente relacionados à qualidade de vida dos moradores.

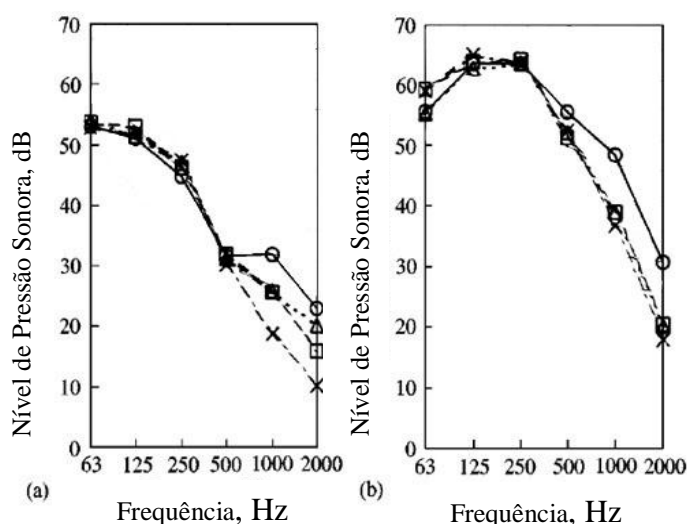


Figura 4 - Ruído de impacto gerado no piso por uma máquina de pneu (a) e por uma máquina padrão de impacto (b). As linhas as lajes testadas: (○) laje 1; (□) laje 2; (△) laje 3; (x) laje 4.

Fonte: JEON, 2001, p. 149.

¹⁰ Classe de Isolamento de Impacto

Em 2004, Jeon e Jeong et al. investigaram a eficiência de isolamento sonoro proporcionado por materiais estruturais em estruturas de concreto armado através do uso da máquina de impacto padrão (ruído de impacto leve) e da máquina de pneu (ruído de impacto pesado). As diferenças dos valores de isolamento do ruído de impacto leve e pesado nos pisos foram causadas pela interação dinâmica entre a fonte excitadora e a estrutura de recebimento, que pode ser caracterizado por sua impedância mecânica. No entanto, a redução do NPS global do ruído em altas frequências com os tratamentos de isolamento sonoro não foi significativo. Aumentar a espessura da laje de concreto seria o ideal para a redução de ruído de impacto pesado em baixas frequências. Ainda em 2004, Bradley discutiu a necessidade de desenvolver outras pesquisas com melhores métodos para classificar o isolamento sonoro através do uso da máquina de impacto padrão, da máquina de pneu e da bola de impacto padrão.

Silva Neves e Sousa, em 2005, investigou a relação entre o nível de pressão sonora de impacto medido em laboratório e em campo para frequências abaixo de 200 Hz. O autor comenta que não há informação disponível na precisão das medições para as regiões de baixa frequência. Os métodos existentes para medição do impacto sonoro incluem o método padrão, que se mostrou insuficiente em baixas frequências e o método de intensidade sonora que é muito complexo para aplicações práticas. Por isso, o pesquisador propôs um método de medição simplificado, o qual supõe que a transmissão sonora de impacto em baixas frequências varia para o mesmo tipo de piso, mesmo em salas com dimensões diferentes. Existem outros parâmetros que também afetam a transmissão sonora de impacto, como tipo de força e local do impacto. Como a absorção sonora na sala é pequena e pode ser negligenciada nas baixas frequências esses dois fatores podem ser tratados de forma simplificada. Dessa forma, o método proposto diferencia-se da recomendação na ISO 140-7, por exigir maior número de posições diferentes da máquina de impacto padrão.

Em 2008, Jeon e Sato desenvolveram experimentos através de avaliações objetivas e subjetivas e os sons foram gerados pela máquina de pneu e a bola de impacto. Os testes de consistência indicaram que 35 a 40 indivíduos apresentaram uma significativa ($p < 0.05$) capacidade para distinguir entre vários graus de aborrecimento. O teste de concordância indicou que houve um acordo significativo ($p < 0.05$) entre os indivíduos. Além disso, a intensidade para a máquina de pneu foi maior do que para a bola de impacto, já a nitidez para a máquina de pneu foi menor do que para a bola de impacto.

Em 2009, Kim et al. estudaram o impacto sonoro através da máquina de pneu. Concluíram que a rigidez dinâmica dos materiais resistentes é um importante fator para a

redução do nível sonoro de impacto pesado¹¹. É necessário, entretanto, selecionar materiais resilientes com rigidez dinâmica baixa, uma vez que com a diminuição da rigidez dinâmica, o nível de redução sonora de impacto tende a aumentar, por isso estudos adicionais são necessários para ser possível a utilização da rigidez dinâmica para prever níveis de redução de impacto sonoro pesado.

Em 2010, Yoo et al. estudaram o isolamento sonoro de impacto utilizando a máquina de pneu e a bola de impacto. Os níveis de pressão de impacto sonoro foram medidos em um edifício, para investigar a confiabilidade dos métodos de medição descritos na KS¹², JIS¹³ e ISO, usando uma fonte de impacto pesado. Os autores propuseram diretrizes para complementar as limitações da KS F 2810-2, da JIS A 1440-2 e da ISO 140-11. Também foi mostrado que o modo acústico de salas, bem como as características de vibração da estrutura do piso afetam a medição do impacto sonoro pesado.

Schoenwald et al. (2010) também utilizaram a máquina de pneu e a bola de impacto, além da máquina de impacto padrão nos seus experimentos. Concluíram que os resultados das medições de laboratórios de ensaio são diferentes dos medidos em habitações. A influência da absorção da sala é mais importante para as medições de pressão sonora de impacto pesado em apartamentos mobiliados que para medições em laboratório. Por outro lado, os resultados medidos em laboratório, com longos tempos de reverberação, não podem ser aplicados para prever diretamente o isolamento sonoro numa situação de edifício.

Ainda em 2010, Schoenwald e Nightingale et al. realizaram medições de transmissão sonora aérea e de impacto baseadas no método chamado medição “indireta” da ISO 10848¹⁴. Os autores acreditam, no entanto, que a ISO 10848 não é viável, pois na hora de proteger todas as vias de transmissão, exceto aquela de interesse, é impraticável proteger um teto. Desta forma, necessário uma alternativa ao método indireto para caracterizar o acompanhamento da transmissão do impacto no piso para a parede na sala abaixo.

Neves e Sousa e Gibbs, em 2011, estudaram a transmissão sonora de impacto em baixas frequências, em habitações com pisos homogêneos de concreto e pavimentos flutuantes. Os autores comentam que se há falha nas construções de piso para os padrões de isolamento acústico de impacto, ela geralmente interfere nas baixas frequências. Isso ocorre porque os padrões atuais (ISO 10140-1, ISO 10140-3, ISO 10140-4 e ISO 10140-5) que

¹¹ Nível sonoro de impacto gerado por uma fonte pesada (*bang machine, rubber ball*)

¹² *Korea Standard*

¹³ *Japanese Industrial Standard*

¹⁴ ISO 10848: *Acoustics – Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms.*

recomendam métodos para medição em laboratório e em campo, consideram frequências acima de 100 Hz, apesar da introdução de um anexo para medições em bandas de baixa frequência na ISO 10140-4, Anexo A. Entendem que as salas das habitações possuem característica modal em baixas frequências por causa do seu volume pequeno, o que não corresponde às condições de campo sonoro difuso em câmaras de ensaio que possuem um volume maior.

Ainda em 2011, Cabeças quis definir um critério de correção/adaptação que permitisse aplicar os métodos normativos de previsão de isolamento a ruído de impacto também a frequências inferiores a 100 Hz. Desta forma, apresentou uma função de correção simples e validada estaticamente, a fim de transformar o nível de pressão sonora de impacto que, atualmente é relativa a uma média dos valores de NPS nas zonas centrais do ambiente (considerando o ambiente como campo sonoro difuso) num nível de pressão sonora de impacto avaliado numa posição de canto fixa a 40 cm de distância das paredes e do pavimento inferior (considerando a análise modal). Após análises estatísticas o método foi validado, estabelecendo assim um critério de correção para as baixas frequências.

Na esfera brasileira, existem trabalhos que analisam a transmissão sonora em pisos flutuantes e forros suspensos e avaliam a utilização de novos produtos como materiais resilientes em piso flutuante. No entanto, se desconhece qualquer registro de trabalho sobre diferentes fontes geradoras de ruído de impacto e avaliação do isolamento do ruído de impacto em baixas frequências de pisos de edifícios.

1.1.1 Propagação do ruído de impacto

O ruído de impacto normalmente causa muito incômodo nas edificações, principalmente nas de uso residencial. A velocidade da propagação da onda vibratória muda em função da frequência e depende do tipo de material que está sendo excitado. O tipo de ligação que existe entre os diferentes materiais influencia na facilidade da propagação da onda. Desta forma, os materiais podem ter velocidades de transmissão diferentes, pois parte da energia sonora transmitida se transforma também em energia térmica, dependendo da tipologia dos materiais empregados. Por exemplo, se observa em materiais porosos e plásticos ou também chamados de materiais resilientes.

Quando se realiza uma medição em laboratório se está apenas avaliando a parcela direta do som que está sendo transmitido. Já ao executar um experimento *in-situ* analisa-se toda a transmissão sonora, parcela direta e as indiretas. (RINDEL, 2007)

Recuero e Gil (1993) comentam que o ruído de impacto é uma resposta da ação da transmissão nas paredes que passam a ser um radiador sonoro ou no piso que transmite a todos os elementos da estrutura.

Patrício (1999) reforça que para sons de impacto, a transmissão por flancos tem maior influência nas bandas das baixas frequências do que nas restantes bandas do espectro, isto por que a atenuação do som durante a sua propagação é diretamente proporcional à frequência, o que quer dizer que sons graves (baixas frequências) percorrem quilômetros de distância ainda sendo audíveis e os agudos (altas frequências) tem sua energia atenuada em poucos metros.

1.1.2 Isolamento sonoro de impacto

É importante lembrar que o isolamento sonoro não acontece apenas nos elementos que separam os ambientes, mas todo o conjunto da estrutura, como parede, laje, teto, uma vez que eles também transmitem o som para o outro ambiente. Desta forma, através do elemento que separa os dois ambientes adjacentes, tem-se a transmissão sonora direta, e em outros recintos da estrutura não adjacentes a este se dá a transmissão sonora indireta. (ver Figura 5)

Soluções para evitar a transmissão do ruído de impacto para os demais ambientes seria a utilização de pisos macios, tipo carpetes, pisos emborrachados, etc. Todavia, isto não é sempre possível, uma vez que alguns locais requerem outro tipo de piso, tais como cozinha, sanitários, área de serviço. Além disto, não há como proibir os usuários de utilizarem pisos mais rígidos (CARVALHO, 2010).

Outra maneira de isolar o ruído de impacto é a utilização de um piso flutuante com aplicação de material resiliente entre a laje e o piso. (ver Figura 6). Desta forma, o contrapiso (massa) e o material resiliente (mola) que está abaixo dele funcionam como um sistema massa-mola e a excitação que passa à estrutura será minimizada.

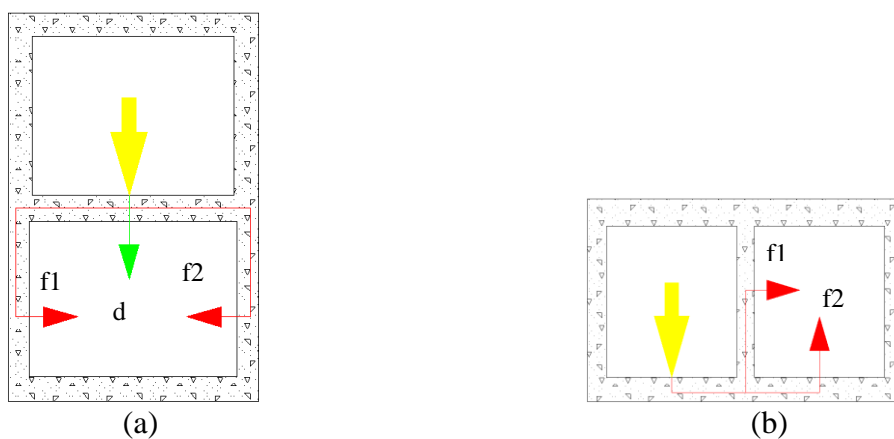



Figura 5 - Vias de transmissão sonora para o cálculo do isolamento acústico entre dois quartos: (a) um acima do outro e (b) um ao lado do outro.

Fonte: Autora.

onde:

- ✓  Fonte geradora de impacto
- ✓ f1 e f2: transmissão sonora indireta
- ✓ d: transmissão sonora direta

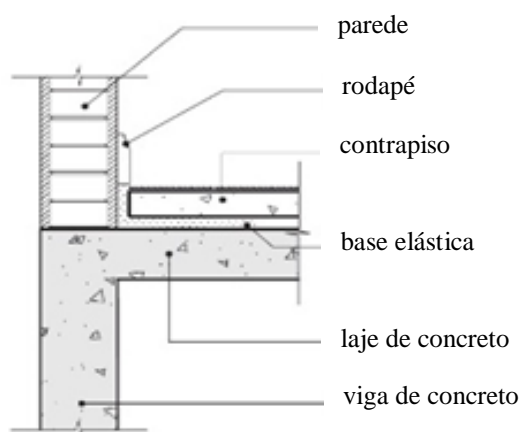


Figura 6 - Exemplo de utilização de piso flutuante.

Disponível em: http://www.arch-tec.com.br/html/Acustica_Arquitetonica_tx_compl.html#t2. Acessado em: 12/10/2011

Souza et al. (2006) e Carvalho (2010) também orientam ou sugerem que para isolar o ruído de impacto deve-se utilizar piso flutuante. Todavia, eles divergem quanto ao uso de forro suspenso. Para Carvalho (2010), a contribuição do forro suspenso não justifica o seu uso com o propósito de atenuar os ruídos de impacto percebidos na sala de recepção, pois quanto mais distante estiver o forro da laje, mais ele poderá provocar um efeito similar à ação de um tambor, realçando os ruídos, devido aos efeitos da frequência de ressonância.

Ainda tratando de forros suspensos, Souza et al. (2006) ressaltam que se deve ter cuidado ao indicar o material dos suportes, uma vez que as vibrações sempre são transmitidas por eles e ao invés de ajudar no isolamento poderão servir de caminho para a propagação do ruído (Figuras 7 e 8). Eles também apontam que deve ser usado o menor número possível de suportes e que a cavidade criada entre o rebaixo do forro e a laje, deve ser envolvida com material absorvente.

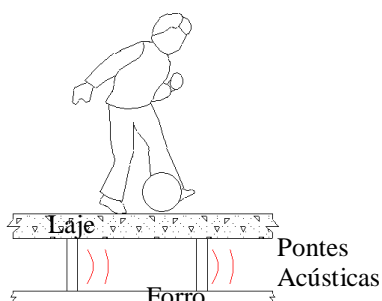


Figura 7 - Transmissão por pontes acústicas.

Fonte: Adaptado Souza et al., 2006

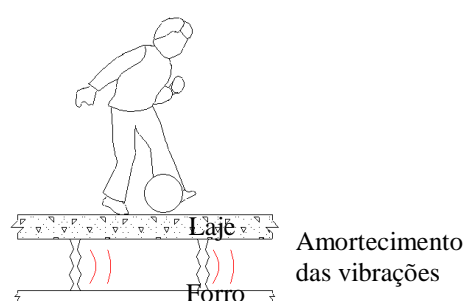


Figura 8 - Isolamento por amortecimento.

Fonte: Adaptado Souza et al., 2006

Além disto, os mesmos autores também tratam da utilização de lajes flutuantes (ver Figura 9) que servem para o isolamento do ruído no recinto receptor. Isto não significa, no entanto, que o mesmo esteja isolado acusticamente. Enquanto o recinto gerador persistir sujeito ao ruído ali excitado, para isolar o receptor é necessário instalar um revestimento amortecedor no local.

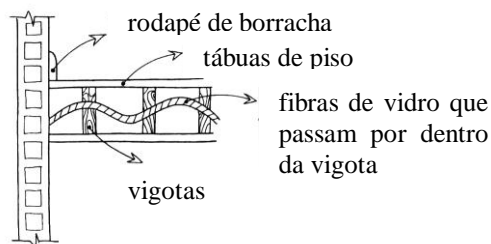


Figura 9 - Laje flutuante.

Fonte: Souza et al., 2006, p. 98 apud VIVEIROS, 1993.

Além disso, há outros itens que podem ser isolados na edificação, a fim de minimizar o ruído de impacto nesta relação entre ambientes adjacentes, tais como máquinas suspensas por meio de molas e enclausuradas e os equipamentos hidráulicos não utilizando conexões e dutos rígidos, a fim de suavizar as curvas de desvio da tubulação.

Observa-se que os materiais normalmente utilizados como material resiliente em pisos flutuantes são: lã e fibra de vidro, EPS¹⁵, espuma de polietileno, poliéster, borracha com baixa densidade, entre outros. Para que o material sirva adequadamente, ele deve ter: uma boa resistência mecânica, ter uma boa resistência química, para que não sofra alterações nas suas características por causa da umidade que possa existir no local onde estiver instalado - ser incombustível para que não propague mais rapidamente o fogo caso venha a ocorrer - e ter uma rigidez dinâmica adequada a finalidade para qual está sendo utilizado. (MENDEZ et al., 1994)

Além disto, a prática construtiva, principalmente no Brasil, utiliza estruturas pouco rígidas em termos vibro-acústicos, ou seja, a espessura das lajes e paredes das edificações não favorecem o isolamento quanto ao ruído de impacto.

1.2 Fontes sonoras de impacto em pisos

A seguir descrevem-se as principais fontes geradoras de ruído de impacto utilizadas.

¹⁵ Poliestireno expandido

1.2.1 Máquina de impacto padrão ou normalizada - MIN

A máquina de impacto (Figura 10) é utilizada na acústica arquitetônica e em construções para medir: isolamento sonoro aéreo e nível de pressão de impacto sonoro. Ela deve ser construída de acordo com as especificações conforme ISO 10140-5:2010 para que seja considerada uma fonte padronizada de impacto sonoro.

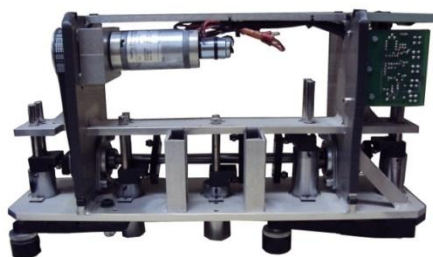


Figura 10 - Máquina de impacto normalizada.

Fonte: Acervo Autora

1.2.2 Máquina de impacto modificada – MIM

É a modificação da máquina de impacto normalizada para fazer as suas características de fonte dinâmica semelhante as de uma pessoa caminhando descalça e uma fonte de impacto pesado/leve com características de fonte dinâmica semelhante as de crianças pulando.

O anexo F da ISO 10140-5:2010 especifica dois métodos para a criação de uma Máquina de Impacto Modificada. Segundo o Método A as molas são fixadas aos martelos da máquina de impacto padrão (ver Figura 11a). As molas devem ter a mesma secção transversal que os martelos e a MIM deve ser ajustada para manter a mesma altura de queda dos martelos tal como a máquina de impacto padrão. Conforme o Método B coloca-se uma camada macia no piso sob a área do martelo da máquina de impacto (ver Figura 11b). A camada pode ser feita de borracha, cortiça, material plástico ou similar.

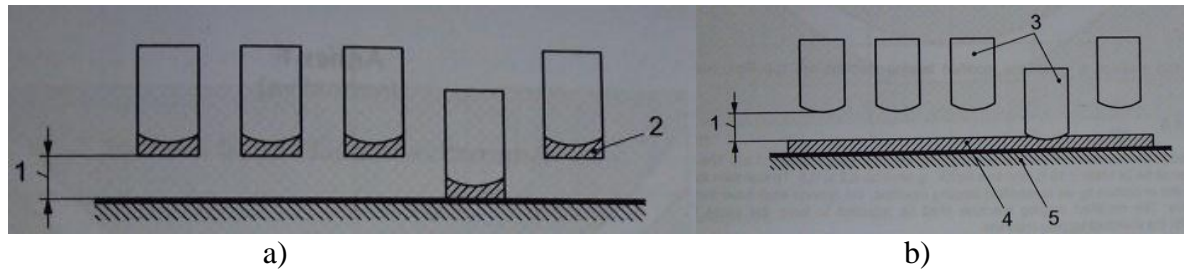


Figura 11 - Máquina de impacto modificada (MIM): a) Método A: molas individuais fixadas aos martelos e b) Método B: camada elástica sob os martelos, colocada sob o piso de teste a ser testado. Somente os martelos foram mostrados.

Fonte: ISO 10140-5:2010.

legenda:

1: altura de queda (40 mm)

4: camada elástica

2: molas

5: piso de referência

3: martelos da máquina de impacto

Recomenda-se que a camada elástica seja construída de camadas finas (por exemplo, 3 mm cada) para garantir uma baixa rigidez de flexão. Pela mesma razão, as camadas finas devem ser fixadas uma a outra apenas em alguns pontos. A área da camada macia deve ser tão pequena quanto possível, de preferência, um pedaço de 45 cm de comprimento e 5 cm de largura. A rigidez da camada macia pode ser afetada por variação da temperatura, resultando em rigidez não linear e do envelhecimento do material.

1.2.3 Máquina de pneu (*bang machine*)

A máquina de pneu (ver Figura 12) é padronizada pela Norma Japonesa JIS 1418-2:2000 e é usada para avaliar o ruído de impacto em baixas frequências (32 - 125 Hz).

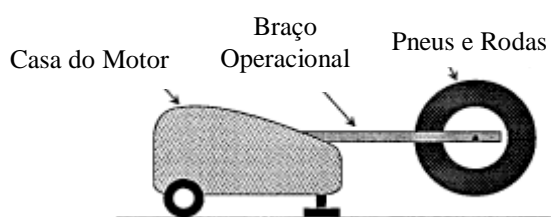


Figura 12 - Máquina de pneu.

Disponível em <http://www.cmhc.ca/publications/en/Rh-pr/tech/98112.htm>. Acessado em: 16/10/2011

Nesse teste um pneu de carrinho de mão de pequeno porte cai de uma altura de 0,9 m no piso de teste para medir o nível de pressão sonora na sala abaixo. Este pneu é levantado por uma haste/braço que é controlado por um sistema eletrônico, é este sistema que controla a velocidade do pêndulo. Este sistema, porém, não é de fácil manuseio.

1.2.4. Bola de impacto (*rubber ball*)

Esta fonte geradora de impacto é normalizada pela ISO 10140-5:2010 e pela Norma Japonesa JIS 1418-2: 2000 e excita eficazmente o piso na faixa de baixas frequências, 32 - 125 Hz (Schoenwald et al., 2010) produzindo um impulso sonoro na sala receptora.



Figura 13 - Bola de borracha padronizada.

Disponível em: <http://svmeas.rion.con.jp/products/10000%EF%BC%9A10015/YI010009>. Acessado em: 16/12/2011.

A bola (ver Figura 13) é de borracha e tem 180 mm de diâmetro externo e 30 mm de espessura das suas paredes. A bola deve cair de uma altura de 900 mm em posições aleatórias no meio do piso. A força gerada por ela é suficientemente repetitiva e apenas 15 impulsos são suficientes para a coleta dos dados.

1.2.5 Saco ou bola de areia

As bolas de areia utilizadas são de couro contendo, com 3 diferentes massas: 2, 3,5 e 8,5 kg. Os sacos de areia são de nylon também com areia e pesando 5,5 e 7,0 kg. Ambas devem cair de uma altura de 100 cm, segundo a ISO 140-11:2005. No entanto os pesquisadores têm utilizado alturas diferentes das recomendadas por norma, isto é, 30, 60 e 90 cm. (Shi et al., 1997). Tanto a bola quanto o saco de areia são utilizados através de um equipamento próprio para soltá-los (Figura 14). Como não há contato direto entre o equipamento e o piso a ser testado, não há influência de peso extra sobre a medição.

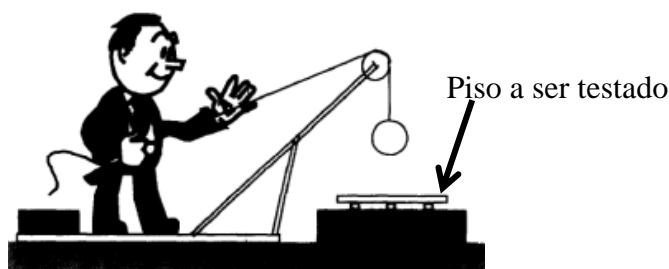


Figura 14 - Equipamento para bola de areia caindo.

Fonte: SHI et al., 1997, p.89.

Shi et al. (1997) comentam que bolas de areia são bons geradores de ruído sonoro de impacto em baixas frequências, pois a bola de areia com 3,5 kg produzem ruídos de impacto com espectros de frequência de pessoas caminhando, principalmente em baixas frequências.

1.2.6 Crianças pulando

Este procedimento alternativo é uma fonte de impacto pesado/leve (Figura 15) e é citado na norma ISO 10140-3:2010, Anexo A. A norma fala que ele serve para avaliar o isolamento sonoro de impacto de um piso em relação a uma fonte de impacto com componentes de baixa frequência fortes.

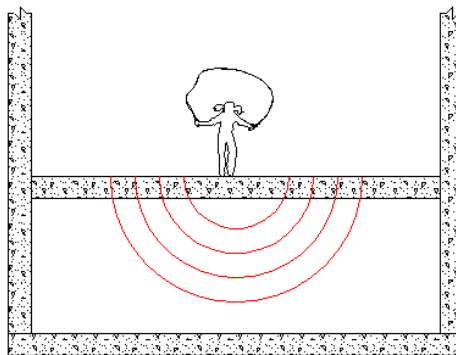


Figura 15 - Ruído de impacto causado por uma criança pulando.

Fonte: Autora.

1.2.7. Pessoas caminhando

Este procedimento alternativo é uma fonte de impacto pesado/leve (Figura 16) e é citado na norma ISO 10140-3:2010, Anexo A. A norma fala que ele serve para avaliar o isolamento sonoro de impacto de um piso em relação a uma fonte de impacto com componentes de baixa frequência fortes.



Figura 16 - Ruído de impacto causado por pessoas caminhando.

Disponível em: <http://www.chileacustica.com/category/servicios/>. Acessado em: 14/11/2011.

1.3 Procedimentos de normalização

1.3.1 Normas internacionais

No âmbito das Normas ISO existem três conjuntos de normas que abordam o isolamento de ruído de impacto: ISO 10140 - Medições laboratoriais do isolamento acústico dos elementos da construção, ISO 717-2 - Número único a partir do desempenho acústico de edificações e de seus elementos e a ISO 15712 - Estimativa do desempenho acústico de edificações a partir do desempenho de seus elementos.

No entanto, há certa divergência entre os parâmetros de medição usados nos países europeus para indicar o conforto acústico das habitações conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos para isolamento de ruído de impacto em países europeus.

Principais Requisitos de Isolamento do Ruído de Impacto para Habitações, em países Europeus, em 2004			
País	Indicador	Habitação com Vários Andares	
		Req. [dB]	Eq. $L'_{n,w}{}^{(1),(2)}$ [dB]
Dinamarca	$L'_{n,w}$	≤ 58	58
Noruega	$L'_{n,w}{}^{(3)}$	$\leq 53^{(3)}$	53 ⁽³⁾
Alemanha	$L'_{n,w}$	≤ 53	53
Áustria	$L'_{nT,w}$	≤ 48	~ 50-43
Espanha ⁽⁹⁾	$L'_{nT,w}$	≤ 65	~ 67-60
Portugal	$L'_{n,w}$	≤ 60	60

Notas:

- (1) Aviso: Os valores equivalentes são estimativas apenas considerando que nenhuma conversão exata é possível.
(2) Os valores máximos equivalentes a $L'_{n,w}$ são - exceto as conversões de I_{co} e I_y - aplicações estimadas das orientações em [11] e C dados em [12].
(3) É recomendável que os mesmos critérios sejam cumpridas por $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$.
(9) Proposta de novos requisitos.

Fonte: Adaptado RASMUSSEN, 2004, p. 4.

1.3.1.1 ISO 5725-2: 1994 - Precisão dos métodos de medição e dos resultados

A norma ISO 5725 utiliza dois termos para descrever a precisão de um método de medição: veracidade - grau de concordância entre a média aritmética de um grande número de resultados de testes e o valor de referência verdadeira - e precisão - grau de concordância entre os resultados dos testes. No entanto, a estimativa da veracidade não é considerada na ISO 5725-2 e sim na ISO 5725-4. Esta parte da ISO 5725 fornece uma descrição prática detalhada do método básico para uso rotineiro em estimativa da precisão dos métodos de medição e a orientação para todo o pessoal envolvido com o projeto, analisando o desempenho ou os resultados dos testes para estimar a sua precisão.

Ao decidir sobre as quantidades de material a ser fornecido, o subsídio deve ser feito para derrames acidentais ou erros na obtenção de alguns resultados que podem exigir o uso de material extra. A quantidade de material preparado deve ser suficiente para cobrir o experimento e permitir um estoque adequado de reserva. Além disto, a análise dos dados, que deve ser considerada como um problema estatístico a ser resolvido por um especialista em estatística, envolve três fases sucessivas - um exame crítico dos dados, a fim de identificar e tratar discrepâncias ou outras irregularidades e para testar a adequação do modelo - o cálculo dos valores preliminares de precisão e meio para cada nível separadamente - e o

estabelecimento de valores finais de precisão e meio, incluindo o estabelecimento de uma relação entre a precisão e o nível m quando a análise indica que uma tal relação pode existir.

A primeira análise calcula, para cada nível separadamente, as estimativas da:

- variância da repetibilidade s^2_r ;
- variância entre laboratórios s^2_L ;
- variância da reprodutibilidade $s^2_R = s^2_r + s^2_L$;
- média m .

O método de análise adotado nesta parte da ISO 5725 envolve a realização da estimativa de m e a precisão para cada nível separadamente. Posteriormente, deve ser investigado se a precisão depende de m e, em caso afirmativo, a relação funcional deve ser determinada. Nem sempre pode ser dado como certo que existe uma relação regular funcional entre precisão e m .

1.3.1.2 ISO 10140-1:2010 – Acústica – Medição laboratorial do isolamento acústico dos elementos da construção. Parte 1: Aplicação das regras para produtos específicos

Esta parte da ISO 10140 especifica os requisitos de teste para elementos de construção e produtos, incluindo requisitos detalhados para a preparação, montagem, operação e condições, bem como as quantidades aplicáveis e informações adicionais para a comunicação. Os procedimentos gerais para as medições de isolamento de impacto sonoro são apresentadas na ISO 10140-3.

Para revestimentos de pavimentos diversos, as propriedades acústicas dependem da temperatura e da umidade. O relatório de ensaio deve indicar a temperatura no centro da superfície do piso superior e a umidade do ar na mesma sala, como o revestimento. A temperatura do pavimento deve estar entre 18 °C a 25 °C.

Cada conjunto de medições na laje em “osso”, ou seja, laje sem nenhum tipo de revestimento e laje revestida com algum tipo de piso coberto deve ser realizado com o maior número de posições da máquina de impacto padronizada para se obter um valor médio de confiança. A partir da classificação, indicada no Anexo H, de revestimentos para piso descobre-se qual é o número mínimo de posições de fonte que precisam ser medidas, consoante categorização a seguir descrita.

- Categoria I - Espécimes pequenos: Esta categoria inclui os revestimentos flexíveis (de plástico, borracha, cortiça, esteiras, ou suas combinações), que podem ser instalados de forma solta ou por aderência à superfície do chão. O número de posições da MIN será o mesmo que o número de espécimes.

- Categoria II - Amostras grandes: Esta categoria inclui os materiais de superfície rígida homogênea ou revestimentos de pavimentos complexos, dos quais pelo menos um é rígido. Pelo menos quatro posições de MIN devem ser usadas quando se mede a redução do ruído de impacto transmitido por coberturas sobre um piso de referência pesado.

- Categoria III - Materiais esticados: Esta categoria inclui coberturas flexíveis que cobrem de parede a parede. Grandes espécimes devem ser testados. Pelo menos quatro posições de MIN devem ser usadas quando se mede a redução do ruído de impacto transmitido por coberturas sobre um piso de referência pesado.

Nessa situação, primeiramente se determina o nível de pressão sonora de impacto normalizado sem a cobertura de chão L_{n0} e depois com revestimento de chão, L_n (ver equação (1)), sempre usando as mesmas posições para a MIN, e em seguida calcula-se a redução do nível de pressão sonora de impacto, isto é, a melhoria do isolamento do impacto sonoro:

$$\Delta L = L_{n0} - L_n \quad (1)$$

sendo:

- L_{n0} : é o nível de pressão sonora do impacto normalizado do piso de referência sem o revestimento do piso;
- L_n : é o nível de pressão sonora do impacto normalizado do piso de referência com o revestimento do piso.

1.3.1.3 ISO 10140-3:2010 – Acústica – Medição laboratorial do isolamento acústico dos elementos da construção. Parte 3: Medição do isolamento do impacto sonoro

A parte 3 da ISO 10140 especifica os métodos laboratoriais para medir o isolamento de impacto sonoro nos pisos. Os resultados dos testes podem ser utilizados para comparar as propriedades de isolamento sonoro de elementos de construção, classificá-los de acordo com as suas capacidades de isolamento sonoro, ajudar a projetar produtos de construção que

exijam determinadas propriedades acústicas e estimar o desempenho “*in situ*” em edifícios completos. Como as medições são realizadas em laboratórios de teste onde a transmissão sonora através de caminhos de acompanhamento é suprimida, os resultados de medições efetuadas em conformidade com esta parte da ISO 10140 não são aplicáveis diretamente à situação de campo sem levar em conta outros fatores que afetam o isolamento sonoro, tais como o acompanhamento da transmissão, as condições de contorno e o fator de perda.

Duas salas verticalmente adjacentes são usadas, a superior designada "sala de emissão" e a inferior "sala de recepção". Uma laje, que é o elemento de teste, separa esses dois quartos. A fonte de impacto é colocada no topo do elemento de teste em posições diferentes e os níveis de pressão sonora são medidos na sala de recepção, normalmente na gama de frequências de 100 Hz a 5000 Hz (opcional até 50 Hz). A área de absorção sonora equivalente na sala de recepção é calculada a partir de medições de tempo de reverberação.

Devem ser tomadas precauções para verificar se a transmissão sonora transportada pelo ar, a partir da fonte para o espaço de recepção é pelo menos 10 dB abaixo do nível de ruído de impacto transmitido em cada banda de frequência. Medições dos níveis de ruído de fundo devem ser realizadas para garantir que as observações na sala de recepção não sejam afetadas por um som estranho, como o ruído de fora das salas de ensaio ou um ruído elétrico.

O Anexo A desta norma especifica um método alternativo de medir o isolamento do impacto sonoro de um piso para os impactos pesados e os leves, tais como caminhar humano com pés descalços (impacto leve) ou crianças pulando (impacto pesado). Segundo esta norma deve-se determinar:

a) Nível de pressão sonora máximo com, L_{Fmax} , em decibels: é o nível máximo de pressão sonora de um impacto sonoro medido usando o tempo de integração *Fast* sobre um medidor de nível sonoro numa posição fixa no espaço de recepção. O nível máximo de pressão sonora medido em diferentes posições do microfone deve ser calculado através da média energética para cada posição de excitação através de:

$$L_{i,Fmax,j} = 10 \log \left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m 10^{L_{Fmax,k}/10} \right) \quad (2)$$

sendo:

- $L_{F,max,k}$ é o nível máximo de pressão sonora na posição do microfone k ($k=1 \dots m$) na sala de recepção;
- $L_{F,max,j}$ é o nível de pressão sonora de impacto máximo (médio da sala) determinado para a posição de excitação j ($j=1 \dots n$).

b) Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração *Fast*, $L_{i,Fmax}$, em decibels: é a média energética dos níveis máximos de pressão sonora medidos na sala de recepção quando o piso sob teste está excitado pelo impacto sonoro forte/leve especificados na norma ISO 10140-5:2010, Anexo F. O nível de pressão sonora de impacto deve ser calculado através da média energética dos valores obtidos anteriormente para todas as posições de excitação por meio de:

$$L_{i,Fmax} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_{i,Fmax,j}/10} \right) \quad (3)$$

sendo:

- $L_{F,max,j}$ é o nível de pressão sonora de impacto máximo (médio da sala) determinado para a posição de excitação j ($j=1 \dots n$) de acordo com a equação (3).

O impacto sonoro deve ser gerado pela queda de uma fonte de impacto forte/leve descrita na norma ISO 10140-5:2010, Anexo F, a partir de uma altura de 0,90 m acima da superfície do pavimento. A excitação pela fonte de impacto forte/leve deve ser feita em quatro ou mais posições diferentes no piso a ser testado. Todavia para um piso de peso leve, uma destas posições deve estar acima das vigas e outra deve estar situada no ponto central. A distância mínima entre as posições da MIN deve ser de pelo menos 0,7 m. A partir das paredes do pavimento deve ser de pelo menos 0,5 m. Para pavimentos homogêneos pesados, tais como o concreto sólido, as posições e a orientação da MIN devem ser distribuídas aleatoriamente por toda a área do pavimento sob teste. Já para as construções de pavimentos não homogêneos (tais como lajes alveolares de concreto ou assoalhos de peso leve com nervuras, vigas, barrotes, etc.) ou pisos com revestimento de soalho bruto e/ou irregular, posições adicionais devem ser utilizadas para se obter um valor médio de confiança. A linha de martelos deve ser orientada a 45° na direção das vigas ou nervuras.

Além disto, no mínimo, quatro posições de microfone devem ser usadas, abrangendo o maior espaço permitido na sala de recepção. As seguintes distâncias são as mínimas a serem

usadas e devem ser excedidas sempre que possível: 0,7 m entre as posições de microfone, entre qualquer posição de microfone e dos limites da sala e entre qualquer posição de microfone e difusores; e de 1,0 m entre qualquer posição do microfone e o teto da sala de recepção.

1.3.1.4 ISO 10140-4:2010 – Acústica – Medição laboratorial do isolamento acústico dos elementos da construção. Parte 4: Medição sonora: procedimentos e requisitos

A ISO 10140-4 recomenda os procedimentos de medição básicos para isolamento acústico aéreo e de impacto em instalações de teste de laboratório. Todas as quantidades devem ser medidas utilizando filtros de terço de banda de oitava com, pelo menos, as seguintes frequências centrais, em Hertz: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000. Se forem necessárias informações adicionais, usam-se as frequências centrais de: 50, 63, 80. Para medidas adicionais em baixas frequências, a orientação é dada no Anexo A.

Para a medição dos níveis de pressão sonora para obter a energia média de nível de pressão sonora utiliza-se: um único microfone movendo-o de posição para posição, uma matriz de microfones fixos ou um microfone em movimento contínuo. As distâncias mínimas de separação nas posições de microfone são 0,7 m entre as posições de microfone fixos, entre as posições de microfone e os limites da sala e entre as posições de microfone e quaisquer difusores; e 1,0 m entre as posições de microfone e o elemento de teste e entre as posições de microfone e da fonte de som. Tais medidas devem ser excedidas sempre que possível.

Quanto aos tempos médios de medição para posições de microfones fixos, a cada microfone individual, este deve ser de pelo menos 6 s para cada faixa de frequência central na faixa de 100 Hz a 400 Hz e não menos de 4 s com as frequências centrais maiores.

A energia do nível médio de pressão sonora para posições de microfones fixos é:

$$L = 10 \log \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{np_0^2},$$

(4)

sendo p_1, p_2, \dots, p_n são raízes quadradas médias (*r.m.s*) das pressões sonoras em n posições diferentes na sala de recepção.

Na prática, os níveis de pressão sonora normalmente são medidos e o nível de pressão sonora, deve ser determinado usando:

$$L = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}}, \quad (5)$$

sendo L_1, L_2, \dots, L_n são os níveis de pressão sonora em n posições diferentes no ambiente.

Conforme o item 4.3, as medições do nível de pressão sonora do ruído de fundo devem ser feitas para garantir que as observações na sala de recepção não sejam afetadas pelo ruído de fundo. O nível de pressão sonora do ruído de fundo deve ser pelo menos de 6 dB (e de preferência mais que 15 dB) abaixo do nível de pressão sonora do sinal e do ruído de fundo combinados em cada banda de frequência central. Se a diferença for inferior a 15 dB, mas superior a 6 dB, correções para o NPS do sinal devem ser calculadas de acordo com:

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (6)$$

sendo:

L é o NPS do sinal de ajuste, em decibels;

L_{sb} é o NPS de sinal e ruído de fundo combinados, em decibels;

L_b é o NPS de ruído de fundo, em decibels.

Se a diferença entre os NPS é menor ou igual a 6 dB, em qualquer uma das faixas de frequência central, usa-se 1,3 dB para a correção. Quando adotado esse procedimento, deve ser claramente indicado no relatório que uma correção foi feita para o limite de medição desses valores.

A medição do isolamento de impacto sonoro deve ser gerada usando a MIN. Os requisitos para a MIN estão especificados na norma ISO 10140-5:2010, Anexo E. Não menos de quatro posições da MIN devem ser utilizadas para qualquer medição. O número de posições de microfone deve ser igual ao número de posições da MIN ou múltiplos inteiros do

número de posições desta máquina. Se quatro ou cinco posições da MIN são usadas, pelo menos duas medidas de NPS de impacto devem ser feitas para cada posição de microfone. Caso, no entanto, sejam usadas seis ou mais posições da MIN, pelo menos uma medida de NPS de impacto deve ser efetuada para cada posição de microfone.

O “Anexo A - Procedimentos adicionais para medições em baixas frequências” diz que em bandas de baixas frequências (inferior a 400 Hz, em geral, e especialmente inferior a 100 Hz), o campo sonoro nas salas de teste não é difuso, principalmente quando os volumes das salas forem de apenas 50 m³ - 100 m³. O requisito geral de que as dimensões da sala devem ser, pelo menos de, um comprimento de onda não pode ser satisfeito para as bandas de frequências centrais mais baixas. Mesmo se a repetibilidade é satisfatória em baixas frequências, a reprodutibilidade e a comparabilidade com os resultados dos testes de outras salas podem ser muito pobres e os resultados do teste tornam-se dependentes da instalação de ensaio.

Salas com pequenos volumes e dimensões desfavoráveis não são utilizáveis para medições em baixas frequências. Pelo menos uma dimensão do quarto deve ser de um comprimento de onda, e outra, de pelo menos a metade do comprimento de onda da banda de frequência mais baixa e deve haver espaço para posicionar a fonte e os microfones de acordo com os requisitos.

Um aumento significativo no nível de pressão sonora a partir de uma distância de cerca de um quarto do comprimento de onda das superfícies como paredes, piso e teto. As distâncias mínimas de separação devem ser duplicadas para medições até 50 Hz. A distância máxima entre as posições de microfone e os limites de apartamentos, deve ser de 1,2 m, aproximadamente, o que também é válido para as distâncias entre as posições de microfone e a superfície do elemento de teste.

A fim de obter um valor energético médio confiável dos níveis de pressão sonora no volume do ambiente, o número de posições de microfone deve ser aumentado. As posições de microfone devem ser espalhadas uniformemente em todo o volume permissível da sala. Em frequências muito baixas, onde as dimensões do quarto tendem a estar no intervalo de meio comprimento de onda, os valores extremamente baixos de pressão sonora se encontram na parte central da sala. Portanto, posições de microfones adequados também devem ser encontradas fora desta área.

Os tempos médios devem ser aumentados para não menos de 15 s, para medições na banda de 50 Hz (cerca de três vezes em relação aos requisitos das medições a 100 Hz). Além

disto, em frequências muito baixas, salas de testes com superfícies duras, tendem a ter tempos de reverberação longos (ver ISO 10140-5).

1.3.1.5 ISO 10140-5:2010 – Acústica – Medição laboratorial do isolamento acústico dos elementos da construção. Parte 5: Requisitos para instalações de teste e equipamentos

A ISO 10140-5 especifica recomendações para instalações laboratoriais e equipamentos para medições de isolamento sonoro de elementos de construção, tais como: componentes e materiais, elementos de construção e técnicos (pequeno porte) e melhoria do sistema de isolamento sonoro.

As instalações para os testes de laboratório são compostas por duas salas adjacentes verticalmente, uma superior, designada "sala emissora" e a inferior, "sala de recepção". Não existem requisitos específicos referentes à forma e ao tamanho da sala emissora para as medições de ruído de impacto. Todavia, o volume da sala receptora deve ser de pelo menos 50 m³.

Os NPS de ruído de fundo devem ser medidos e corrigidos como descrito na ISO 10140-4:2010, 4.3.

A fonte de impacto sonoro que deve ser utilizada é a MIN, conforme especificado no Anexo E. O Anexo F dá informações sobre duas fontes de impacto alternativos (máquina de impacto modificada e bola de impacto) que podem ser utilizadas, tal como explicado na cláusula 1 da ISO 10140-3.

No Anexo C - Piso padrão para medir o melhoramento de isolamento sonoro de impacto pelos revestimentos de pavimentos - as construções são descritas e os valores do nível de pressão sonora de impacto normalizado (L_n), dos elementos de referência padrão, são dados em conjunto com o nível de pressão sonora de impacto ponderado correspondente ($L_{n,w}$), e o termo de adaptação do espectro (C_1), em acordo com a norma ISO 717-2.

A Tabela 2 fornece os valores típicos suavizados para o nível de pressão sonora de impacto normalizado destes elementos de referência utilizados na determinação da classificação do número único, sendo que os valores medidos do elemento de referência real são usados para avaliar a melhoria dos revestimentos dos pavimentos.

Tabela 2 - Valores da curva de referência para todos os pisos de referência com a classificação número único correspondente.

Frequências Hz	$L_{n,r,0}$ para pisos de referência pesado dB	$L_{n,t,r,0}^a$ para pisos de referência leve C1 e C2 dB	$L_{n,t,r,0}^a$ para pisos de referência leve C3 dB
100	67	78	69
125	67,5	78	72
160	68	78	75
200	68,5	78	78
250	69	78	78
315	69,5	78	78
400	70	76	78
500	70,5	74	78
630	71	72	78
800	71,5	69	76
1000	72	66	74
1250	72	63	72
1600	72	60	69
2000	72	57	66
2500	72	54	63
3150	72	51	60
$L_{n,r,0w}$ ou $L_{n,t,r,0w}$ dB	78	72	75
$C_{l,r,0}$ ou $C_{l,t,r,0}$ dB	-11	0	-3

^a: O índice, t, é usado para distinguir resultados para pisos leves daqueles para pisos pesados, que se origina da palavra "madeira".

Fonte: ISO 10140-5: 2010

Os pisos de referência pesados, sobre os quais os revestimentos de teste são instalados, devem consistir de uma laje de concreto com uma espessura de 120 mm, ou, de preferência, de 140 mm para a construção de novos laboratórios, e devem ser homogêneos, bem como ter uma espessura uniforme. A área de superfície vista da sala de recepção, deve ser de, no mínimo, 10 m². Se uma placa é aplicada à superfície do piso de teste, deve-se assegurar de que ela adere perfeitamente em todos os pontos e que não vai rachar ou quebrar.

Já para pisos de referência leve, a cobertura de teste instalada deve ser escolhida entre os pisos de referência leves descritos no Anexo G. A área da superfície, vista a partir da sala de recepção, deve ser pelo menos 10 m².

O Anexo F, item F.2, especifica as características da força de impacto da fonte de impacto forte/leve, bola de impacto, para a medição do nível de pressão sonora de impacto especificados na norma ISO 10140-3. A fonte de impacto forte/leve deve gerar o nível de exposição de força de impacto, em cada banda de oitava conforme Tabela 3 quando a bola cai

verticalmente em queda livre a partir da altura de 1,0 m. O nível de exposição de força de impacto (force exposure level), L_{FE} , é expresso por:

$$L_{FE} = 10 \log \left[\frac{1}{T_{ref}} \int_{t_1}^{t_2} \frac{F(t)^2}{F_0^2} dt \right] \quad (7)$$

sendo:

- $F(t)$ é a força instantânea que atua no piso em teste quando a fonte de impacto forte/leve cai no chão, em Newton;
- F_0 é a força de referência (= 1N);
- t_2-t_1 é o tempo de duração da força de impacto, em segundos;
- T_{ref} é o intervalo de tempo de referência (= 1s).

Tabela 3 - Nível de exposição da fonte de impacto em cada banda de oitava da força de impacto forte/leve.

Frequências de banda de oitava Centrais Hz	Nível de exposição de força da fonte de impacto - L_{FE} dB re 1N
31,5	39,0±1,0
63	31,0±1,5
125	23,0±1,5
250	17,0±2,0
500	12,5±2,0

Fonte: ISO 10140-5:2010.

1.3.1.6 ISO 354: 2003 – Medição da absorção sonora em câmara reverberante

A norma ISO 354 descreve o procedimento de medição da absorção sonora em câmara reverberante. Ao interromper a fonte em uma sala há um decaimento da energia do som. Este decaimento está sujeito às características de absorção sonora das superfícies de contorno do ambiente e dos objetos que estejam dentro deste espaço. As medições devem ser realizadas em bandas de terço de oitava, na faixa de frequência de 100 a 5.000 Hz.

O tempo de reverberação é o tempo que será necessário para o nível de pressão sonora diminuir em 60 dB após a fonte de som parar e emitir energia sonora.

De acordo com a ISO 354 o som na sala sob teste é gerado por um ou mais alto-falantes com padrão de radiação não direcional. Os sinais de teste possuem um espectro de magnitude constante com uma largura de banda de frequência na faixa de frequência de interesse e, pelo menos, um terço de oitava. O valor de *r.m.s.* do sinal sendo, antes de decair, deverá ser acima do NPS do ruído de fundo, para permitir avaliações das curvas de decaimento do NPS. Além disso, o sinal gerado, antes de ser desligado, deve ser longo para produzir um nível de pressão sonora constante no tempo. Para as medições com ruído de banda larga, o espectro sonoro médio na sala deve se aproximar do ruído rosa ou branco, com diferenças de nível de pressão sonora menor que 6 dB entre bandas adjacentes de terço de oitava ou terço de oitava adjacentes.

O equipamento receptor é composto por um ou mais microfones não direcionais com amplificadores, filtros e um sistema de medição de tempo de reverberação. Os registros devem ser feitos com pelo menos três posições de microfone. Somente um microfone será usado de cada vez. Ele deve estar, pelo menos, a 1,0 m da amostra, das superfícies ou dos difusores do ambiente e 2,0 m da fonte sonora.

Para realizar a medição do tempo de reverberação é aceitável o uso de banda larga de ruído e um computador analisador, para fazer medições de todas as bandas de frequência.

1.3.2 Norma nacional

Foi a partir da publicação da NBR 15575, em 2008, que o Brasil passou a ter uma legislação própria para analisar o desempenho de edificações.

1.3.2.1 NBR 15575-3: 2013 – Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos

A norma brasileira NBR 15575-3: 2013 trata do desempenho do sistema de pisos, destinados para áreas de uso privativo ou comum, com a inclusão dos elementos e

componentes, de acordo com os critérios estabelecidos nesta norma. Os valores normativos para atender aos requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas, considerados o isolamento de ruído de impacto e aéreo, são obtidos por meio de ensaios realizados em campo. O parâmetro utilizado por esta norma, para ruído de impacto é: $L'_{nT,w}$ (nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado). Além dos valores mínimos de desempenho do $L'_{nT,w}$, esta norma também estabelece os níveis mínimos (M), intermediário (I) e superior (S) de desempenho para cada requisito, que devem ser atendidos (Tabela 4).

Segundo esta norma o piso deve proporcionar isolamento acústico adequado entre as unidades distintas e contíguas, bem como entre as dependências da mesma unidade, caso estas sejam destinadas ao repouso, ao lazer e à atividade intelectual.

Tabela 4 – Critério, nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ e nível de desempenho para sistemas de pisos

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Fonte: NBR 15575-3: 2013.

1.4 Análise estatística

Em termos estatísticos, é relevante para o objeto do estudo o aprofundamento dos conhecimentos quanto à Assimetria, Boxplot e Teste de Kolmogorov-Smirnov, pois tais métodos de análise de dados são usados para a discussão dos dados coletados nesta pesquisa.

1.4.1 Assimetria

Através da análise da assimetria dos dados é possível identificar se os dados possuem uma distribuição simétrica ou não, o que leva a considerar que os dados talvez não tenham uma distribuição normal. É o grau de afastamento da simetria de uma distribuição de dados, podendo ser determinada graficamente pelo histograma dos dados ou pelo cálculo do Coeficiente de Assimetria de Pearson:

$$\gamma_3 = 3 \frac{(\bar{x} - \bar{X})}{s} \quad (8)$$

sendo:

γ_3	coeficiente de assimetria
\bar{x}	média amostral
\bar{X}	Mediana
S	desvio-padrão amostral

Para o resultado obtido diz se que a distribuição é:

- Simétrica: se = 0, e neste caso Média = Mediana = Moda (ver Figura 17a)
- Assimétrica à direita ou positiva: se > 0, e neste caso Média > Mediana > Moda (ver Figura 17b)
- Assimétrica à esquerda ou negativa: se < 0, e neste caso Média < Mediana < Moda (ver Figura 17c)

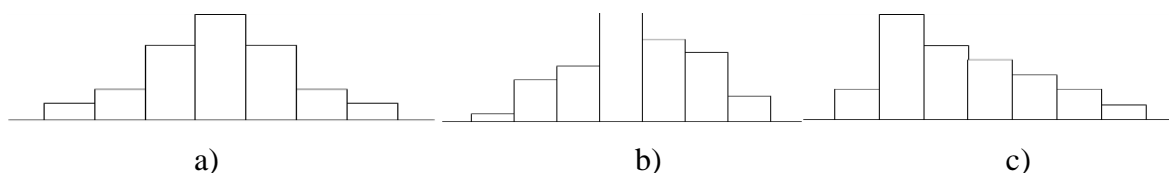


Figura 17 - Histogramas: a) Simétrico, b) Assimétrico Positivo e c) Assimétrico Negativo.

Fonte: Autora

Além disso, pode se usar a escala de assimetria conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Escala de Assimetria

Escala de Assimetria	
$\gamma_3 > 1$	Assimetria forte
$0,15 < \gamma_3 < 1$	Assimetria moderada
$\gamma_3 < 0,15$	Assimetria pequena
$\gamma_3 = 0$	Simetria perfeita

Disponível em: http://www.seplan.am.gov.br/arquivos/download/arqeditor/apostila_estadistica.pdf. Acessado em: 08 maio 2013

1.4.2 Boxplot

Também conhecido como diagramas de caixa, eles são representados através de um gráfico onde os limites da caixa são: limite superior - o percentil de 75% ou 1º quartil e limite inferior - o percentil de 25% ou 3º quartil - e a distância entre esses dois quartis é conhecida como interquartil. A linha no interior da caixa representa a mediana. As duas linhas externas à caixa representam o valor mínimo e o máximo, desde que não apareçam *outliers* – valores discrepantes, extremamente altos ou baixos e, normalmente, é representado por asterisco (*) – porque assim o gráfico se estende ao máximo a 1,5 vezes da distância interquartil.

Ele é muito usado nas análises estatísticas por possuir as seguintes vantagens:

- Mostra graficamente a posição central dos dados e a sua tendência;
- Dá um indicativo de simetria ou assimetria dos dados;
- Mostra os outliers;
- Ao utilizar o boxplot de cada variável, lado-a-lado, fica fácil a comparação dos dados analisados.

Todavia deve se ter cuidado ao utilizar o boxplot, uma vez que ele tem tendência de enfatizar os extremos dos dados, ou seja, as pontas da distribuição.

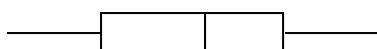


Figura 18 - Boxplot sem outliers.

Fonte: Autora.



Figura 19 - Boxplot com outliers.

Fonte: Autora.

1.4.3 Teste de Kolmogorov-Smirnov

Este teste tem a função de observar a máxima diferença total entre a distribuição acumulada da amostra e a distribuição acumulada esperada. As hipóteses possíveis são: H_0 – hipótese nula, a distribuição testada pode ser utilizada para prever o comportamento dos dados observados, os dados seguem uma distribuição normal - e H_1 – hipótese alternativa, a distribuição testada não poder ser utilizada para prever o comportamento dos dados observados, os dados não seguem uma distribuição normal.

Para isso compara-se essa diferença com um valor crítico. Se $D_{\text{teste}} < D_{\text{crítico}}$ aceita-se H_0 , caso contrário refuta-se H_0 e aceita-se a H_1 conforme figura 20.

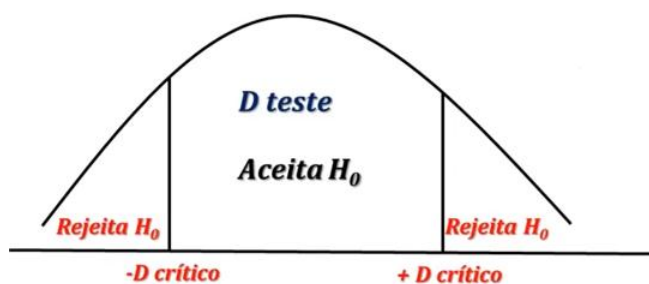


Figura 20 - Exemplo de distribuição para entendimento do teste Kolmogorov-Smirnov.

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=fFsu1aOaZOY>. Acessado em: 08 maio 2013

Todavia essa comparação é feita em função de um nível de significância - α , que é sempre de 5%. A Tabela 6 fornece $D_{\text{crítico}}$ em função de α e contem os dados tabelados até 50, caso haja um número maior de dados utiliza-se a fórmula contida na tabela para cada nível de significância. Se $D_{\text{crítico}}$ ou p-value $\leq \alpha$ rejeita-se a hipótese H_0 e se $D_{\text{crítico}}$ ou p-value $> \alpha$ não rejeita-se a hipótese H_0 e aceita-se a H_1 .

Tabela 6 - Valores críticos para teste de Kolmogorov-Smirnov

Valores críticos para teste de Kolmogorov-Smirnov				
n	Nível de significância - α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
Valores maiores	$1,07/\sqrt{n}$	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=fFsu1aOaZOY>. Acessado em: 08 maio 2013

Junto ao gráfico do teste Kolmogorov-Smirnov gerado (Figura 21) são apresentados os seguintes dados, nesta mesma ordem: média (\bar{x}), desvio-padrão (s), número de dados (n), D_{teste} (KS) e $D_{\text{crítico}}$ ou p-value.

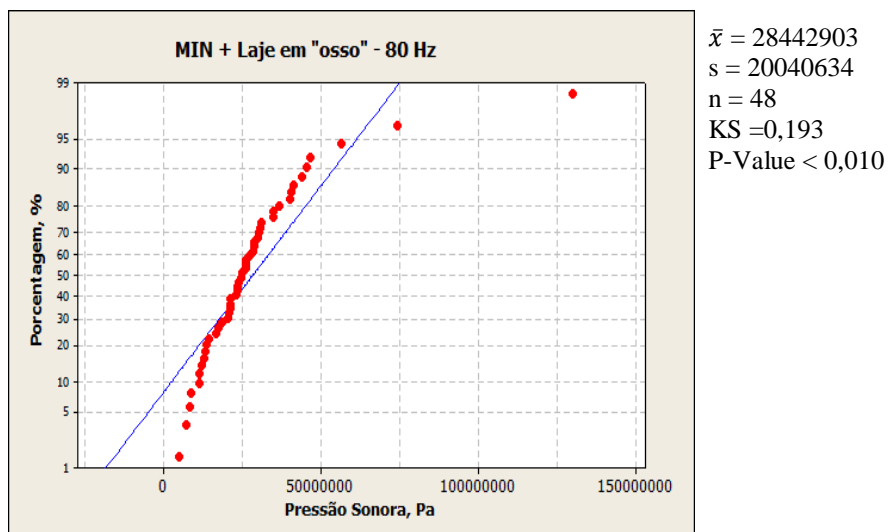


Figura 21 - Exemplo de gráfico do teste Kolmogorov-Smirnov.

Fonte: Autora.

A figura 21 mostra que os dados não seguem uma distribuição normal, uma vez que alguns estão fora da linha azul. Para que os dados possuíssem uma distribuição normal todos os pontos tinham que estar em cima da linha azul.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e dividida em 3 etapas: realização dos ensaios, parâmetros a serem medidos e análise estatística dos dados, as quais estão descritas ao longo deste capítulo.

A câmara utilizada para avaliação da transmissão sonora por impacto é composta por uma sala emissora (Figura 22) e uma sala receptora (Figura 23) verticalmente adjacentes (Figura 24).

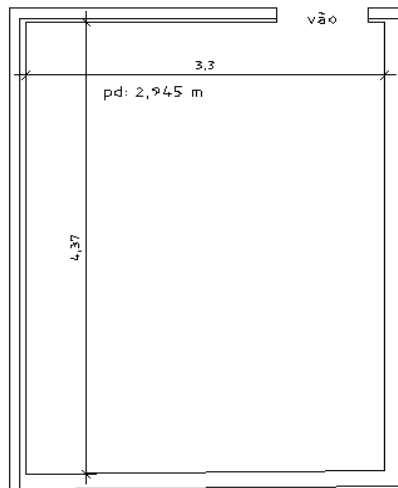


Figura 22 - Sala emissora.

Fonte: Autora.

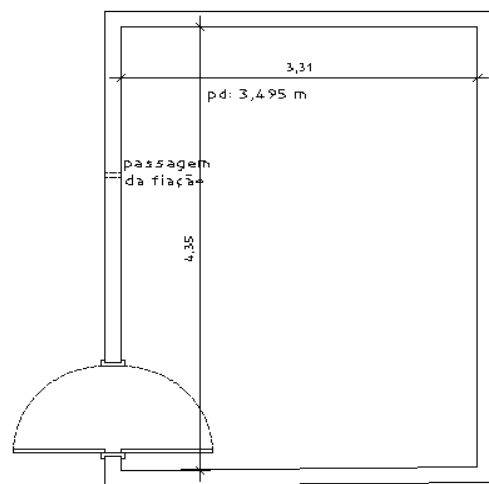


Figura 23 - Sala receptora.

Fonte: Autora.

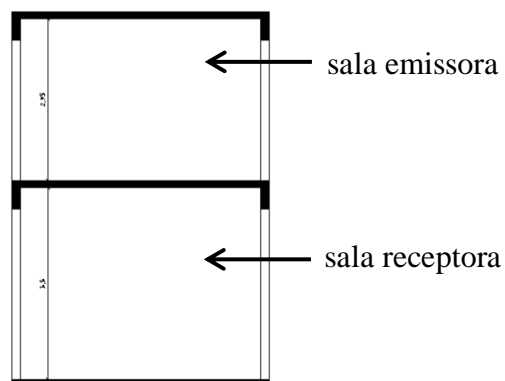


Figura 24 - Vista das salas: emissora e receptora

Fonte: Autora.

2.1 Realização dos ensaios

Para a realização das medições foram utilizados 3 tipos de fonte sonora, a primeira sendo uma máquina de impacto normalizada (MIN): como fonte de impacto leve, uma segunda máquina de impacto modificada (MIM); e a terceira a pera de 5 kg como fonte de impacto pesado. A MIN utilizada foi a do Curso de Engenharia Acústica da UFSM (Figura 25). A MIM é a MIN com 4 camadas de feltro (Figura 26), de 45 cm x 5 cm, entre os martelos da máquina e o piso. Usou-se feltro Feltycril, da Feltros Santa Fé, com 1 mm de espessura e com $0,18533\text{g/cm}^3$ de densidade. Quanto à pera, ela foi comprada pronta (Figura 27), e é uma pera para box da marca KNOCKOUT, linha profissional, código 402, confeccionada em couro natural de alta resistência e peso de 5 kg.



Figura 25 - Máquina de Impacto Padrão: a) com a proteção e b) sem a proteção.

Fonte: Autora.

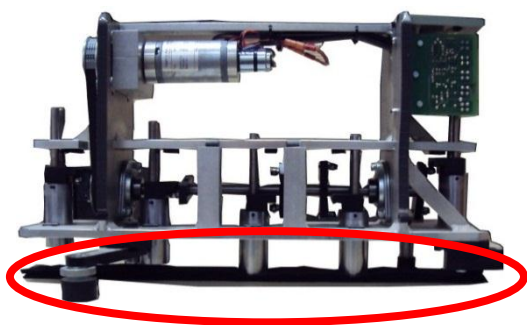


Figura 26 - Máquina de Impacto Modificada com feltro abaixo dos martelos.

Fonte: Autora.



Figura 27 - Pera de 5 kg.

Fonte: Autora.

Foram utilizados os seguintes tipos de pisos: a laje em “osso” (Figura 28), um contrapiso de concreto com 3,5 cm de espessura (Figura 29), um contrapiso de concreto com 3,5 cm de espessura com piso cerâmico (Figura 30) e um contrapiso de concreto com 3,5 cm de espessura com piso laminado (Figura 31). Os materiais resilientes foram: uma amostra de lã de vidro com 1,10 x 1,10 m de área da Wallfelt 50 recomendado para o preenchimento de paredes Drywall da ISOVER SAINT GOBAIN, com 50 mm de espessura e 10 kg/m³ de densidade (ver Figuras 32) e uma amostra de EVA 1826 (Preto) com 1,00 x 1,50 m de área da Tacosola Borrachas Ltda., com 10 mm de espessura, 0,18 kg / m³ de densidade e 26 de Dureza Shore A. (ver Figuras 33)



Figura 28 - Tipos de Piso: laje em “osso”.

Fonte: Autora.

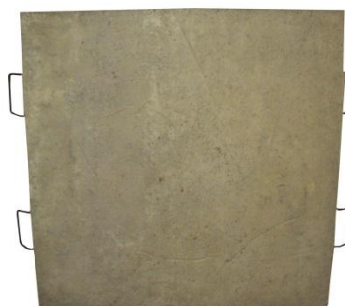


Figura 29 - Tipos de Piso: contrapiso de concreto.

Fonte: Autora.



Figura 30 - Tipos de Piso: contrapiso de concreto com piso cerâmico.

Fonte: Autora.



Figura 31 - Tipos de Piso: contrapiso de concreto com piso laminado.

Fonte: Autora.



Figura 32 - Material resiliente – lã de vidro.

Fonte: Acervo Autora.



Figura 33 - Material resiliente – EVA.




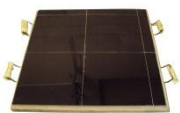
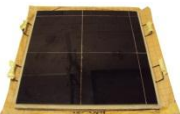
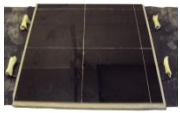



Fonte: Acervo Autora.

As placas de contrapiso foram soltas em cima da laje em “osso” conforme a posição de fonte geradora de ruído de impacto que se estava medindo, nas medições sem material resiliente. Quando foram usadas as amostras de material resiliente elas eram colocadas sobre a laje em “osso” e por cima delas solto o contrapiso em análise. Tanto os contrapisos quanto as amostras de material resiliente ficavam soltas, isto é, sem nenhum tipo de fixação na laje em “osso”.

Os experimentos consideraram o procedimento descrito pelas normas: ISO 10140-3:2010 e ISO 10140-5:2010 para medições em laboratório. Todavia não se podem considerar as salas do laboratório de acústica da UFSM normalizadas, uma vez que as salas não estão separadas da estrutura do prédio, nem possuem um material absorvedor (por exemplo neoprene) nos locais onde as estruturas se encontram. Assim sendo, as medições foram consideradas *in-situ*. Como a fonte para não é normalizada, os experimentos foram realizados de acordo com os métodos da ISO 10140-5:2010 e recomendações de artigos científicos, tais como SHI et al., 1997; WARNOCK, 1992, 1998 e 2000; JEON, 2001; JEON e JEONG et al., 2004; BRADLEY, 2004; JEON e SATO, 2008; KIM et al., 2009; YOO et al., 2010; SCHOENWALD et al., 2010.

A Tabela 7 mostra como os experimentos foram configurados, para melhor entendimento.

Tabela 7 - Combinações Fontes Geradoras de Ruído de Impacto / Pisos / Material Resiliente / Posições de Fonte

		MIN	MIM	Pera 5 kg
Figura 34 - Laje em “osso”.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Figura 35 - Contrapiso + Lã de Vidro.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Figura 36 - Contrapiso + EVA.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Figura 37 - Contrapiso Cerâmico + Laje em “osso”.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Figura 38 - Contrapiso Cerâmico+ Lã de Vidro.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Figura 39 - Contrapiso Cerâmico + EVA.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Figura 40 - Contrapiso Laminado + Laje em “osso”.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Figura 41 - Contrapiso Laminado + Lã de Vidro.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Figura 42 - Contrapiso Laminado + EVA.		PFGRI 1	PFGRI 1	PFGRI 1
		PFGRI 2	PFGRI 2	PFGRI 2
		PFGRI 3	PFGRI 3	PFGRI 3
		PFGRI 4	PFGRI 4	PFGRI 4
Total de Medições com 12 pontos de microfone em cada combinação		864	864	864
Total de Medições com 4 pontos de microfone em cada combinação		288	288	288
Total de Medições		3.456		

Fonte: Autora

Os equipamentos utilizados para a execução das medições com cada fonte foram:

✓ Máquina de Impacto Padrão: Brüel & Kjaer, Tapping Machine, Type 3207, Serial N° 02675439, (ver Figura 25);

- ✓ Máquina de Impacto Modificada: Brüel & Kjaer, Tapping Machine, Type 3207, Serial N° 02675439, para modificá-la foi acrescentado um forro de feltro entre os martelos e o piso, (ver Figura 26);
- ✓ Pera para box da marca KNOCKOUT, linha profissional, código 402, confeccionada em couro natural de alta resistência e pesa 5 kg, (ver Figura 27);
- ✓ Amplificador: Brüel & Kjaer, Power Amplifier, Type 2716, Serial N° 2675484.
- ✓ Calibrador: Brüel & Kjaer, Sound Calibrator, Type 4231, 94 & 114 dB SPL-1000 Hz, Fulfils IEC 60942 (2003) Class 1 & Class LS & ANSI S 1.40-1984, Serial N° 2699079;
- ✓ Fonte Sonora Omnidirecional: Brüel & Kjaer, OmniPower 4292, Serial N° 028023, para emissão de ruído rosa de banda larga;
- ✓ Medidor de Temperatura, CE, NF: 171394-R, INSP: 05/08;
- ✓ Medidores do Nível de Pressão Sonora: Brüel & Kjaer, Hand-held Analyzer, Type 2270, Serial N° 2679330 e Serial N° 2679331;
- ✓ Microfone: Brüel & Kjaer, Prepolarized Free-field, ½” Microphon, Type 4189, Serial N° 2695313 (equalização para campo difuso através do MNPS);
- ✓ Software BZ-5503: Measurement Partner Suíte, Brüel & Kjaer, VERSION 4.2.0.227, 15/02/2013;

2.2 Parâmetros a serem medidos

Para determinar o isolamento sonoro do ruído de impacto foram necessários três tipos de medições na sala de recepção:

- Tempo de reverberação na sala de recepção - TR_2 ;
- Nível de pressão sonora do ruído de fundo - B_2 ;
- Nível de pressão sonora do ruído de impacto - L_2 .

As medições de ruído de fundo e tempo de reverberação foram, realizadas para avaliar adequadamente o nível de isolamento ao ruído de impacto da laje em estudo, evitando desta forma as interferências do ruído externo e das características acústicas de cada recinto. Antes de iniciar a medição, o equipamento foi preparado e regulado, adequadamente, com auxílio do calibrador acústico.

2.2.1 Medição do tempo de reverberação na câmara de recepção - TR_2

A medição do tempo de reverberação (TR_2) foi executada na sala de recepção conforme ISO 354:2003 considerando duas posições de fonte sonora. Para cada posição de fonte foi feita a leitura do NPS em 3 pontos distintos, totalizando 6 leituras para determinar T_2 (Figuras 43 e 44). Foram medidos 3 decaimentos de NPS sucessivos para cada posição de microfone e após determinada uma média aritmética das dezoito medidas do tempo de reverberação (TR_{2i}).

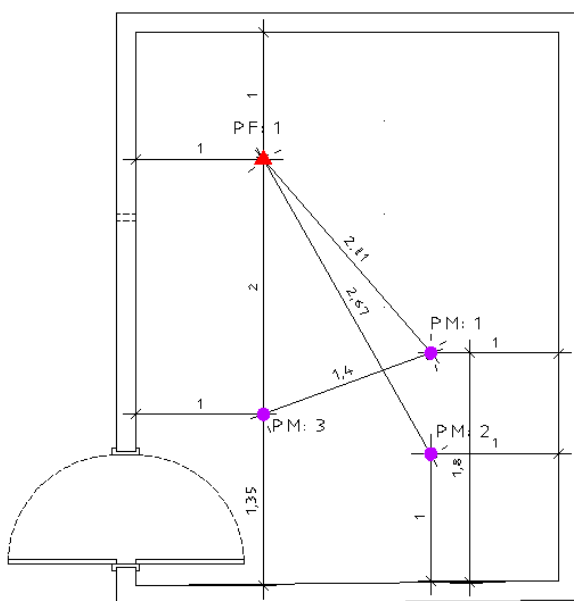


Figura 43 - Posição de fonte (PF1) e as 3 posições de microfone (PM1, PM2 e PM3).

Fonte: Autora.

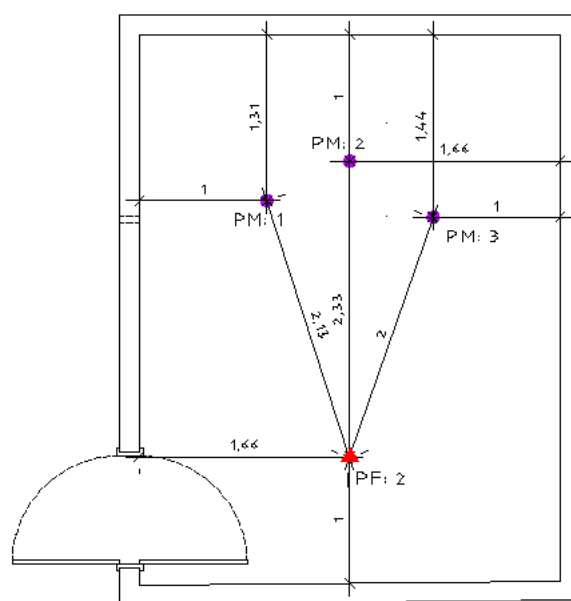


Figura 44 - Posição de fonte (PF2) e as 3 posições de microfone (PM1, PM2 e PM3).

Fonte: Autora.

Legenda:

- ✓ ▲ PF: Posição de fonte;
- ✓ ● PM: Posição de microfone.

Além disto, utilizando os valores médios do tempo de reverberação (TR_2) foi calculada a área de absorção sonora equivalente da sala receptora por banda de frequência conforme a equação 9:

$$A=0,16 \left(\frac{V}{T} \right), \quad (9)$$

sendo:

- A : área de absorção sonora equivalente, [m²];
- V : volume de ar da câmara de recepção, [m³];
- T : média do, tempo, de reverberação, [s].

2.2.2 Nível de pressão sonora do ruído de fundo – B_2

Para registrar o nível de pressão sonora do ruído de fundo – B_2 durante 15 s foi utilizado o medidor do nível de pressão sonora com o ambiente sem equipamentos geradores de ruído para que fosse possível gravar somente o ruído de fundo habitual à câmara. O microfone foi posicionado a uma altura de 1,30 m do chão. O NPS do ruído de fundo sempre foi medido após as duas medições de nível de pressão sonora do ruído de impacto em cada combinação microfone/fonte/piso/material resiliente, totalizando assim 1728 medições do NPS de ruído de fundo. Foi feita uma média energética das 1728 medições para checar a qualidade da medição.

2.2.3 Nível de pressão sonora de impacto - L_2

Para a aquisição dos níveis de pressão sonora de impacto foi utilizado o medidor do nível de pressão sonora nas posições pré-estabelecidas, conforme localizações nas figuras 45, 46 e 47. Os NPS foram registrados em bandas de terço de oitava, entre 80 e 5 kHz, sendo priorizadas as baixas frequências de 80 a 400 Hz. O tempo médio para a obtenção dos níveis de pressão sonora de impacto foi de 15 s para cada posição de microfone.

As fontes geradoras de impacto foram posicionadas conforme exigência da ISO 10140-3 e ISO 10140-5 na sala emissora (Figura 45). Já o microfone foi posicionado na sala receptora (Figura 46).

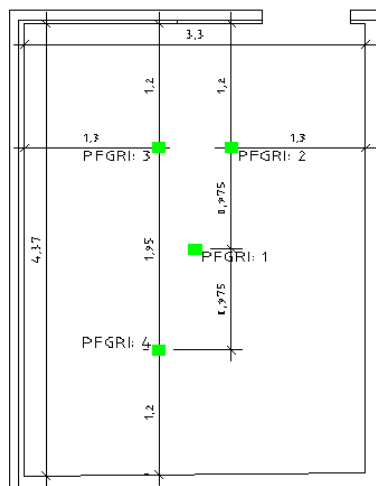


Figura 45 - Posições de fonte geradora de ruído de impacto.

Fonte: Autora.

Legenda:

- ✓ PFGRi: Posição de fonte geradora de ruído de impacto.

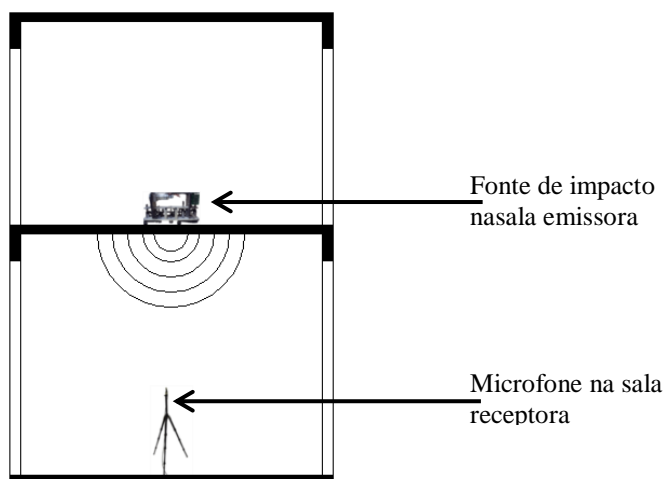


Figura 46 - Posições de fonte geradora de ruído de impacto

Fonte: Autora.

Conforme as exigências das normas, respeitando sempre a distância mínima de 0,70 m entre superfícies e microfones, (Figura 47), e a altura de 1,30 m do chão chegou-se a 15 possíveis posições de microfone na sala receptora. Como o número de microfone tem que ser igual ao número de posições de fonte de impacto ou múltiplo inteiro do número de fonte só puderam ser usados 12 pontos diferentes de microfone. No total foram efetuadas medições com: 4 posições de fonte geradora de impacto, 12 pontos de microfone e 2 repetições de medição para cada combinação de fonte/receptor conforme exigência mínima da norma (ISO 10140-4) nas 9 combinações de piso/material resiliente, totalizando 864 medições de NPS de impacto para cada tipo de fonte geradora de ruído de impacto.

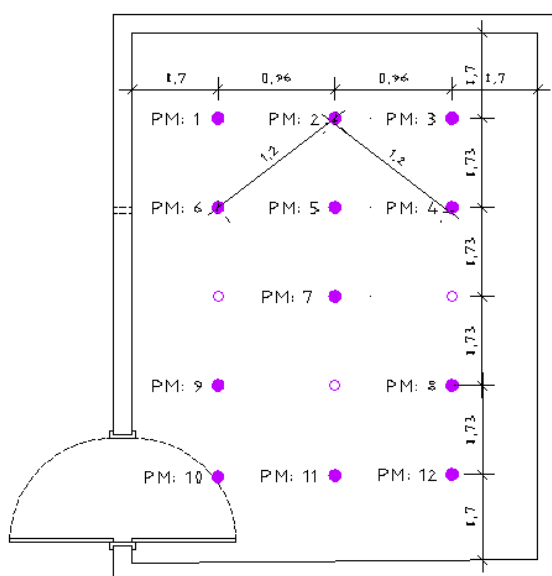


Figura 47 - Posições de microfone.

Fonte: Autora.

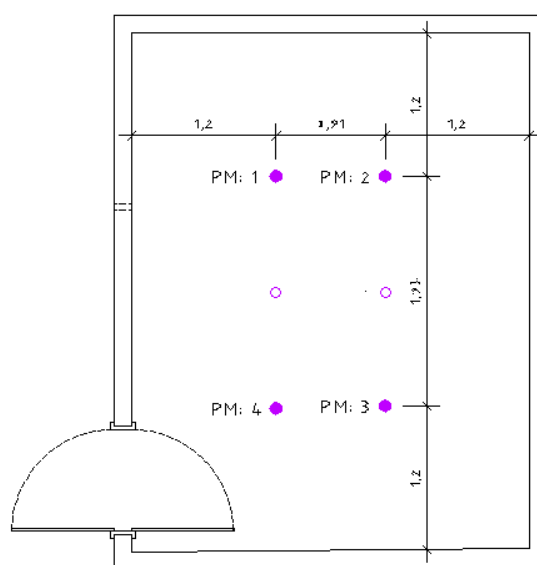


Figura 48 - Posições de microfone segundo Anexo A da ISO 10140-4.

Fonte: Autora.

Legenda:

- ✓ ● Posição de microfone utilizadas;
- ✓ ○ Posição de microfone descartada.

Foram realizados experimentos segundo o Anexo A da ISO 10140-4 observando-se os procedimentos adicionais para medições em baixas frequências. Recomenda-se que em baixas frequências, abaixo de 400 Hz, em geral, e especialmente abaixo de 100 Hz, a distância entre

os microfones e as paredes, deve ser aproximadamente de 1,2 m (valor máximo). Isto também é válido para as distâncias entre os microfones e a superfície do elemento de teste (ver Figura 48). Em função das medidas da câmara obteve-se 6 pontos de microfone, mas como o número de posições de microfone tem que ser igual ou múltiplo inteiro do número de fonte geradora de ruído de impacto só pode-se usar 4 posições de microfone.

Desta forma, foram feitas mais medições com 4 posições de fonte geradora de impacto, 4 pontos de microfone e 2 repetições de medição para cada combinação de fonte/receptor conforme exigência mínima da norma nas 9 combinações de piso/material resiliente, totalizando assim 288 medições de NPS de impacto para cada tipo de fonte geradora de ruído de impacto. No total foram realizadas 3456 medições de nível de pressão sonora.

Os dados das medições com a MIN e a MIM foram obtidos através do *Template Explorer - Building Acoustics* do medidor de nível de pressão sonora que fora usado para medições de nível de pressão sonora de ruído de impacto. E as medições com a fonte sonora do tipo pera foram realizadas com o *Template Explorer - Logging*, sendo necessário obter níveis de pressão sonora em função do tempo, uma vez que estas necessitam do nível de pressão sonora de impacto máximo medido no tempo de integração *Fast*.

Para realizar as medições com a pera foi utilizado um mecanismo para ajudar a segurá-la durante as mesmas e, desta forma, garantir que fosse solta sempre da mesma altura (ver Figura 49), uma vez que foi feita uma marca na corda para saber aonde ela deveria ficar no suporte. Para que o mecanismo não vibrasse contra a parede quando a pera fosse solta, colocou-se material absorvedor, (lã de pet)¹⁶ nas extremidades, conforme ilustrado na figura 50.

¹⁶ A lã de pet -poli(tereftalato de etileno) -é uma opção inteligente e ecologicamente correta, pois é reciclada e 100% reciclável. Difere-se dos outros isolantes termoacústicos como a lã de rocha e a lã de vidro, pois é hipoalergênico, dispensa o uso de EPI's - equipamentos de proteção individual - para manuseio, não é cancerígeno e não traz risco à saúde. Sua instalação é prática, rápida e segura. Pode ser fabricado em densidades e dimensões que atendem aos mais diversificados projetos e aplicações como geradores, painel solar, dutos de ar-condicionado, filtragem, salas limpas, divisórias, ambulâncias, entre outros. A lã de pet colabora com o meio ambiente, pois não há necessidade de descartá-lo em aterro, os descartes podem ser reaproveitados, comercializados por cooperativas de produtos recicláveis. Outra qualidade importante é a redução de custo, devido a sua alta capacidade de compactação e alta resiliência, o produto pode ser embalado à vácuo, reduzindo o custo do transporte e espaço de armazenagem.



Figura 49 - Exemplo de colocação da pera de 5 kg.

Fonte: Autora.



Figura 50 - Mecanismo de suporte da pera de 5 kg.

Fonte: Autora.

De posse dos resultados das medições com a MIN e a MIM calculou-se o NPS de impacto médio para cada combinação piso/amostra de material resiliente, para cada frequência através da equação (5). Na sequência, foi realizada a comparação entre o NPS do ruído de fundo e o L_i médio, a fim de verificar se o critério de diferença mínima de 15 dB foi atendido. Como a diferença dos NPS do ruído de fundo e do ruído de impacto foi maior ou igual a 15 dB de 80 Hz a 3.15 kHz, não foram necessárias correções.

Após a obtenção dos resultados calculou-se o NPS de impacto normalizado, de acordo com:

$$L_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad [\text{dB}], \quad (10)$$

sendo:

- L_n : nível de pressão sonora médio normalizado, no compartimento receptor, [dB];
- L_i : nível de pressão sonora médio medido, no compartimento receptor, [dB];
- A : área de absorção sonora equivalente do compartimento de recepção, [m²];
- A_0 : área de absorção sonora de referência, 10 m².

Nas medições em laboratório não foi levada em conta a parcela de ruído indireto, transmitida pelos flancos.

Além disso, foi calculado o $L_{n,\text{global}}$ conforme:

$$L_{n,global} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{L_{n1}/10} \right) \quad [\text{dB}], \quad (11)$$

sendo:

- $L_{n,global}$: nível de pressão sonora médio normalizado medido em todas as bandas de terço de oitava, no compartimento receptor, [dB];
- L_{n1} : nível de pressão sonora médio normalizado medido em cada banda de terço de oitava, no compartimento receptor, [dB];

Com base nos resultados obtidos nos ensaios com a pera calculou-se o $L_{i,Fmax,j}$ de impacto médio para cada combinação piso/amostra de material resiliente, para cada frequência através da equação (2). Em seguida calculou-se $L_{i,Fmax}$ que é a média aritmética dos $L_{i,Fmax,j}$, por meio da equação (3). A partir de então, foi realizada a comparação entre o NPS do ruído de fundo e o $L_{i,Fmax}$, a fim de verificar se o critério de diferença mínima de 15 dB foi atendido. Identificou-se apenas uma diferença maior ou igual a 15 dB de 80 a 3.15 kHz, de modo que foram dispensadas as correções.

2.3 Considerações pertinentes a realização do trabalho

O ruído de fundo em torno do laboratório é muito intenso, uma vez que outros laboratórios que estão no mesmo pavilhão também realizam experimentos que emitem ruído e isto atrapalhava as medições. Além disto, a universidade está em crescimento e o ruído externo, em função das obras (prédios, calçamentos de ruas e estacionamentos) também é intenso. Por isso, o melhor horário para as medições é o noturno, após a meia noite.

Este horário, no entanto, dificulta as medições se elas forem realizadas numa época do ano com temperaturas baixas, em função da temperatura e da umidade estarem mais baixas período. O laboratório é muito úmido, por isso se recomenda o uso de estufa e desumidificador para estabilizar as condições de temperatura e umidade. Para isso deve-se deixá-los ligados antes das medições ou entre os dias de medição, se elas não forem realizadas no mesmo dia.

Com relação ao medidor de NPS utilizou-se 2 *Template Explorer*: o *Building Acoustics* para medir o L_n e o *Logging* para o $L_{i,Fmax}$. Ao usar o *Building Acoustics* precisa selecionar na tela do NPS, no canto direito, quando a medição será de nível de pressão sonora

de impacto (L_2), de ruído de fundo (B_2) ou de tempo de reverberação (T_2). Caso contrário o medidor só irá registrar a medição que estiver selecionada neste item.

O *Logging* só calcula o $L_{i,Fmax}$, por isso é necessário usar o *Building Acoustics* para calcular o B_2 . O problema é que ao trocar o *Template Explorer* o medidor não salvava as configurações e a cada troca de *Template Explorer* tinha que configurá-lo novamente.

Em função disto, optou-se por usar dois medidores, ambos foram calibrados antes do início das medições, só que um ficou no *Building Acoustics* calculando apenas o B_2 e outro, primeiramente, calculou o TR através do *Template Explorer – Reverberation Time* e depois ficou no *Logging* para calcular o $L_{i,Fmax}$.

2.4 Análise estatística dos dados

Nesta etapa foram realizadas análises estatísticas incluindo análises da incerteza da medição em relação aos dados obtidos nas medições. Para tal foram aplicados os métodos estipulados na ISO 5725-2:1994 que considera a análise dos dados como um problema estatístico a ser resolvido por um especialista em estatística e que envolve três fases sucessivas: um exame crítico dos dados; cálculo dos valores preliminares de precisão e meio, para cada nível separadamente; e o estabelecimento de valores finais de precisão e meio, incluindo o estabelecimento de uma relação entre a precisão e o nível m , quando a análise indica que tal relação pode existir. O método de análise adotado nesta parte da ISO 5725 envolve a realização da estimativa de m e a precisão para cada nível separadamente. Todavia, nem sempre pode ser dado como certo que existe uma relação regular funcional entre precisão e m .

Verificou-se a qualidade dos resultados dos experimentos com as diferentes fontes geradoras de ruído de impacto, tanto pesado quanto leve, através da análise do histograma, do coeficiente de assimetria, do boxplot e do teste de Kolmogorov-Smirnov dos dados de tempo de reverberação e da análise, da variância, do desvio padrão, do erro padrão, do coeficiente de variação, do coeficiente de assimetria, do histograma, do boxplot e do teste de Kolmogorov-Smirnov do L_n e do $L_{i,Fmax}$, estes foram calculados em função da pressão sonora já que a escala de dB se trata de uma escala logarítmica e relativa. Os histogramas, os boxplots e os testes de Kolmogorav-Smirnov foram realizados pelo Programa Minitab® 15.1.30.0. (edição de experimentação), os demais testes foram realizados no excell.

Estas análises foram realizadas a fim de averiguar se os dados possuíam distribuição simétrica ou não e se seguiam uma distribuição normal ou não, para assim confirmar o uso da média dos dados nos cálculos conforme estipulado pelas normas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados para as frequências compreendidas entre 80 Hz e 400 Hz, obtidos nos experimentos realizados para obtenção da transmissão sonora do ruído de impacto, foram analisados separadamente para as fontes normalizadas e para a fonte não normalizada, comparando-se as medições com os diferentes números de microfones.

Além disso, foi realizada uma comparação entre 12, 4 e 16 pontos de microfone, a fim de comprovar a eficiência do procedimento adicional, conforme o Anexo A da ISO 10140-4:2010.

Ainda, considerando as recomendações da norma e que os dados obtidos apresentam uma distribuição não normal foi realizada análise comparativa do uso da média e da mediana nos resultados.

Os gráficos de tempo de reverberação e área de absorção sonora equivalente encontram-se no Apêndice A.

3.1 Fontes padronizadas

Este item mostra os resultados do nível de pressão sonora de impacto em pisos em bandas de terço de oitava, entre 80 Hz e 400 Hz para cada uma das 9 combinações de piso / material resiliente (conforme Tabela 7) para a MIN e a MIM. Para a obtenção dos resultados dos NPS que seguem, primeiramente foi feita a média energética das duas medições realizadas em cada ponto de microfone e posteriormente a média energética total.

Em função da atenuação sonora na propagação sonora ser inversamente proporcional à temperatura e umidade, os experimentos foram feitos nas condições de temperatura e umidade exigidas pelas normas: entre 18 e 25 °C e com umidade relativa inferior a 80% conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Valores Temperatura e Umidade encontrados nas Câmaras de Emissão e Recepção durante as medições

Dia das Medições	Valores Temperatura e Umidade			
	Temperatura - °C		Umidade - %	
	Sala Emissora	Sala Receptora	Sala Emissora	Sala Receptora
10/04/2013	20,8	22,1	76	71
11/04/2013	22,5	22,1	78	78
16/04/2013	19,2	19,4	65	63
17/04/2013	19	18,4	67	61
18/04/2013	18,3	19,1	71	62
19/04/2013	18,6	18,8	70	64
20/04/2013	18,5	18,4	70	68
22/04/2013	19,5	19,8	80	76
23/04/2013	19,9	19,2	72	74
06/05/2013	18,4	18,3	73	65

Fonte: Autora

Ao analisar o resultado dos níveis de pressão sonora de impacto normalizado da MIN e da MIM (ver Figuras 51a, 51b, 52, 53a, 53b, 53c, 54a, 54b e 55) observa-se, primeiramente, que as combinações de pisos com lã de vidro (LV) se diferem das outras combinações que usam EVA e das que não possuem material resiliente. Assim fica claro que para as excitações com MIN e MIM as características do material resiliente determinam os resultados. Os gráficos mostram que há uma maior efetividade da lã de vidro quanto ao conforto acústico pela redução do ruído de impacto.

Dentre as características do material o que pode estar determinando este comportamento é a espessura do material, pois enquanto a LV tem 5 cm de espessura, o EVA tem 1 cm. No entanto, optou-se por esta espessura de EVA por ser esta a mais vendida no comércio para isolamento acústico de ruído de impacto. Assim se sugere outras medições com diferentes espessuras de EVA a fim de verificar se realmente há influencia da espessura nos resultados.

Ao comparar as fontes padronizadas observa-se que a diferença do NPS é constante para as duas fontes independente da combinação de piso / material resiliente utilizada e ela varia muito conforme a frequência que esteja sendo analisada.

Numa segunda análise, observa-se que para as frequências centrais de 100 e 125 Hz o piso cerâmico apresenta melhor desempenho no isolamento de ruído de impacto quando comparado aos outros pisos experimentados. Enquanto que o piso laminado potencializa a transmissão do ruído de impacto em 100 e 125 Hz quando comparado com a laje em “osso”.

Entretanto, na faixa de 80 Hz o piso laminado tem um ganho em torno de 3 dB no seu desempenho de isolamento de ruído. Em contrapartida o piso cerâmico nesta mesma frequência transmite mais ruído de impacto, variando em torno de 9 dB para a MIM e 12 dB para a MIN. (ver Figuras 51a, 51b, 53a, 53b, 54a e 54b)

Para um melhor entendimento, os dados estão expostos separadamente para as medições com as combinações com contrapiso de concreto, com piso cerâmico, com piso laminado e a comparação entre 12, 4 e 16 pontos de microfone.

3.1.1 Medições com as combinações com contrapiso de concreto

Observando-se os gráficos das medições feitas com contrapiso de concreto com 12 (Figura 51a), 4 (Figura 52) e 16 (Figura 51b) posições de microfone (PM) verifica-se que os espectros de frequências centrais de 12 e 16 apresentam o mesmo comportamento, enquanto que com 4 há uma pequena diferenciação. Assim pode-se definir que para este material o procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010 pode ser dispensado.

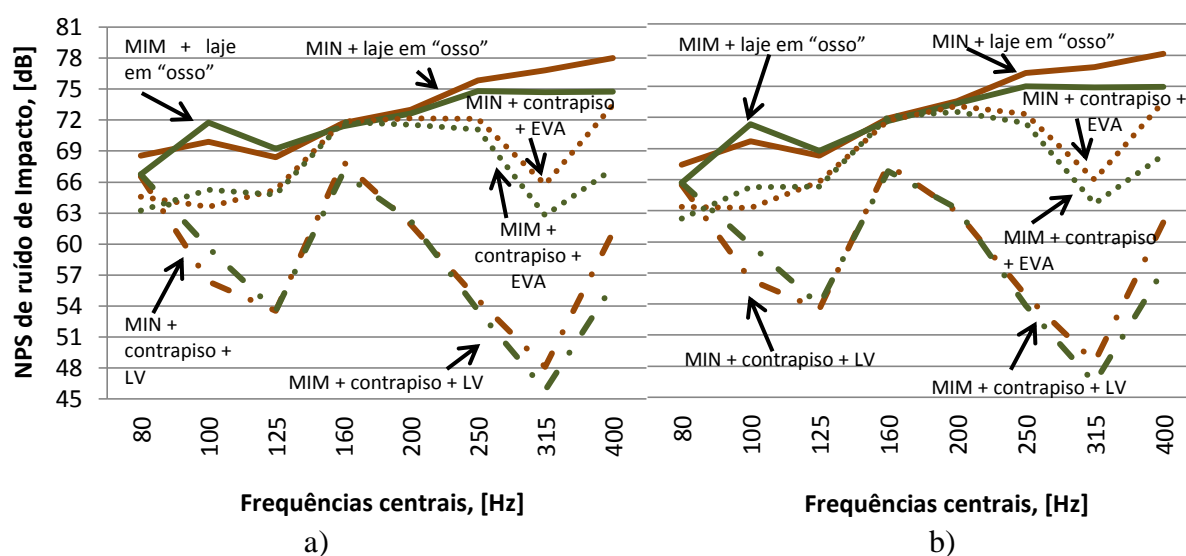


Figura 51 - Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com contrapiso de concreto: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone.

Fonte: Autora.

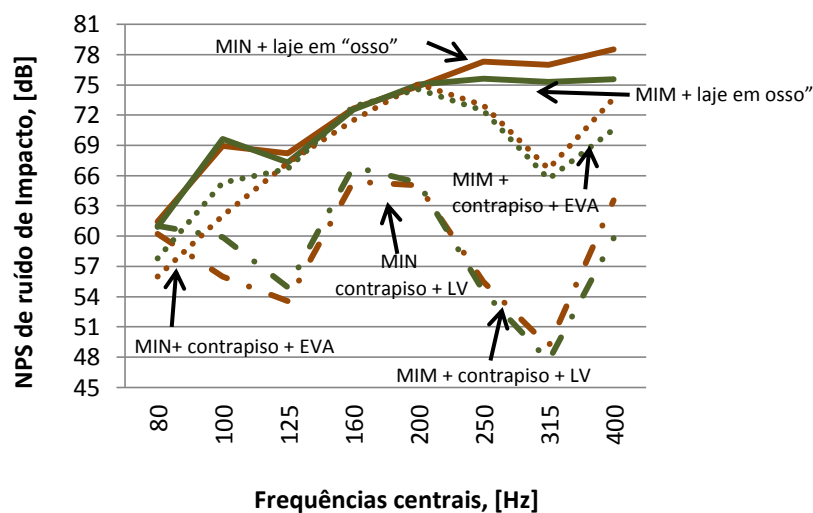


Figura 52: Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com contrapiso de concreto: 4 posições de microfone.

Fonte: Autora.

3.1.2 Medições com as combinações com piso cerâmico

Assim como nos contrapiso de concreto, o comportamento dos espectros de frequências centrais não apresentam alterações significativas para 12 (Figura 53a) e 16 (Figura 53b). Pode-se observar que os NPS das frequências centrais entre 80 e 100 Hz apresentam valores menores quando medidos com 4 (Figura 53c). Entretanto para 12 e 16 posições de microfone estas diferenças não são significativas, corroborando a possibilidade de dispensa do procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010.

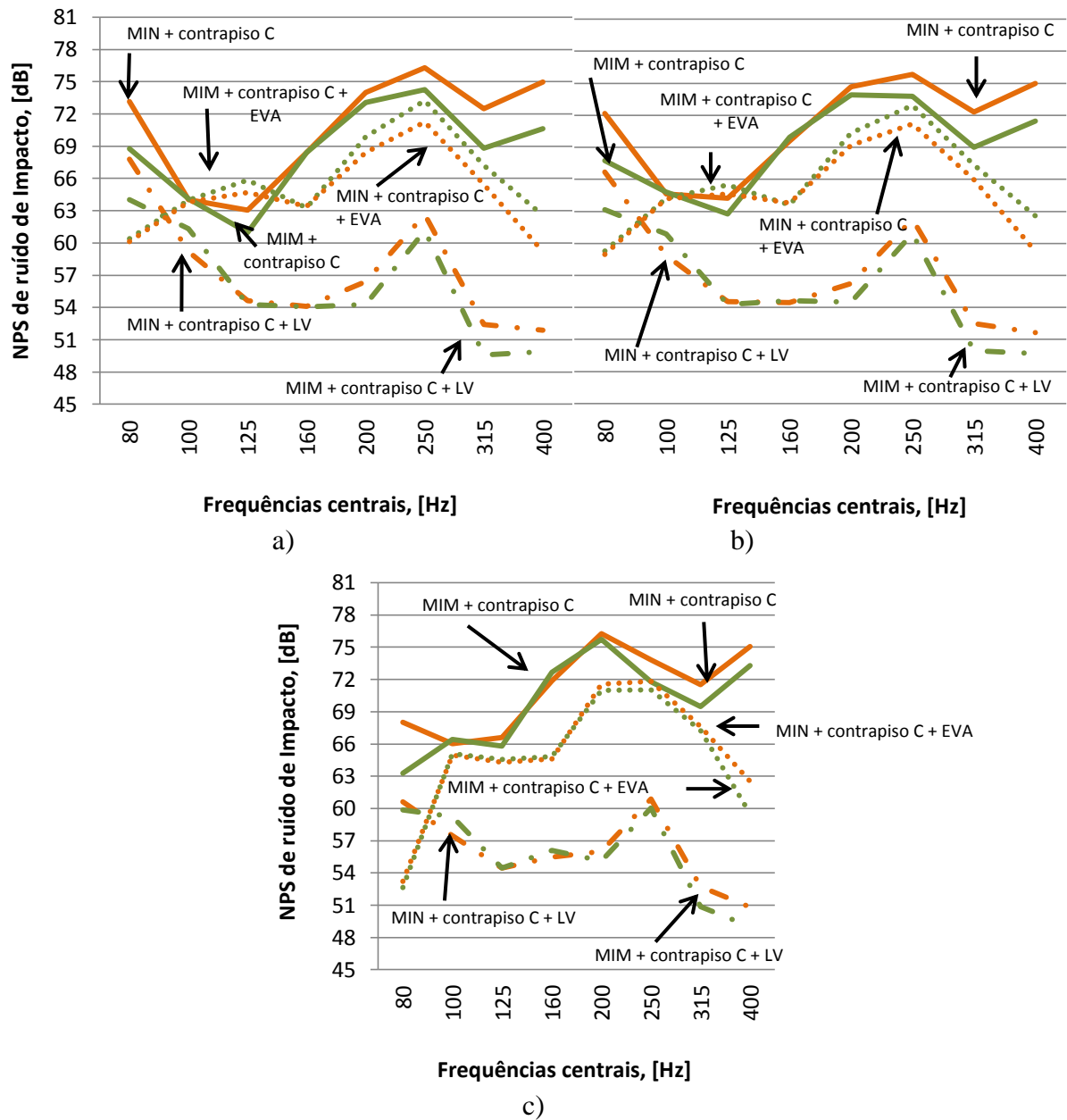


Figura 53 - Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com piso cerâmico: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone e c) 4 posições de microfone.

Fonte: Autora.

3.1.3 Medições com as combinações com piso laminado

Assim como nas combinações com contrapiso de concreto e piso cerâmico, o comportamento dos espectros de frequências centrais não apresentam alterações significativas para 12 (Figura 54a) e 16 (Figura 54b). Pode-se observar que os NPS das frequências centrais entre 80 e 100 Hz apresentam valores menores quando medidos com 4 (Figura 55c). Entretanto para 12 e 16 posições de microfone estas diferenças não são significativas, ratificando a possibilidade de dispensa do procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010.

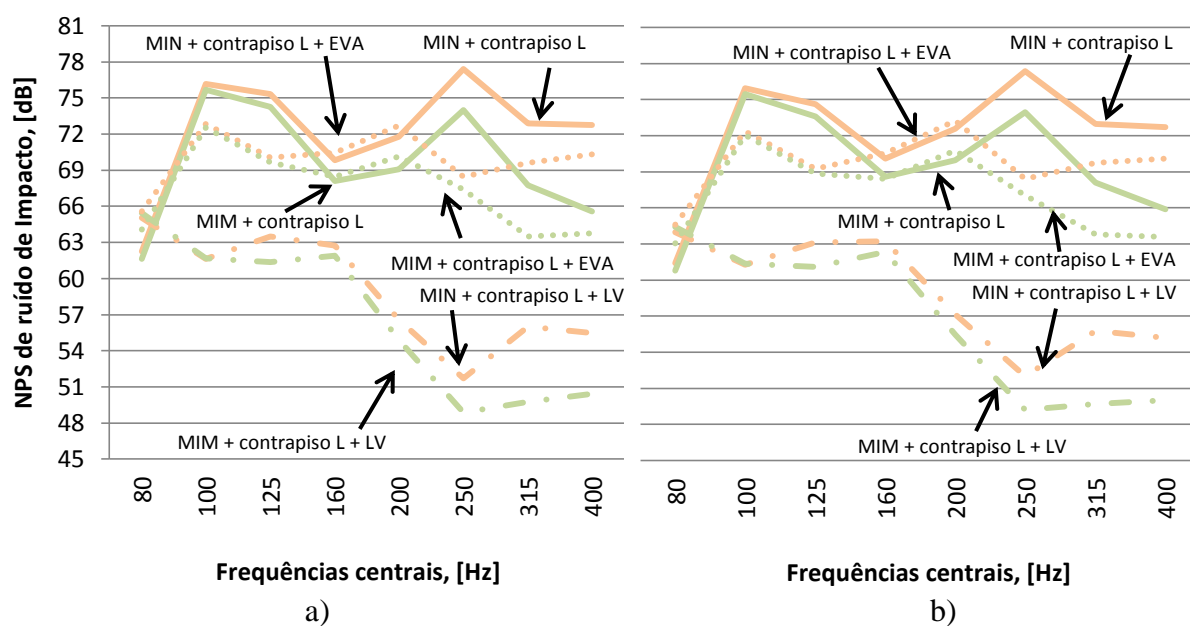


Figura 54 - Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com piso laminado: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone.

Fonte: Autora.

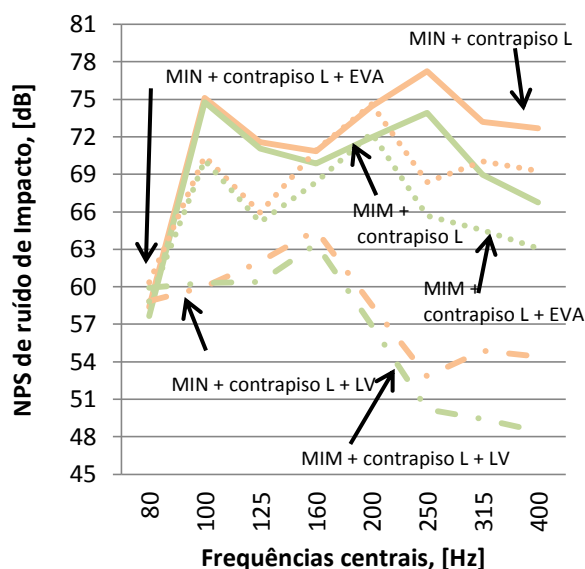


Figura 55: Níveis de pressão sonora médios do ruído de impacto gerado pela MIN e MIM obtidos com as combinações com piso laminado: 4 posições de microfone.

Fonte: Autora.

3.1.4 Comparação entre medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone

Através das Tabelas 9 e 10 e das figuras 56 e 57 faz-se uma comparação entre os valores de L_n de 4 x 12 x 16 pontos de microfone a fim de mostrar a diferença nos NPS.

Tabela 9 - L_n das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone para a MIN

		L_n							
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones	Frequências centrais - Hz							
		80	100	125	160	200	250	315	400
Laje em “osso”	12 PM	68,55	69,88	68,43	71,71	73,02	75,85	76,83	77,99
	4 PM	61,42	68,96	68,19	72,62	74,88	77,32	77,00	78,51
	16 PM	67,42	69,68	68,33	71,92	73,54	76,26	76,87	78,12
contrapiso + Lã de vidro	12 PM	66,57	56,40	53,54	68,00	61,90	54,63	48,12	61,11
	4 PM	60,22	55,97	53,55	65,38	65,02	55,46	49,09	63,57
	16 PM	65,48	56,31	53,51	67,43	62,90	54,85	48,39	61,86
contrapiso + EVA	12 PM	64,60	63,58	65,24	71,86	72,19	72,12	65,76	73,45
	4 PM	55,97	62,00	67,23	71,48	75,06	72,95	66,68	73,65
	16 PM	63,38	63,25	65,81	71,72	73,09	72,33	66,01	73,49

Continua.

L_n									
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones	Frequências centrais - Hz							
		80	100	125	160	200	250	315	400
contrapiso cerâmico	12 PM	73,16	64,02	63,06	68,42	74,00	76,32	72,51	74,97
	4 PM	68,01	66,03	66,60	71,88	76,26	73,84	71,51	75,05
	16 PM	72,18	64,62	64,24	69,56	74,66	75,81	72,28	74,98
contrapiso cerâmico+ Lã de vidro	12 PM	67,81	59,22	54,65	54,09	56,39	62,66	52,40	51,88
	4 PM	60,64	57,47	54,45	55,46	56,03	60,86	52,71	50,83
	16 PM	66,67	58,86	54,56	54,44	56,26	62,27	52,48	51,63
contrapiso cerâmico+ EVA	12 PM	60,39	63,97	65,86	63,28	69,86	73,24	67,23	62,58
	4 PM	53,21	64,95	64,30	64,61	71,58	71,82	67,62	62,51
	16 PM	59,25	64,24	65,47	63,62	70,33	72,92	67,34	62,56
contrapiso laminado	12 PM	62,25	76,19	75,34	69,82	71,76	77,42	72,90	72,76
	4 PM	58,39	75,12	71,57	70,85	74,42	77,23	73,20	72,67
	16 PM	61,42	75,96	74,60	70,07	72,58	77,37	72,98	72,73
contrapiso laminado+ Lã de vidro	12 PM	65,07	61,62	63,49	62,74	56,56	51,69	56,01	55,46
	4 PM	58,85	60,01	62,01	64,54	58,55	52,84	54,87	54,43
	16 PM	64,00	61,29	63,12	63,24	57,13	52,00	55,76	55,21
contrapiso laminado+ EVA	12 PM	65,57	72,84	70,04	70,44	72,72	68,44	69,62	70,34
	4 PM	60,34	70,42	65,94	70,92	74,58	68,36	70,02	69,26
	16 PM	64,58	72,37	69,26	70,53	73,24	68,42	69,73	70,08

Fonte: Autora.

Ao comparar os resultados obtidos nas medições com a MIN com 12, 4 e com a soma deles, totalizando 16 pontos de microfone, observa-se que entre os valores de NPS obtidos com 12 e com 4 há uma diferença de 3,97 a 8,75 dB em 80 Hz, sendo que na maioria das combinações de piso / material resiliente essa diferença fica entre 6 e 7,50 dB, sendo considerada uma grande diferença nos valores de NPS. Nas demais frequências centrais a diferença está em torno de 1 dB. Entretanto, ao analisar as medições com 12 e 16 posições de microfone, observa-se que a diferença de NPS em 80 Hz diminui acentuadamente variando de 1,55 a 2,27 dB e a maioria das combinações de piso / material resiliente varia entre 2,10 e 2,27 dB. As demais frequências centrais na sua maioria não chegam a 1 dB, com exceção de 125 e 200 Hz que têm algumas combinações que variam em torno de 1,5 dB. Isto reforça o já afirmado anteriormente sobre a dispensa do procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010. (ver Figura 56)

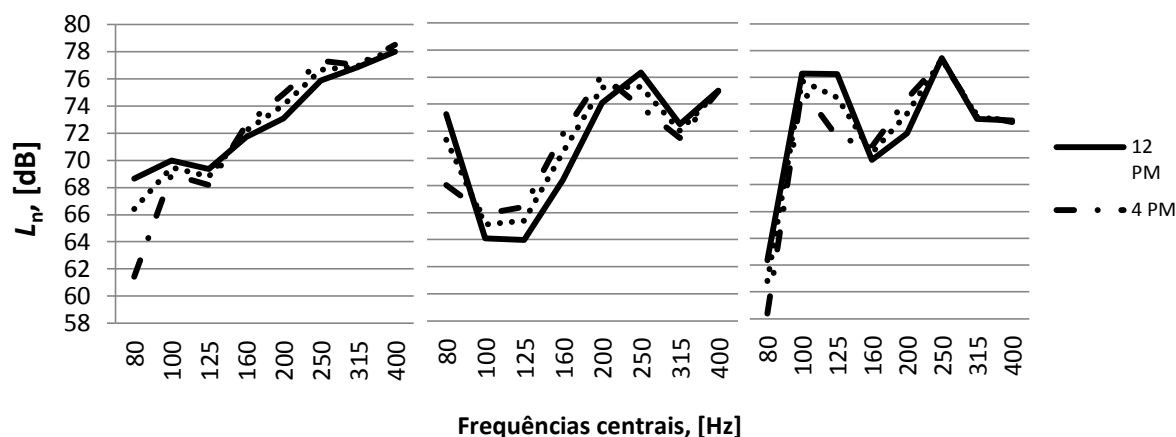


Figura 56 - Exemplos da comparação entre os NPS das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

Tabela 10 – L_n das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone para a MIM

		L_n							
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones	Frequências centrais - Hz							
		80	100	125	160	200	250	315	400
Laje em “osso”	12 PM	66,75	71,75	69,24	71,38	72,64	74,82	74,71	74,73
	4 PM	60,90	69,63	67,33	72,55	75,01	75,60	75,31	75,55
	16 PM	65,71	71,35	68,79	71,67	73,34	75,02	74,87	74,94
contrapiso + Lã de vidro	12 PM	66,73	59,63	53,56	66,86	62,24	53,58	45,87	56,02
	4 PM	61,00	59,91	54,94	66,90	65,32	54,53	47,65	59,82
	16 PM	65,70	59,71	53,92	66,83	63,22	53,83	46,39	57,32
contrapiso + EVA	12 PM	63,24	65,25	64,80	71,79	71,57	71,08	62,76	67,25
	4 PM	57,81	65,32	66,69	72,87	74,54	72,41	65,67	70,57
	16 PM	62,24	65,28	65,33	72,05	72,51	71,45	63,69	68,35
contrapiso cerâmico	12 PM	68,78	64,10	60,97	68,43	73,08	74,27	68,84	70,62
	4 PM	63,29	66,43	65,80	72,65	75,75	71,80	69,48	73,30
	16 PM	67,77	64,82	62,76	69,92	73,89	73,76	69,01	71,46
contrapiso cerâmico+ Lã de vidro	12 PM	64,04	61,31	54,27	54,04	54,29	61,17	49,58	49,91
	4 PM	59,86	59,26	54,44	56,10	55,14	60,05	50,85	49,01
	16 PM	63,17	60,90	54,27	54,63	54,49	60,91	49,94	49,69
contrapiso cerâmico+ EVA	12 PM	60,15	63,82	64,70	63,39	68,41	71,25	65,45	59,22
	4 PM	52,63	65,09	64,57	64,84	71,01	71,03	67,26	59,51
	16 PM	58,98	64,18	64,63	63,77	69,20	71,19	65,98	59,28
contrapiso laminado	12 PM	61,62	75,68	74,25	68,12	69,07	73,98	67,74	65,60
	4 PM	57,68	74,76	71,07	69,85	71,94	73,92	68,98	66,73
	16 PM	60,75	75,48	73,59	68,60	69,96	73,96	68,09	65,90
contrapiso laminado+ Lã de vidro	12 PM	65,43	61,66	61,37	61,91	54,91	48,86	49,75	50,42
	4 PM	59,91	60,30	60,41	63,44	56,93	50,19	49,43	48,46
	16 PM	64,42	61,37	61,10	62,32	55,48	49,23	49,68	49,99

Continua.

L_n									
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones	Frequências centrais - Hz							
		80	100	125	160	200	250	315	400
contrapiso laminado+ EVA	12 PM	64,05	72,52	69,66	68,45	70,16	67,41	63,51	63,76
	4 PM	58,80	70,10	65,19	68,35	72,29	65,67	64,52	63,08
	16 PM	63,07	72,04	68,84	68,39	70,78	67,03	63,79	63,59

Fonte: Autora.

Ao analisar os resultados obtidos com a MIM com 12, 4 e 16 pontos de microfone observa-se, novamente, que ao comparar os valores de NPS de 12 e 4 a maior discrepância nos resultados está em 80 Hz, uma vez que a diferença está entre 4,29 e 7,63 dB e a maioria dos valores está em torno de 5,50 dB. Por outro lado, para as combinações analisadas em outras frequências centrais a diferença de NPS varia em torno de 1 dB, com exceção de 200 Hz, que para a maioria das combinações o NPS varia em torno de 2,50 dB. Já ao analisar as diferenças de NPS de 12 e 16 posições de microfone, observa-se que em 80 Hz essas diferenças variam entre 1,57 e 2,32 dB, estando na maioria dos casos em torno de 2 dB. E as demais frequências centrais possuem uma discrepância em 125 Hz que varia 5,48 dB e três combinações, sendo uma, ainda, em 125 Hz, uma em 160 Hz e uma em 400 Hz que estão em torno de 2,50 dB. O restante das combinações está em torno de 1 dB. Confirmando, assim, mais uma vez que o procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010 pode ser opcional, visto que não interfere nos resultados. (ver Figura 57)

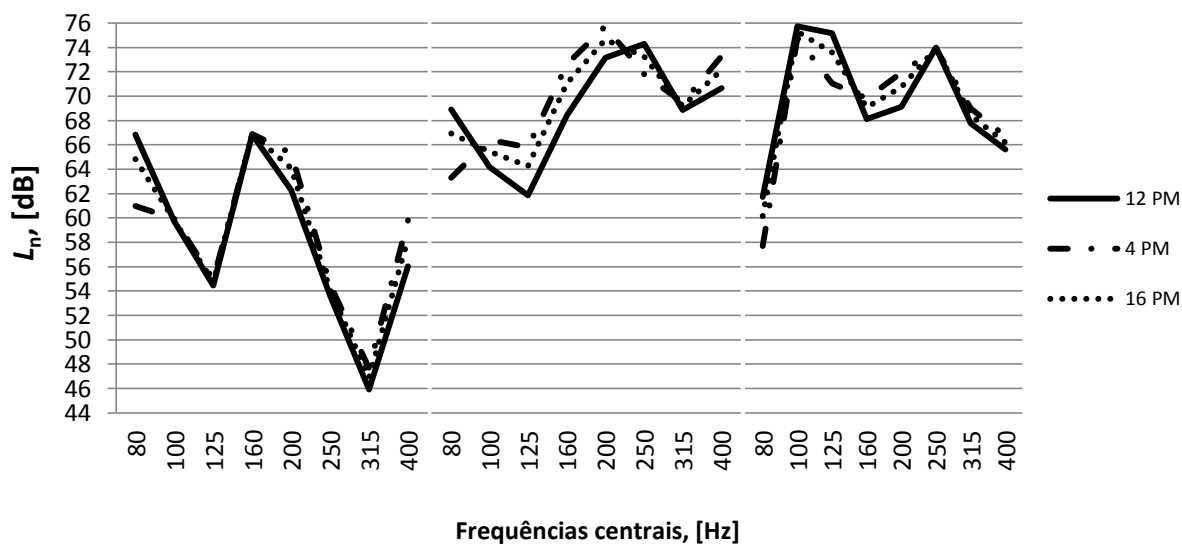


Figura 57 - Exemplos da comparação entre os NPS das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

3.2 Fonte não padronizada

Aqui serão mostrados os resultados do nível de pressão sonora máximo, para pisos, medido com tempo de integração *Fast* em pisos em bandas de terço de oitava, entre 80 Hz e 400 Hz para cada uma das 9 combinações de piso / material resiliente (conforme Tabela 7) para a pera.

Como a atenuação na propagação sonora é inversamente proporcional à temperatura e umidade, os experimentos foram realizados conforme as condições de temperatura e umidade exigidas pelas normas: entre 18 e 25 °C e com umidade relativa inferior a de 80% conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Valores Temperatura e Umidade encontrados nas Câmaras de Emissão e Recepção durante as medições

Valores Temperatura e Umidade				
Dia das Medições	Temperatura - °C		Umidade - %	
	Sala Emissora	Sala Receptora	Sala Emissora	Sala Receptora
30/05/2013	18,4	18,0	66	71
31/05/2013	18,1	19,9	66	59
03/06/2013	18,3	18,6	63	75
05/06/2013	18,0	18,6	74	66
06/06/2013	19,2	19,9	59	62
07/06/2013	17,9	18,8	61	60
10/06/2013	21,1	19,5	73	65
11/06/2013	18,3	22,5	71	65
12/06/2013	18,2	23,0	79	62

Fonte: Autora

Para a obtenção dos resultados que seguem, primeiramente, fez-se a média energética das duas medições realizadas em cada ponto de microfone e depois a média energética total destas conforme equação (3).

Ao contrário das medições com as fontes padronizadas, observa-se ao analisar os resultados dos níveis de pressão sonora de impacto máximo medido com tempo de integração *Fast* (ver Figuras 58a, 58b, 59, 60a, 60b, 60c, 61a, 61b e 61c) que as combinações com tipos de piso sem material resiliente se diferem das combinações com material resiliente, independente do tipo. Isto fica claro, pois as transmissões sonoras nos pisos cerâmico e laminado são maiores do que na laje em “osso”. Por outro lado, quando se utiliza material resiliente junto ao piso, em termos de pisos cerâmicos e laminados, o uso da lã de vidro e EVA reduzem de tal forma que os NPS ficam parecidos aos obtidos com a laje em “osso”. Mostrando que as características dos materiais resilientes usados comercialmente para isolamento acústico dos referidos pisos interferem nos resultados obtidos com este tipo de fonte, uma vez que há ganho no isolamento sonoro. Assim sendo, pode-se dizer que estes materiais resilientes são necessários considerando o tipo específico de excitação por fonte não padronizada (bola de areia), já que nas residências não se usa piso de concreto e sim cerâmico ou laminado.

Ainda, analisando os resultados obtidos com este tipo de fonte de ruído de impacto observa-se que entre os materiais resilientes utilizados a lã de vidro é o que proporciona melhor isolamento acústico independente do tipo de piso utilizado. (ver Figuras 58a, 58b, 59, 60a, 60b, 60c, 61a, 61b e 61c)

Para um melhor entendimento, os dados estão expostos separadamente para as medições com as combinações com contrapiso de concreto, com piso cerâmico, com piso laminado e a comparação entre 12, 4 e 16 pontos de microfone.

3.2.1 Medições com as combinações com contrapiso de concreto

Assim como para as fontes padronizadas os gráficos da fonte não padronizada para as combinações com contrapiso de concreto verifica-se que os espectros de frequências centrais de 12 (Figura 58a) e 16 (Figura 58b) posições de microfone apresentam o mesmo comportamento, enquanto que com 4 (Figura 59) há uma grande diferenciação. Desta forma, pode-se definir que para este material o procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010 também pode ser dispensado.

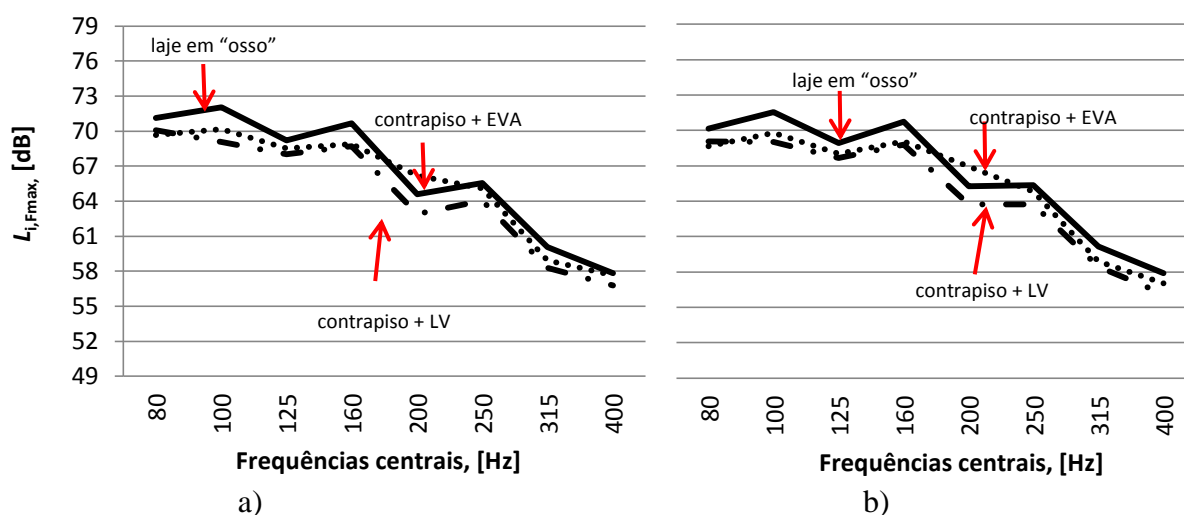


Figura 58 - Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração Fast: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone.

Fonte: Autora.

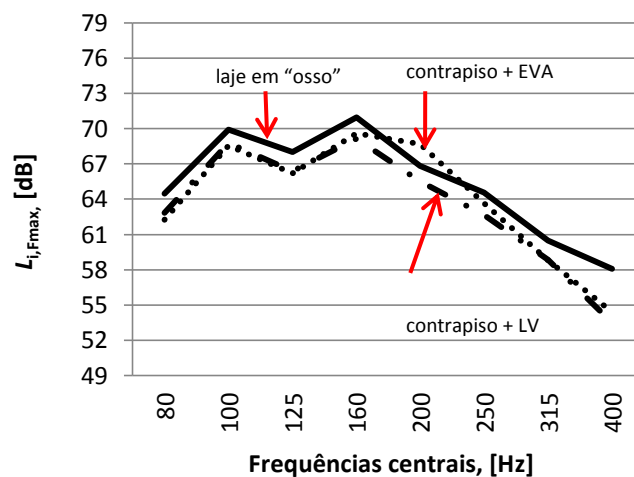


Figura 59: Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração Fast: 4 posições de microfone.

Fonte: Autora.

3.2.2 Medições com as combinações com piso cerâmico

Novamente, o comportamento dos espectros de frequências centrais não apresenta alterações significativas para 12 (Figura 60a) e 16 (Figura 60b) pontos de microfone. Pode-se observar que os NPS medidos com 4 (Figura 60c) apresentam valores maiores para o piso sem material resiliente e menores para as combinações com material resiliente, mas ainda muito próximos a laje em “osso”. Ratificando que os materiais resilientes utilizados nesses experimentos proporcionam melhoria em termos de isolamento sonoro para este tipo de fonte geradora de ruído. As diferenças de NPS entre 12 e 16 posições de microfone não são significativas, corroborando a possibilidade de dispensa do procedimento adicional da ISO 10140-4:2010, Anexo A.

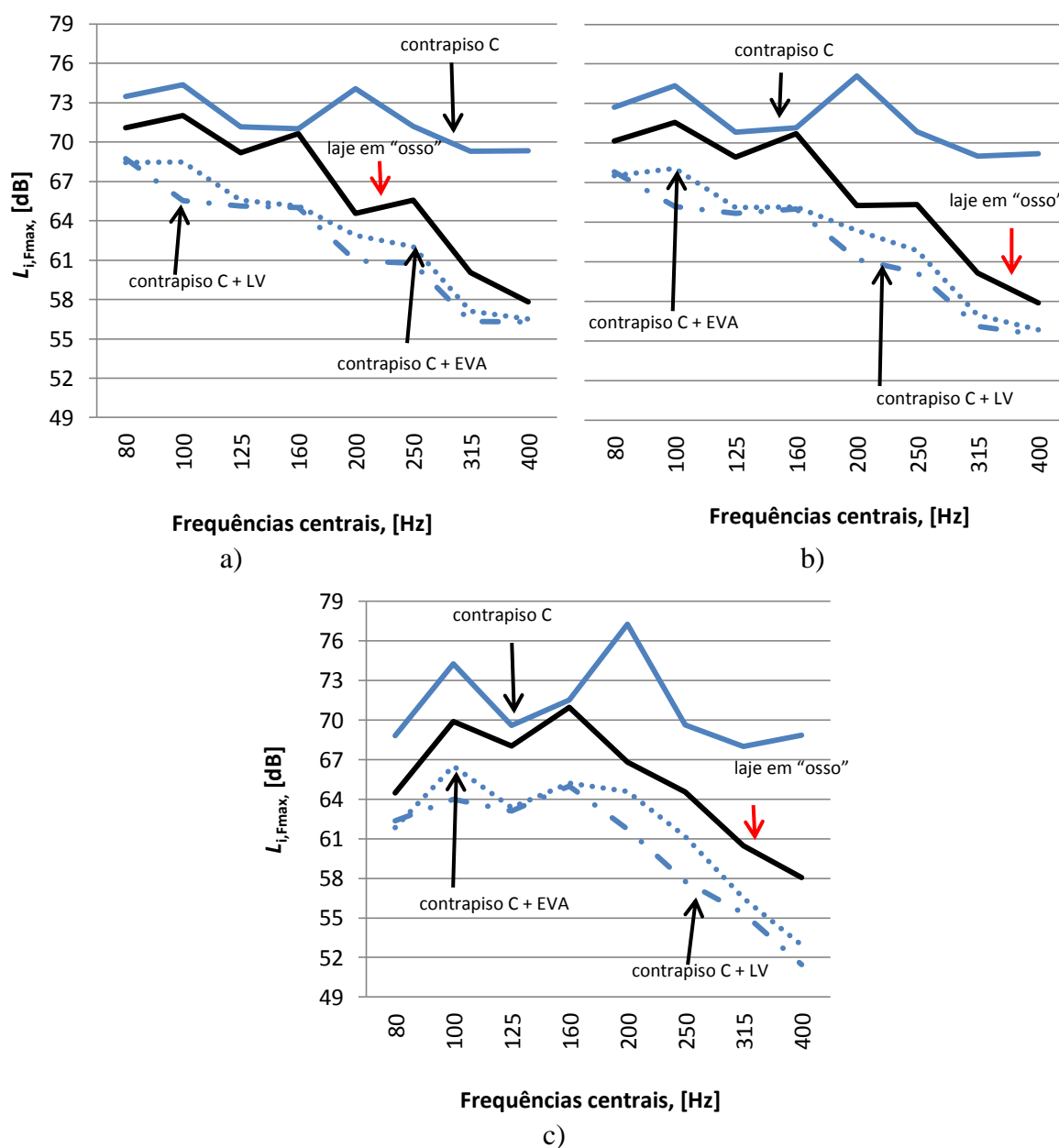


Figura 60 - Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração Fast: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone e c) 4 posições de microfone.

Fonte: Autora.

3.2.3 Medições com as combinações com piso laminado

Ao analisar os resultados do NPS com as combinações com piso laminado, observa-se, mais uma vez, que o comportamento dos espectros de frequências centrais não apresenta alterações significativas para 12 (Figura 61a) e 16 (Figura 61b). Mas ao comparar tanto 12

quanto 16 pontos de microfone com 4 (Figura 61c) observa-se que os NPS das frequências centrais apresentam diferenças consideráveis. Ratificando assim a possibilidade de dispensa do procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010. Por conseguinte, reitera-se que para as medições com a pera o que mais diferencia as combinações são as modificações do tipo de piso e que não utiliza material resiliente. Pode-se dizer que o uso do material resiliente interfere no nível de pressão sonora medido com este tipo de fonte geradora de ruído, é de grande importância para efeitos de conforto acústico considerando este tipo de excitação acústica.

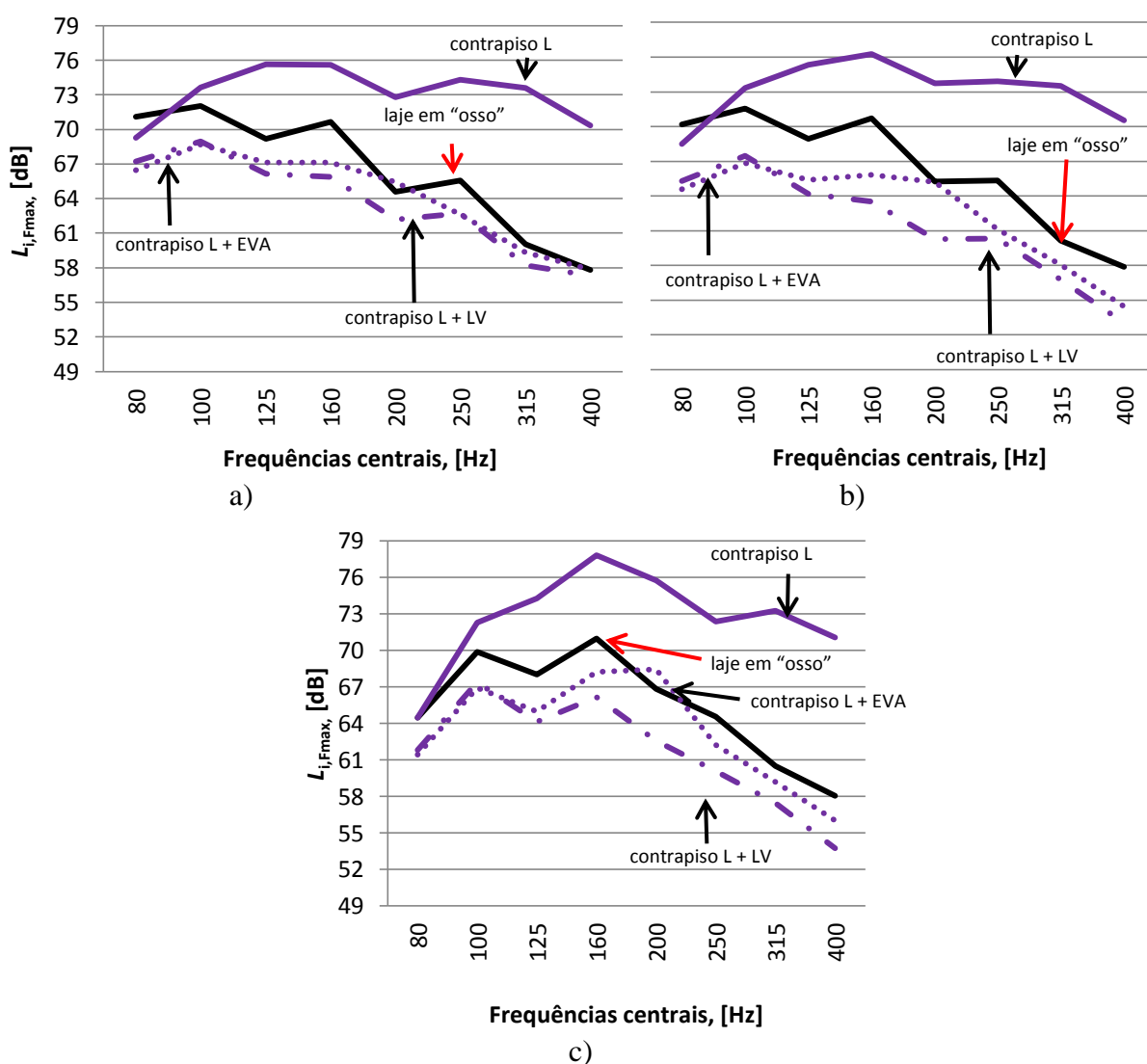


Figura 61 - Nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração Fast: a) 12 posições de microfone, b) 16 posições de microfone e c) 4 posições de microfone.

3.2.4 Comparação entre medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone

A fim de demonstrar a $\Delta L_{i,Fmax}$ entre os valores de $L_{i,Fmax}$ para 12, 4 e 16 pontos de microfone e avaliar se pode existir diferença na percepção sonora causada pela mudança de posição em função das distâncias dos microfones da parede e entre eles, seguem a Tabela 12 e a figura 62.

Tabela 12 - $L_{i,Fmax}$ das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone para a pera

		$L_{i,Fmax}$							
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones	Frequências centrais - Hz							
		80	100	125	160	200	250	315	400
Laje em “osso”	12 PM	71,11	72,02	69,18	70,64	64,58	65,57	60,05	57,82
	4 PM	64,46	69,90	68,03	70,97	66,82	64,55	60,48	58,06
	16 PM	70,16	71,58	68,92	70,73	65,26	65,34	60,16	57,88
contrapiso + Lã de vidro	12 PM	70,05	69,08	68,01	68,69	62,89	64,02	58,30	56,76
	4 PM	62,85	68,78	66,40	69,16	65,53	62,64	58,85	53,49
	16 PM	69,07	69,01	67,66	68,81	63,71	63,71	58,44	56,14
contrapiso + EVA	12 PM	69,67	70,16	68,51	68,89	66,18	65,11	58,93	57,63
	4 PM	62,26	68,54	66,20	69,58	68,69	63,65	58,79	54,40
	16 PM	68,67	69,81	68,03	69,08	66,95	64,79	58,90	57,02
contrapiso cerâmico	12 PM	73,48	74,37	71,16	71,01	74,06	71,20	69,32	69,32
	4 PM	68,82	74,26	69,60	71,51	77,26	69,61	67,98	68,85
	16 PM	72,70	74,34	70,82	71,14	75,11	70,85	69,02	69,21
contrapiso cerâmico+ Lã de vidro	12 PM	68,75	65,54	65,11	65,01	60,96	60,76	56,34	56,29
	4 PM	62,35	64,00	63,10	64,98	61,74	57,77	55,36	51,48
	16 PM	67,82	65,20	64,69	65,00	61,17	60,18	56,12	55,49
contrapiso cerâmico+ EVA	12 PM	68,46	68,48	65,56	65,14	62,87	62,04	57,12	56,50
	4 PM	61,83	66,52	63,36	65,23	64,59	61,16	56,50	52,95
	16 PM	67,52	68,07	65,10	65,16	63,37	61,84	56,97	55,85
contrapiso laminado	12 PM	69,28	73,62	75,65	75,58	72,77	74,30	73,58	70,34
	4 PM	64,49	72,28	74,26	77,81	75,73	72,38	73,24	71,04
	16 PM	68,48	73,32	75,35	76,25	73,72	73,90	73,50	70,52
contrapiso laminado+ Lã de vidro	12 PM	67,23	68,95	66,16	65,88	62,17	62,72	58,20	57,32
	4 PM	61,82	67,38	64,15	66,18	62,57	60,09	57,48	53,73
	16 PM	65,27	67,47	64,17	63,53	60,28	60,31	56,77	53,01
contrapiso laminado+ EVA	12 PM	66,46	68,68	67,12	67,13	65,42	62,64	59,34	57,84
	4 PM	61,43	66,91	64,95	68,23	68,44	62,24	59,18	56,02
	16 PM	64,58	66,84	65,40	65,85	65,21	61,12	58,04	54,45

Fonte: Autora.

Ao comparar os resultados dos NPS obtidos com 12 e 4 pontos de microfone da pera (fonte não padronizada), novamente pode-se observar uma grande diferença em 80 Hz, sendo que na maioria das combinações de piso / material resiliente essa diferença fica entre 5 e 6 dB. Já as demais frequências centrais variam em torno de 1,5, tendo raríssimas exceções em torno de 3 dB. Por outro lado, ao analisar a diferença entre 12 e 16 observa-se que, assim como para as fontes padronizadas, aqui a variação maior ocorre na frequência central de 80 Hz e diminui, variando em torno de 2 dB como as outras fontes. E a diferença de NPS para as demais frequências centrais na sua maioria chegam a 1 dB. O que sugere, como já afirmado anteriormente, que o procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010 pode ser dispensado. (Figura 62)

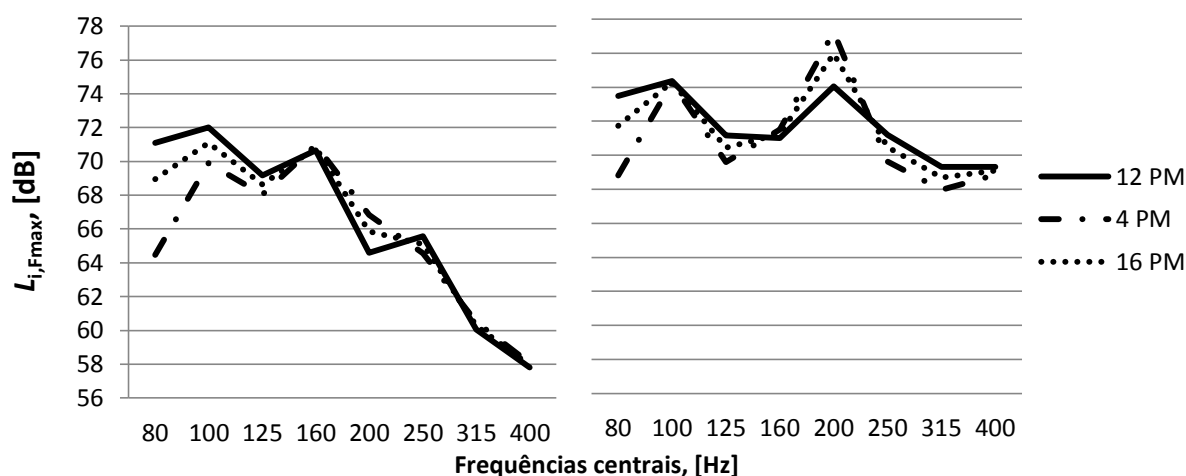


Figura 62 - Exemplos da comparação entre os NPS das medições com 12, 4 e 16 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

3.3 O uso da média nos cálculos de nível de pressão sonora de impacto

Segundo as normas ISO 10140-3, 10140-4 e 10140-5 o nível de pressão sonora de impacto e o nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração *Fast* são calculados em função da média energética dos valores de NPS obtidos em todas as posições de microfone para todas as combinações de piso / material resiliente. Isso implica na média aritmética sobre as pressões sonoras.

Entretanto, ao analisar através de histogramas os dados de pressão sonora obtidos nas medições, foram gerados 216 ao total, isto é, um para cada tipo de combinação piso / material resiliente / frequência central, descobriu-se que eles não têm uma distribuição simétrica, pelo contrário, a grande maioria dos dados de pressão sonora possui uma distribuição assimétrica. (ver Figuras 63, 64, 65 e 66)

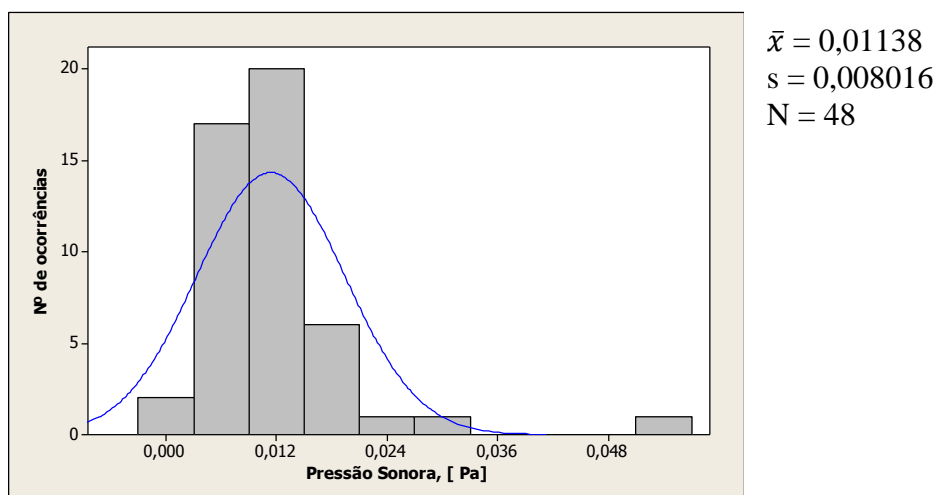


Figura 63 - Exemplo de Histograma dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições – combinação MIN + Laje em “osso” em 80 Hz.

Fonte: Autora.

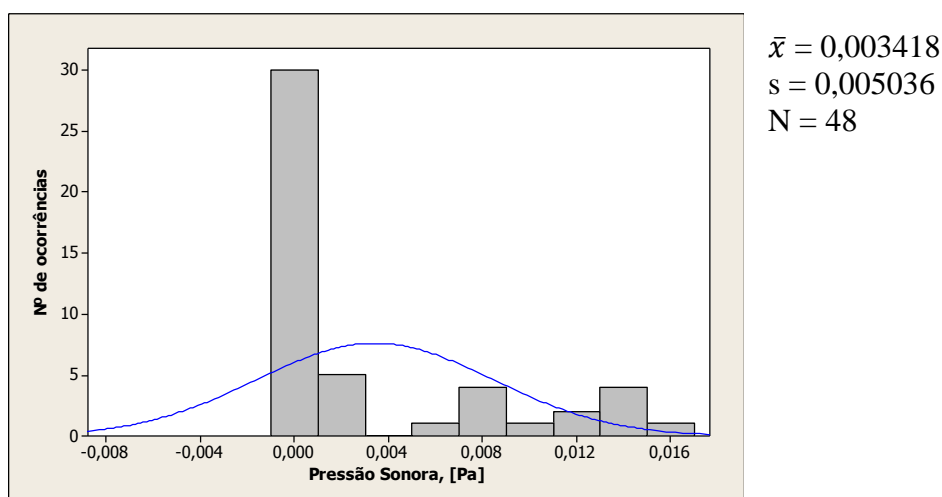


Figura 64 - Exemplo de Histograma dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições – combinação pera + contrapiso cerâmico em 315 Hz.

Fonte: Autora.

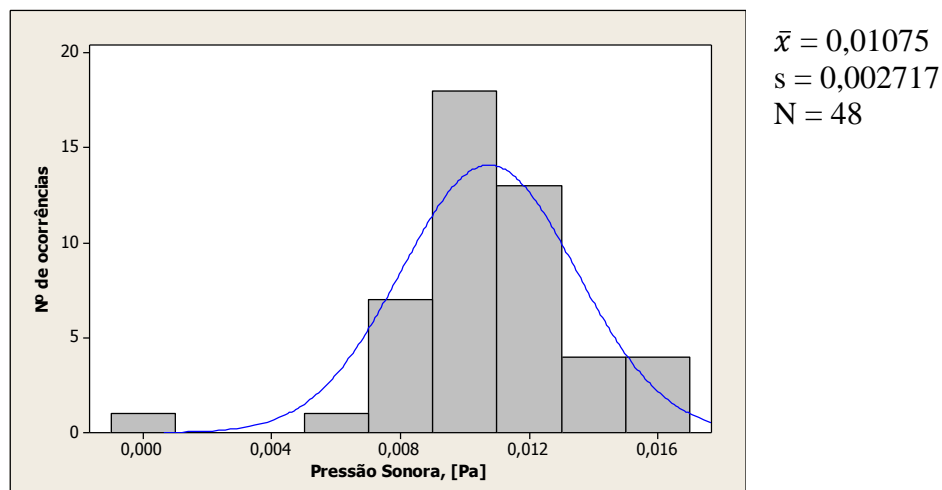


Figura 65 - Exemplo de Histograma dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições – combinação MIN + contrapiso + EVA em 315 Hz.

Fonte: Autora.

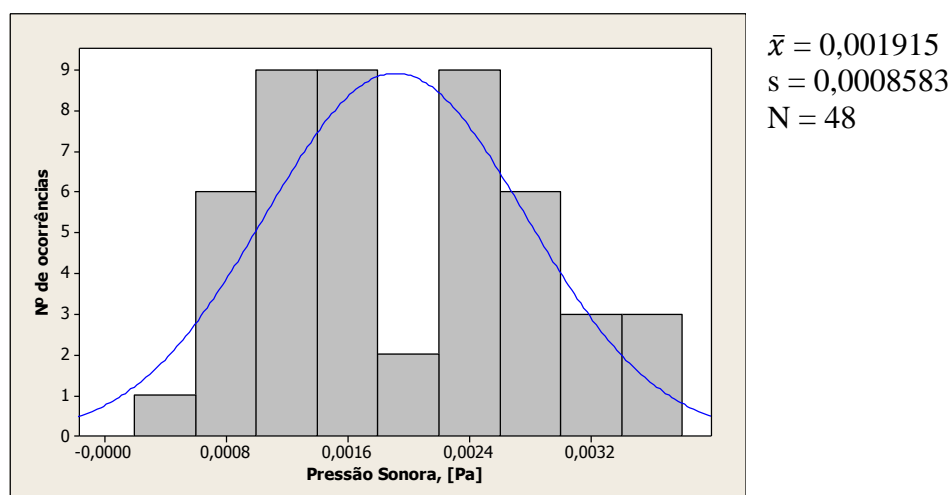


Figura 66 - Exemplo de Histograma dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições – combinação MIN + contrapiso laminado + Lã de vidro em 100 Hz.

Fonte: Autora.

Foram calculados os coeficientes de assimetria que comprovaram que para a MIN 48,16% dos dados possuem uma distribuição assimétrica forte, 46,76% uma distribuição assimétrica moderada e 5,09% uma distribuição assimétrica pequena, sendo 87,04% com distribuição assimétrica positiva. (Figuras 67, 68 e 69). Para a MIM 47,22% têm uma distribuição assimétrica moderada, 44,45% uma distribuição assimétrica forte e 8,33% uma

distribuição assimétrica pequena, sendo 92,13% com distribuição assimétrica positiva. (Figuras 70, 71 e 72). Para a pera 61,57% têm distribuição assimétrica forte, 35,65% distribuição assimétrica moderada, 2,32% distribuição assimétrica pequena e 0,46% distribuição simétrica, sendo 96,76% com distribuição assimétrica positiva. (Figuras 73, 74 e 75).

Tais dados indicam que a média dos dados de pressão sonora é maior que a mediana deles, levantando uma séria dúvida sobre a questão de se utilizar, conforme determina a norma, a média das pressões sonoras e conseqüentemente a média energética dos NPS. Houve apenas um caso de dados com distribuição simétrica que foi com a combinação pera + contrapiso laminado + EVA com 4 pontos de microfone em 80 Hz.

Para um melhor entendimento das figuras de coeficiente de assimetria delimitou-se nas figuras 67, 69, 70, 71, 72, 73 e 75 o valor limite superior em 2,40, todavia existem valores entre 2,40 e 7,90. Também, fez-se uso de linhas verticais azuis que delimitam as frequências centrais e linhas horizontais: entre as linhas rosa e verde estão os dados que têm distribuição assimétrica moderada - positiva ou negativa ($0,15 < \gamma_3 < 1$) – e após as linhas verdes estão os dados que têm distribuição assimétrica forte – positiva ou negativa ($\gamma_3 > 1$).

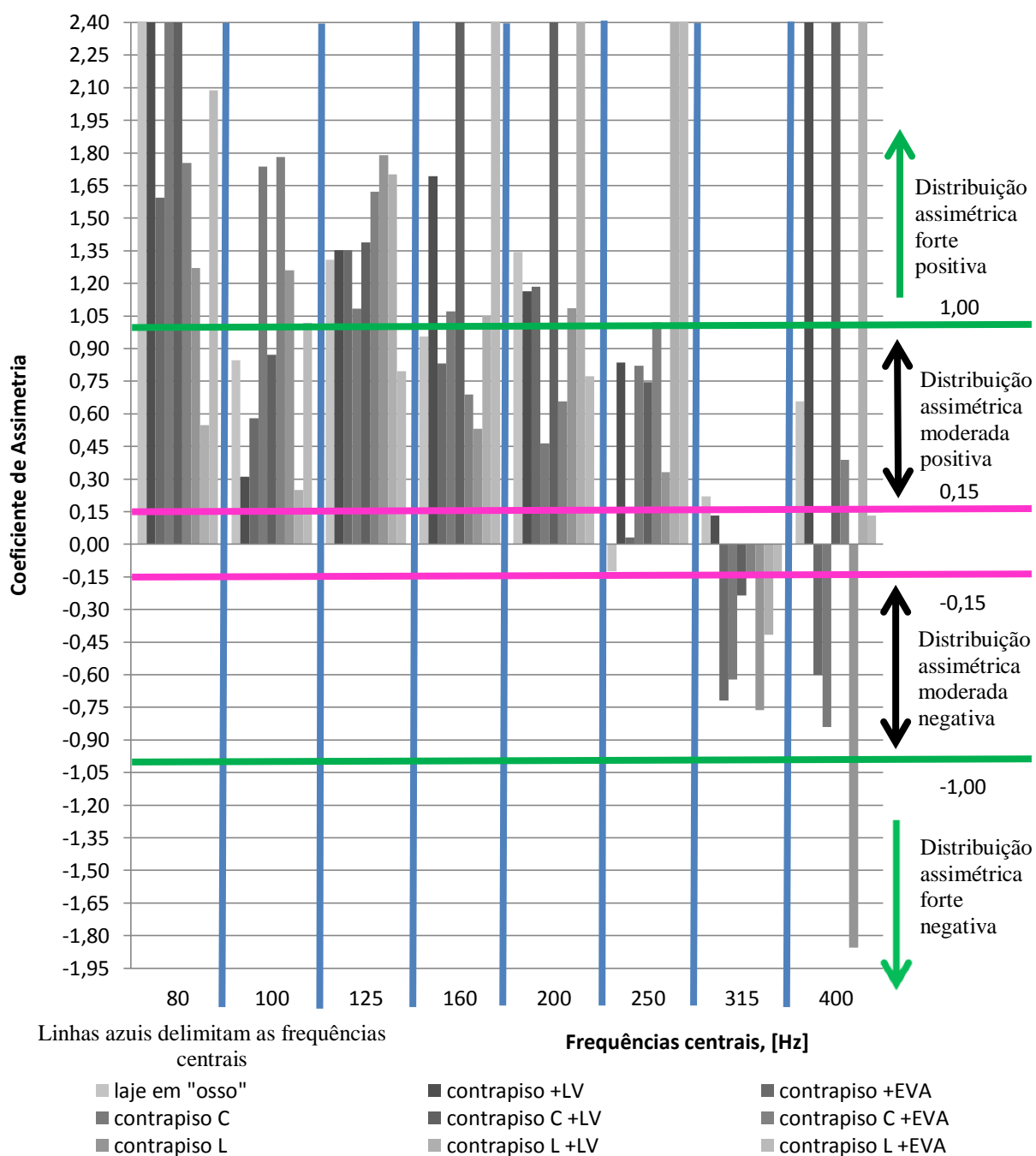


Figura 67 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIN para 12 pontos de microfone.

Fonte: Autora

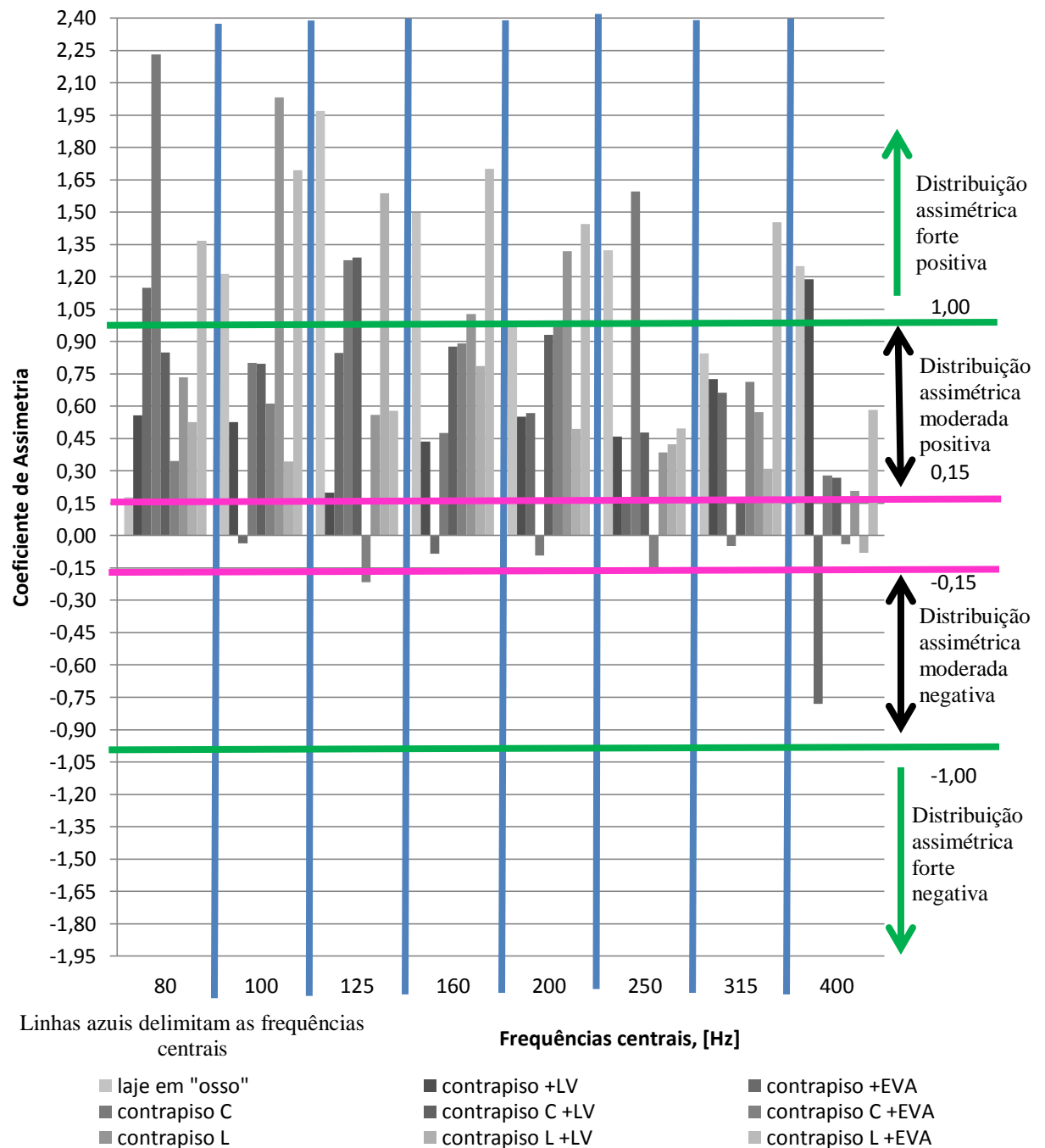


Figura 68 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIN para 4 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

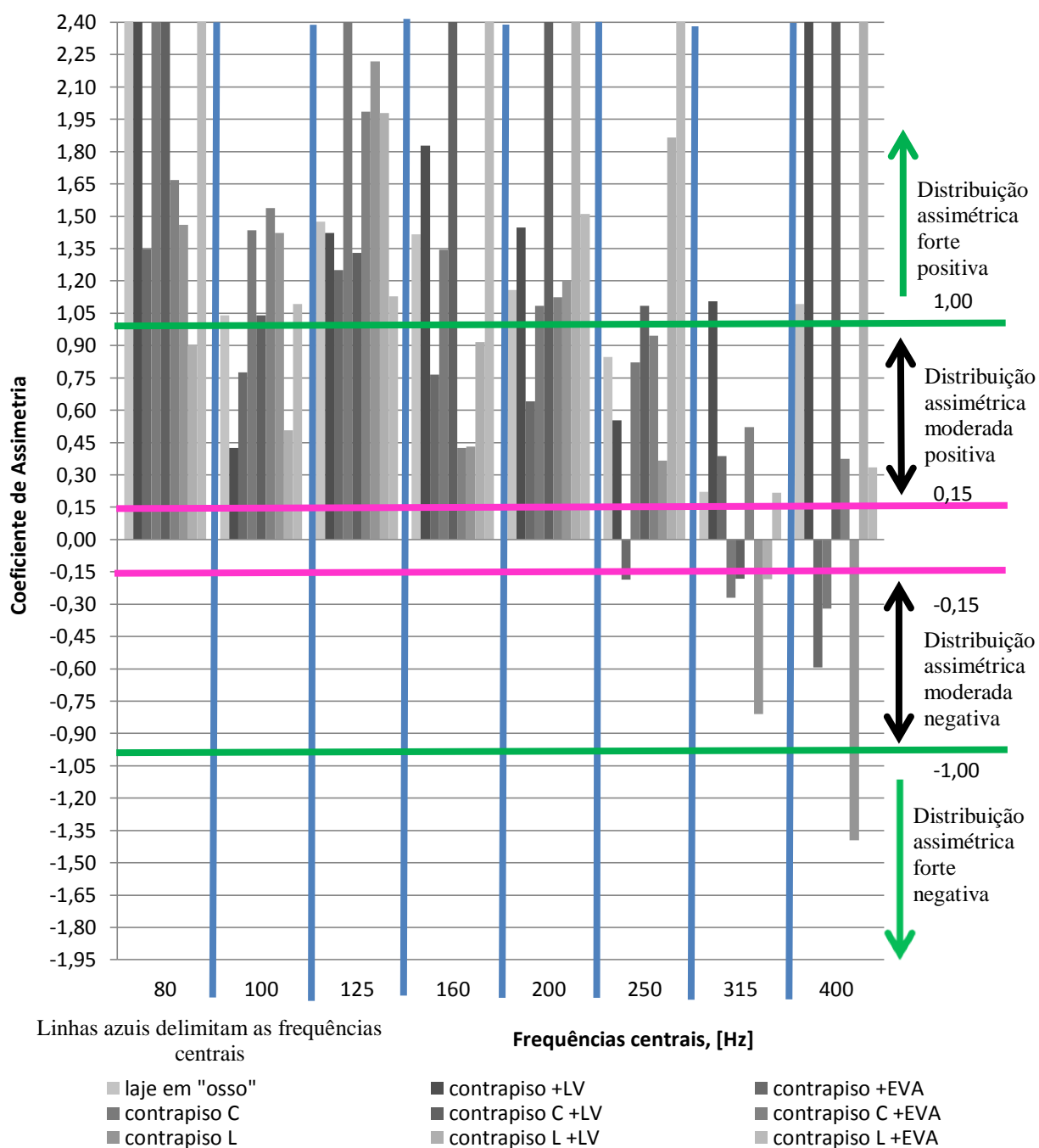


Figura 69 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIN para 16 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

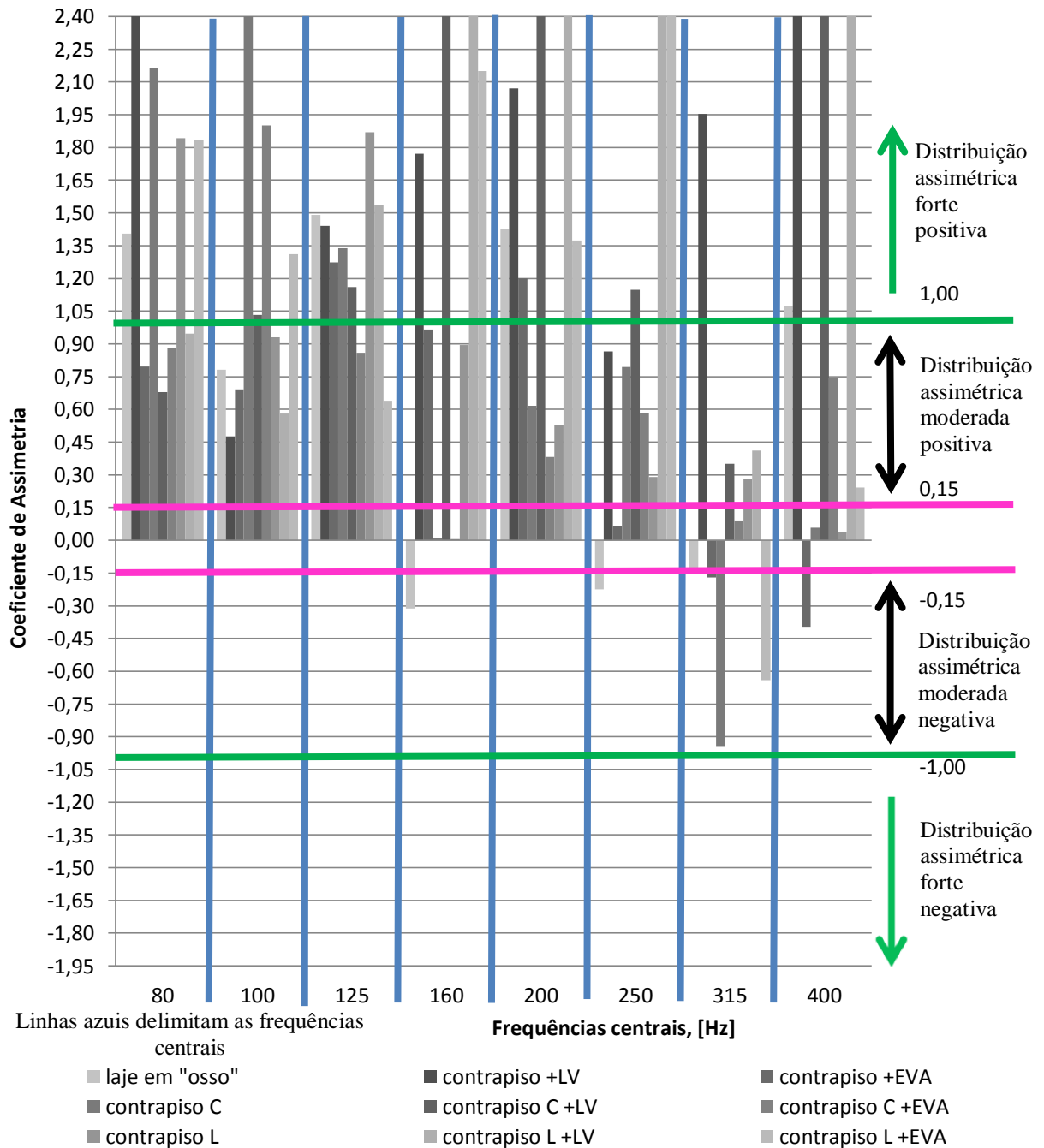


Figura 70 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIM para 12 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

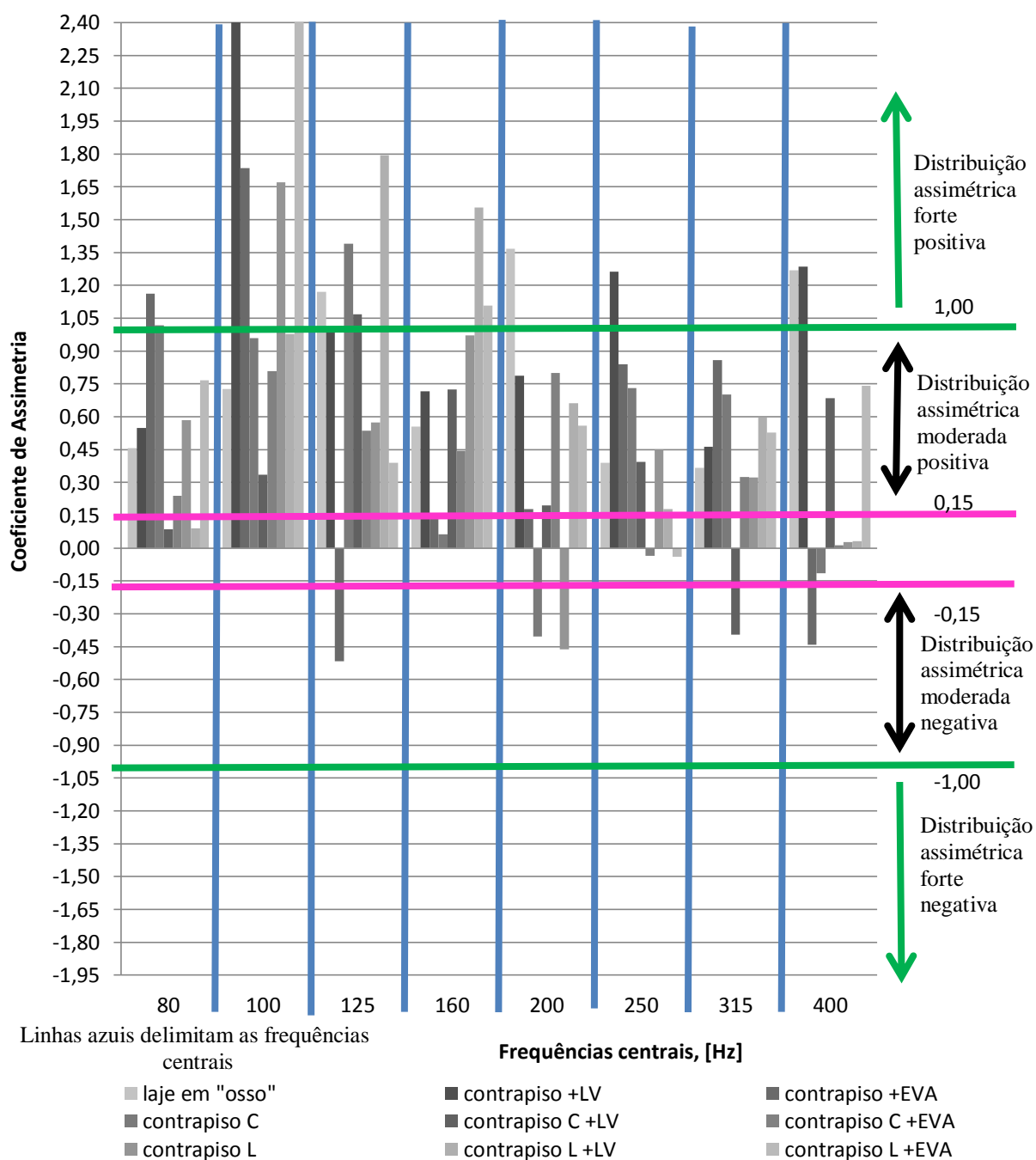


Figura 71 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIM para 4 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

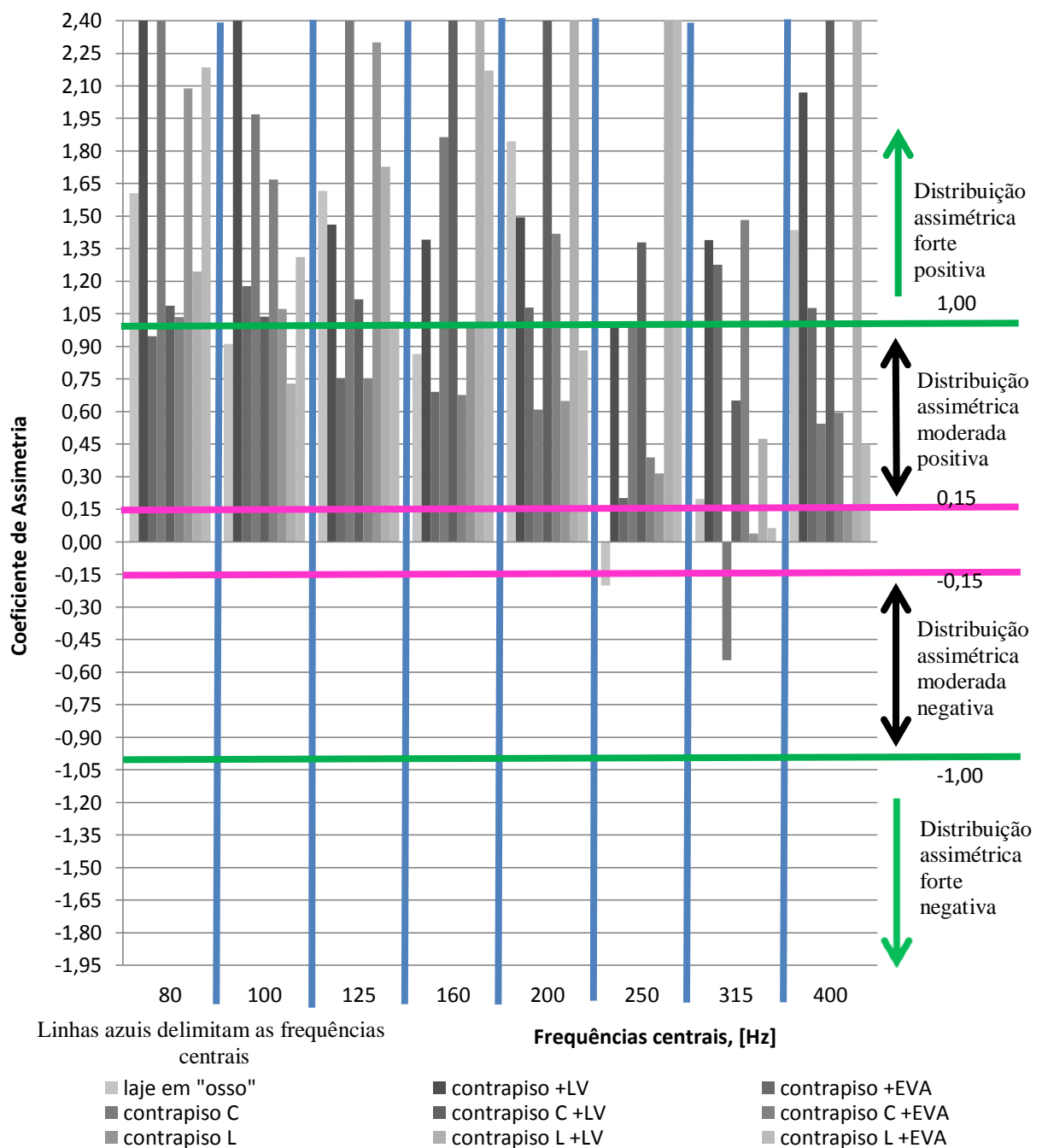


Figura 72 - Coeficiente de assimetria das medições com a MIM para 16 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

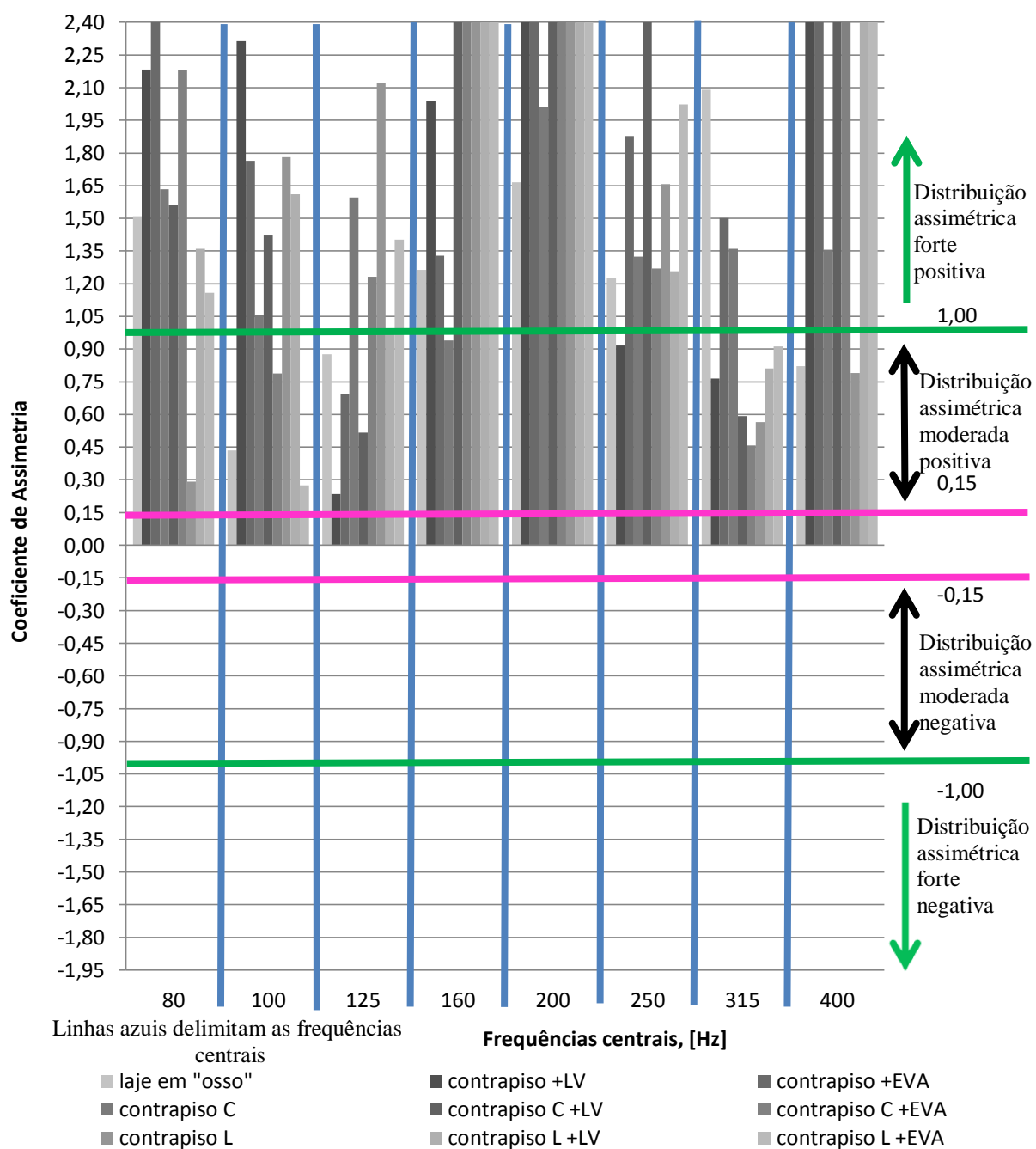


Figura 73 - Coeficiente de assimetria das medições com a pera para 12 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

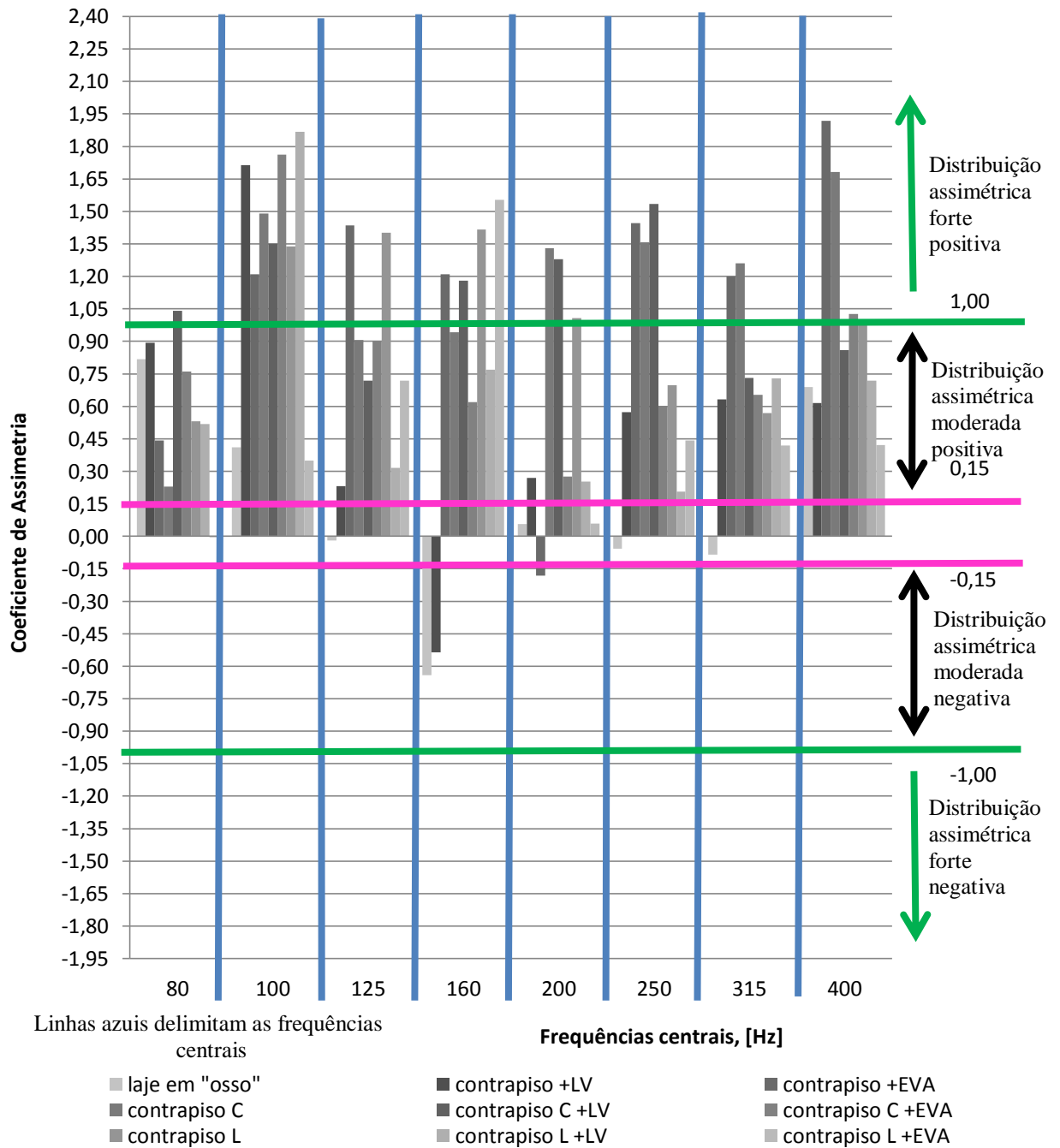


Figura 74 - Coeficiente de assimetria das medições com a pera para 4 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

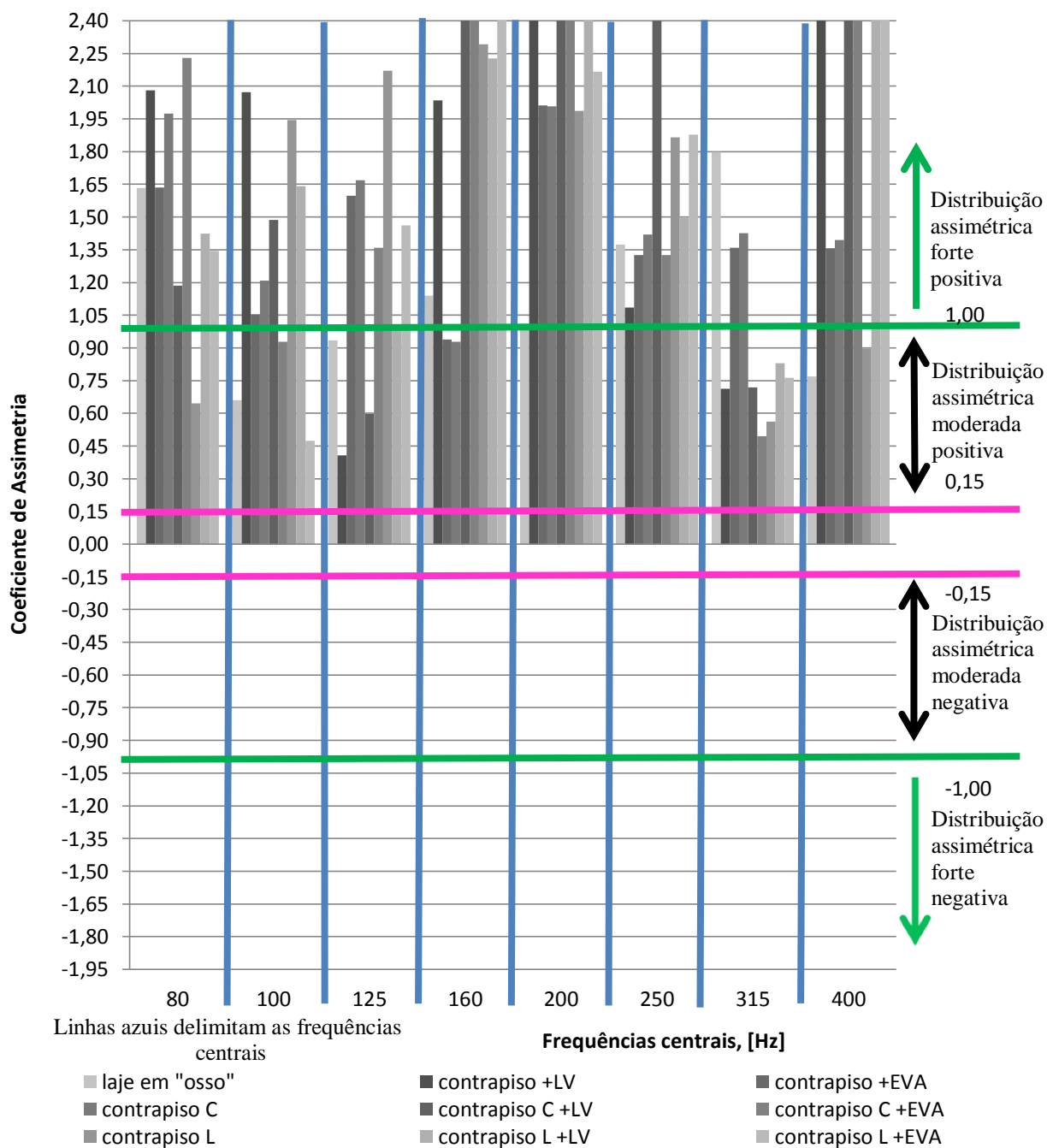


Figura 75 - Coeficiente de assimetria das medições com a pera para 16 pontos de microfone.

Fonte: Autora.

Ao analisar os boxplots gerados em função dos resultados de pressão sonora também é evidente a distribuição assimétrica deles. Ainda há uma grande ocorrência de outliers, isto é, valores discrepantes que alteram o valor da média aritmética das pressões sonoras, fazendo com que a mesma tenha um valor que não corresponde à descrição verdadeira da tendência central dos dados (Figura 76).

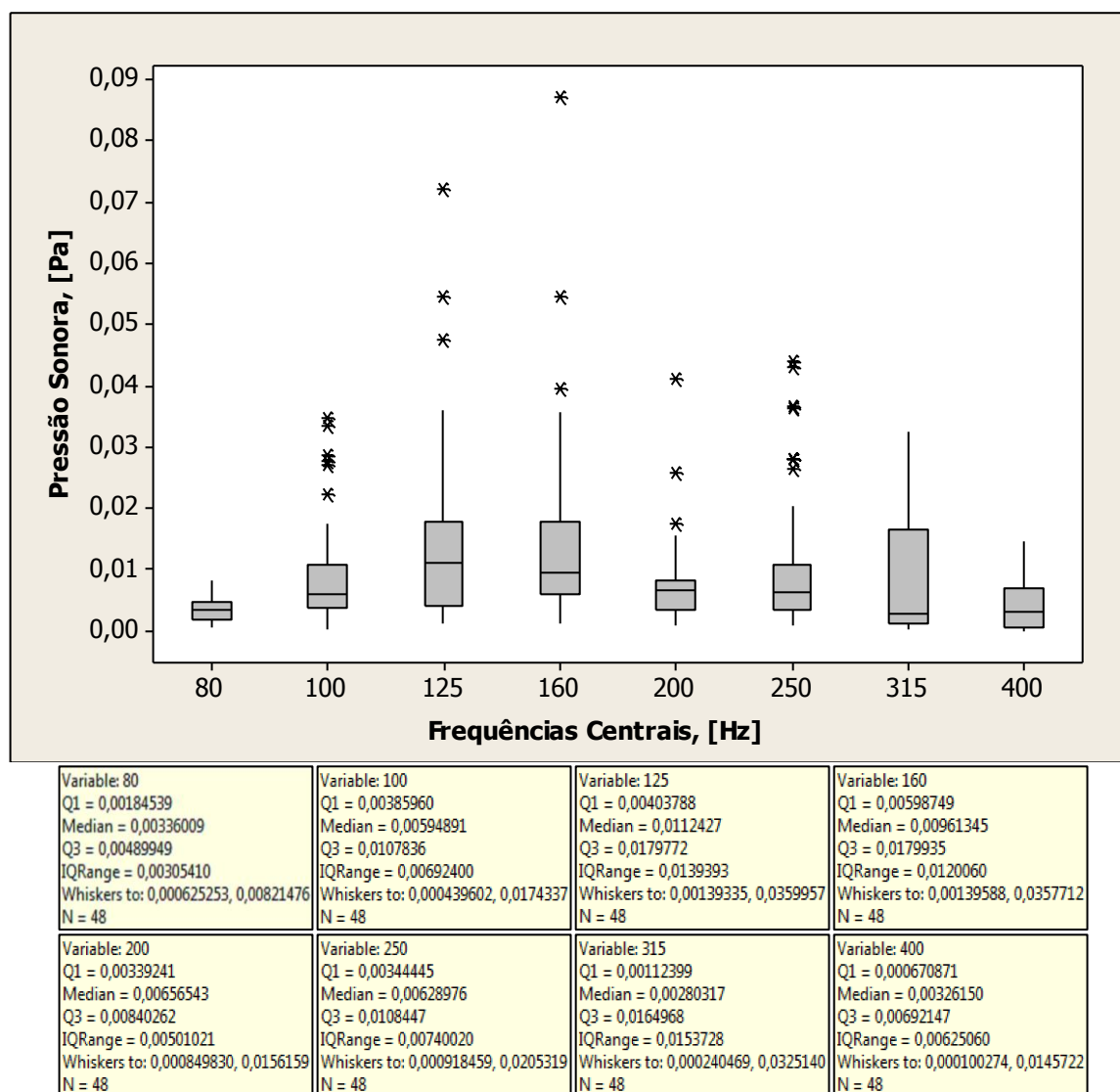


Figura 76 - Boxplots predominantes dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições.

Fonte: Autora.

Por conseguinte, ao analisar os gráficos gerados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado aos dados de pressão sonora confirmou-se que os dados não possuem uma distribuição normal (Figura 77), o que indica que o uso da média aritmética das pressões sonoras e consequentemente a média energética dos NPS não é o procedimento mais apropriado para os cálculos em função de esta nestes casos não ser um indicador representativo dos dados.

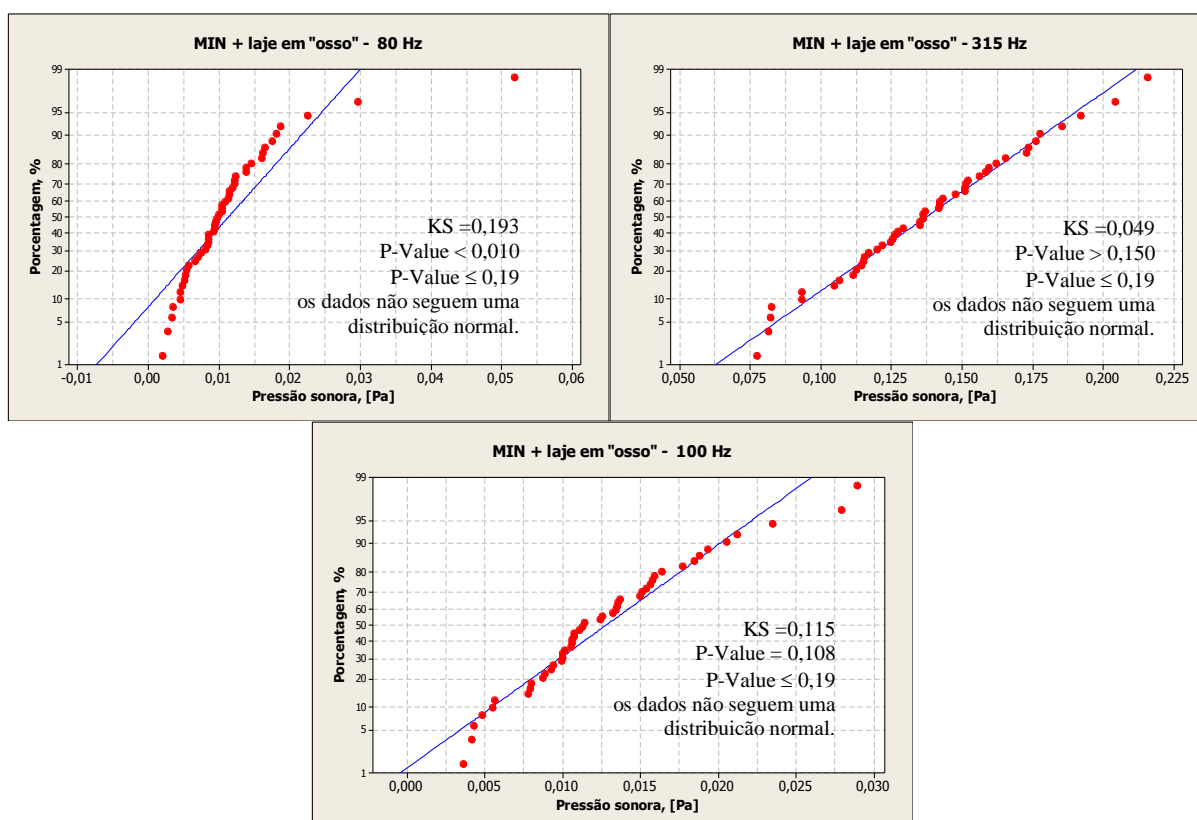


Figura 77 - Os 3 tipos de gráficos predominantes dentre todos os gerados com os resultados obtidos nas medições das pressões sonoras.

Fonte: Autora.

Por isso, seguem as Tabelas 13, 14 e 15 e as figuras 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86 e 87 com a ΔL , entre os resultados encontrados nos cálculos em função da média e em função da mediana, com o objetivo de avaliar se esta mudança nos cálculos pode causar uma diferença expressiva.

Tabela 13 - Diferença entre a média e a mediana para a MIN

		L_n									
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones		Frequências centrais - Hz								
			80	100	125	160	200	250	315	400	
Laje em “osso”	12	Média	68,55	69,88	68,43	71,71	73,02	75,85	76,83	77,99	
		Mediana	68,10	69,46	68,06	71,77	72,63	75,94	76,82	77,78	
	4	Média	61,42	68,96	68,19	72,62	74,88	77,32	77,00	78,51	
		Mediana	61,29	68,89	67,75	71,87	74,37	77,39	76,91	77,95	
	16	Média	67,42	69,68	68,33	71,92	73,54	76,26	76,87	78,12	
		Mediana	64,45	68,21	67,50	71,87	73,03	75,62	76,75	77,86	
contrapiso + Lã de vidro	12	Média	66,57	56,40	53,54	68,00	61,90	54,63	48,12	61,11	
		Mediana	65,66	56,33	52,17	67,09	61,02	54,61	48,10	60,73	
	4	Média	60,22	55,97	53,55	65,38	65,02	55,46	49,09	63,57	
		Mediana	59,37	55,65	54,32	64,55	64,79	55,44	48,81	62,35	
	16	Média	65,48	56,31	53,51	67,43	62,90	54,85	48,39	61,86	
		Mediana	64,65	55,19	52,52	66,96	61,51	54,25	48,24	61,05	
contrapiso + EVA	12	Média	64,60	63,58	65,24	71,86	72,19	72,12	65,76	73,45	
		Mediana	63,67	63,55	64,84	71,85	71,38	71,93	65,72	73,59	
	4	Média	55,97	62,00	67,23	71,48	75,06	72,95	66,68	73,65	
		Mediana	55,14	62,11	67,19	71,51	74,70	72,93	66,48	74,17	
	16	Média	63,38	63,25	65,81	71,72	73,09	72,33	66,01	73,49	
		Mediana	62,92	62,08	64,96	71,84	71,99	71,77	65,82	73,66	
contrapiso cerâmico	12	Média	73,16	64,02	63,06	68,42	74,00	76,32	72,51	74,97	
		Mediana	67,01	62,96	61,97	67,78	73,75	75,68	72,33	74,97	
	4	Média	68,01	66,03	66,60	71,88	76,26	73,84	71,51	75,05	
		Mediana	59,50	65,10	64,01	71,65	76,20	72,76	71,55	74,88	
	16	Média	72,18	64,62	64,24	69,56	74,66	75,81	72,28	74,98	
		Mediana	65,75	62,01	62,79	68,56	74,27	74,72	72,14	74,94	
contrapiso cerâmico+ Lã de vidro	12	Média	67,81	59,22	54,65	54,09	56,39	62,66	52,40	51,88	
		Mediana	66,26	58,90	54,24	52,67	55,71	62,49	52,47	50,70	
	4	Média	60,64	57,47	54,45	55,46	56,03	60,86	52,71	50,83	
		Mediana	60,15	57,24	53,63	54,42	55,59	60,93	52,55	50,88	
	16	Média	66,67	58,86	54,56	54,44	56,26	62,27	52,48	51,63	
		Mediana	65,23	57,75	53,53	53,17	55,77	61,05	52,41	50,73	
contrapiso cerâmico+ EVA	12	Média	60,39	63,97	65,86	63,28	69,86	73,24	67,23	62,58	
		Mediana	59,79	62,54	65,59	63,20	69,72	73,12	67,20	62,66	
	4	Média	53,21	64,95	64,30	64,61	71,58	71,82	67,62	62,51	
		Mediana	53,33	64,95	65,81	64,06	70,98	71,99	67,39	62,65	
	16	Média	59,25	64,24	65,47	63,62	70,33	72,92	67,34	62,56	
		Mediana	58,74	62,24	65,18	63,57	69,81	72,33	67,24	62,64	
contrapiso laminado	12	Média	62,25	76,19	75,34	69,82	71,76	77,42	72,90	72,76	
		Mediana	61,83	75,52	74,28	70,03	71,42	77,37	72,73	72,90	
	4	Média	58,39	75,12	71,57	70,85	74,42	77,23	73,20	72,67	
		Mediana	57,60	74,62	72,43	70,44	74,20	76,91	73,18	72,66	
	16	Média	61,42	75,96	74,60	70,07	72,58	77,37	72,98	72,73	
		Mediana	61,13	74,07	72,75	70,14	71,90	76,66	72,93	72,81	

Continua.

		L_n									
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones		Frequências centrais - Hz								
			80	100	125	160	200	250	315	400	
contrapiso laminado+ Lã de vidro	12	Média	65,07	61,62	63,49	62,74	56,56	51,69	56,01	55,46	
		Mediana	64,68	61,36	62,56	61,93	56,11	51,23	56,04	54,73	
	4	Média	58,85	60,01	62,01	64,54	58,55	52,84	54,87	54,43	
		Mediana	57,87	59,59	62,77	64,20	57,89	52,76	54,64	54,34	
	16	Média	64,00	61,29	63,12	63,24	57,13	52,00	55,76	55,21	
		Mediana	64,00	59,77	62,18	63,15	56,25	51,06	55,75	54,66	
contrapiso laminado+ EVA	12	Média	65,57	72,84	70,04	70,44	72,72	68,44	69,62	70,34	
		Mediana	63,92	72,13	69,25	69,56	72,28	66,94	69,57	70,31	
	4	Média	60,34	70,42	65,94	70,92	74,58	68,36	70,02	69,26	
		Mediana	59,17	69,01	66,48	69,73	73,46	68,24	69,69	68,68	
	16	Média	64,58	72,37	69,26	70,53	73,24	68,42	69,73	70,08	
		Mediana	62,94	70,51	68,27	69,71	72,98	67,05	69,50	70,08	

Fonte: Autora.

Ao analisar os resultados obtidos para a MIN com a ΔL_n em função do uso da média e da mediana nos cálculos observa-se que para a frequência central de 80 Hz, apesar de variar em torno de 1 dB para 12, 4 e 16 pontos de microfones, a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 6 dB, 8,5 dB e 6,5 dB respectivamente (Figura 78) e a combinação laje em “osso” para 16 pontos de microfones varia em torno de 3 dB. (ver Figura 79)

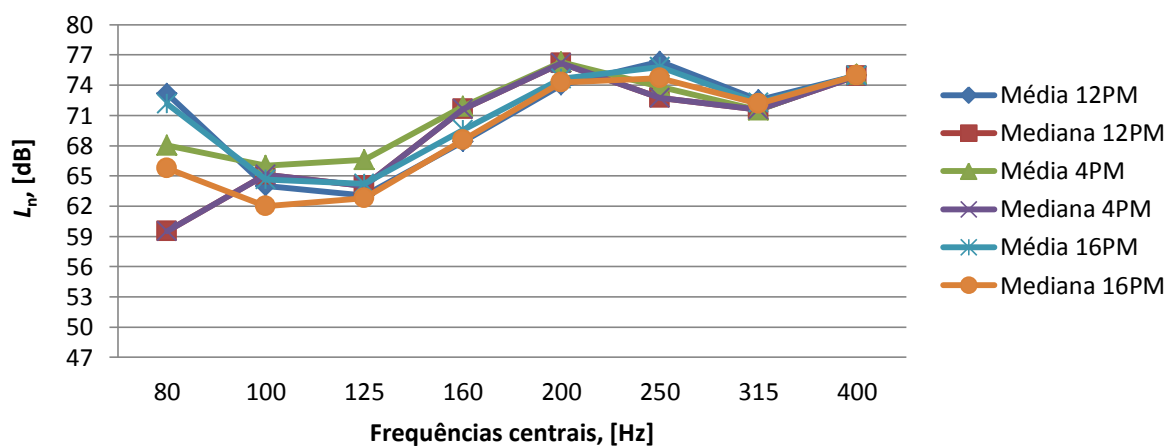


Figura 78 - Diferença entre a média e a mediana para a MIN referente aos dados para a combinação contrapiso cerâmico conforme Tabela 13.

Fonte: Autora.

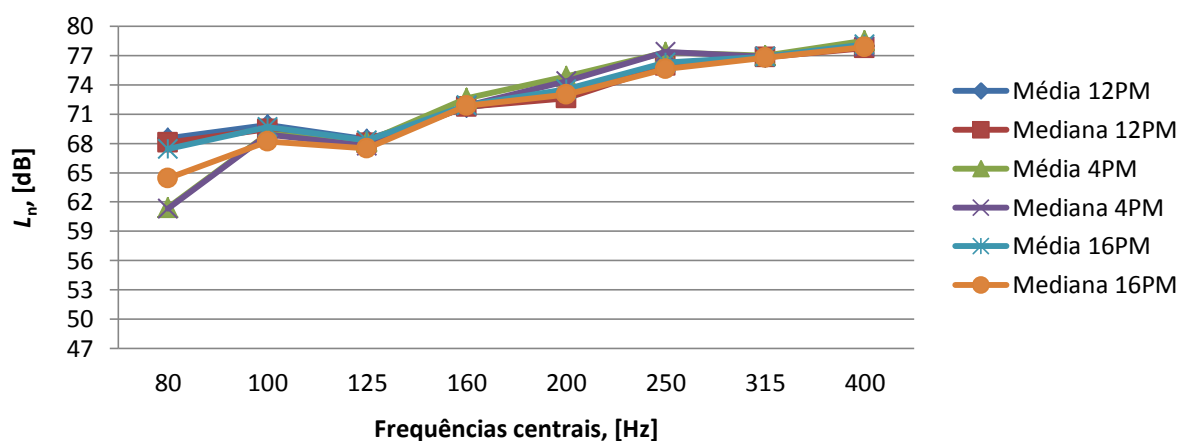


Figura 79 - Diferença entre a média e a mediana para a MIN referente aos dados para a combinação laje em “osso” conforme Tabela 13.

Fonte: Autora.

Para as demais frequências centrais, a ΔL_n em função do uso da média e da mediana nos cálculos varia entre 0,50 e 1,00 dB. (Figura 80) O que indica que para este tipo de fonte não há necessidade de se usar a mediana nos cálculos apesar da análise estatística mostrar que é o mais indicado para este tipo de dados.

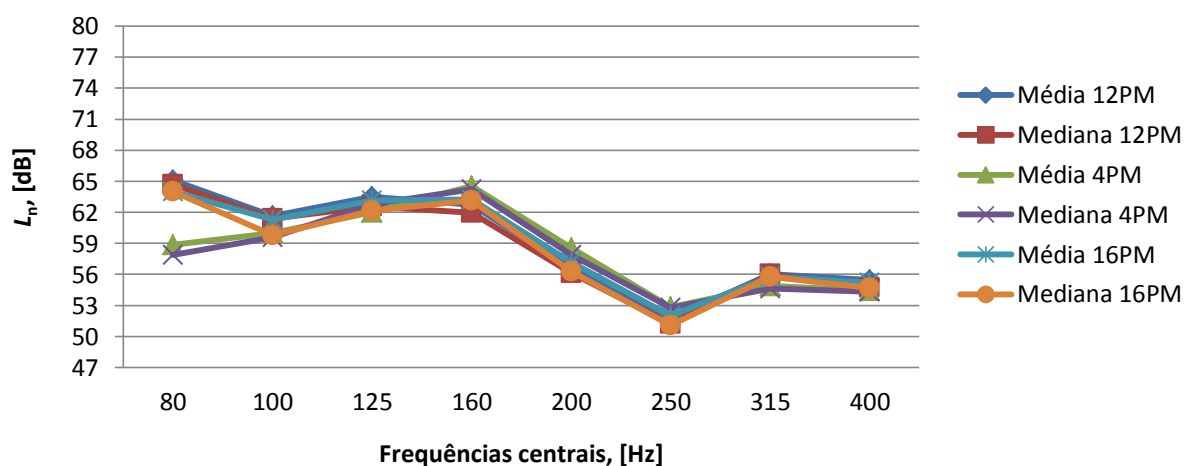


Figura 80 - Diferença entre a média e a mediana para a MIN referente aos dados para a combinação contrapiso laminado + lã de vidro conforme Tabela 13.

Fonte: Autora.

Tabela 14 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM

		L_n									
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones		Frequências centrais - Hz								
			80	100	125	160	200	250	315	400	
Laje em “osso”	12	Média	66,75	71,75	69,24	71,38	72,64	74,82	74,71	74,73	
		Mediana	66,10	71,56	68,82	71,80	72,38	74,82	74,68	74,40	
	4	Média	60,90	69,63	67,33	72,55	75,01	75,60	75,31	75,55	
		Mediana	60,62	69,19	67,34	72,34	74,10	75,64	75,04	74,97	
	16	Média	65,71	71,35	68,79	71,67	73,34	75,02	74,87	74,94	
		Mediana	65,17	70,26	68,20	71,87	72,74	74,57	74,66	74,57	
contrapiso + Lã de vidro	12	Média	66,73	59,63	53,56	66,86	62,24	53,58	45,87	56,02	
		Mediana	66,23	59,61	53,65	66,55	60,83	53,34	45,89	55,06	
	4	Média	61,00	59,91	54,94	66,90	65,32	54,53	47,65	59,82	
		Mediana	60,96	58,85	54,95	66,31	64,48	54,28	47,48	58,99	
	16	Média	65,70	59,71	53,92	66,83	63,22	53,83	46,39	57,32	
		Mediana	65,08	58,47	53,86	66,54	61,70	53,16	45,99	56,01	
contrapiso + EVA	12	Média	63,24	65,25	64,80	71,79	71,57	71,08	62,76	67,25	
		Mediana	62,79	65,11	64,56	70,62	71,12	70,92	62,99	67,39	
	4	Média	57,81	65,32	66,69	72,87	74,54	72,41	65,67	70,57	
		Mediana	56,23	64,71	68,15	72,77	74,32	72,39	65,39	70,82	
	16	Média	62,24	65,28	65,33	72,05	72,51	71,45	63,69	68,35	
		Mediana	62,01	64,02	64,66	71,24	72,07	70,79	63,20	67,82	
contrapiso cerâmico	12	Média	68,78	64,10	60,97	68,43	73,08	74,27	68,84	70,62	
		Mediana	65,49	62,25	60,82	68,28	72,21	73,44	68,95	70,58	
	4	Média	63,29	66,43	65,80	72,65	75,75	71,80	69,48	73,30	
		Mediana	60,41	64,61	64,02	72,73	76,05	71,44	68,99	73,38	
	16	Média	67,77	64,82	62,76	69,92	73,89	73,76	69,01	71,46	
		Mediana	64,63	61,21	61,18	68,84	73,43	72,57	68,88	71,33	
contrapiso cerâmico+ Lã de vidro	12	Média	64,04	61,31	54,27	54,04	54,29	61,17	49,58	49,91	
		Mediana	63,45	61,20	54,23	52,96	53,38	61,05	49,47	47,96	
	4	Média	59,86	59,26	54,44	56,10	55,14	60,05	50,85	49,01	
		Mediana	59,69	59,11	54,93	55,62	54,99	60,04	50,80	48,38	
	16	Média	63,17	60,90	54,27	54,63	54,49	60,91	49,94	49,69	
		Mediana	61,78	59,78	53,91	53,44	53,52	60,12	49,67	48,07	
contrapiso cerâmico+ EVA	12	Média	60,15	63,82	64,70	63,39	68,41	71,25	65,45	59,22	
		Mediana	59,68	63,19	64,90	63,89	68,46	71,18	65,30	58,98	
	4	Média	52,63	65,09	64,57	64,84	71,01	71,03	67,26	59,51	
		Mediana	52,51	63,96	65,05	65,01	69,84	71,11	66,58	59,45	
	16	Média	58,98	64,18	64,63	63,77	69,20	71,19	65,98	59,28	
		Mediana	58,50	62,39	64,57	64,10	68,80	70,58	65,27	59,19	
contrapiso laminado	12	Média	61,62	75,68	74,25	68,12	69,07	73,98	67,74	65,60	
		Mediana	60,70	75,12	73,48	67,89	68,85	73,67	67,49	65,45	
	4	Média	57,68	74,76	71,07	69,85	71,94	73,92	68,98	66,73	
		Mediana	56,56	73,43	72,17	69,58	71,78	73,61	68,83	66,73	
	16	Média	60,75	75,48	73,59	68,60	69,96	73,96	68,09	65,90	
		Mediana	60,12	73,97	72,33	68,67	69,64	73,07	67,82	65,77	

Continua.

		L_n								
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones	Frequências centrais - Hz								
		80	100	125	160	200	250	315	400	
contrapiso laminado+ Lã de vidro	12	Média	65,43	61,66	61,37	61,91	54,91	48,86	49,75	50,42
		Mediana	65,23	61,23	60,93	60,97	53,44	48,11	49,78	47,79
	4	Média	59,91	60,30	60,41	63,44	56,93	50,19	49,43	48,46
		Mediana	59,53	59,56	61,17	63,05	55,99	50,11	49,08	48,48
	16	Média	64,42	61,37	61,10	62,32	55,48	49,23	49,68	49,99
		Mediana	64,15	60,03	60,46	61,75	54,17	47,88	49,59	47,90
contrapiso laminado+ EVA	12	Média	64,05	72,52	69,66	68,45	70,16	67,41	63,51	63,76
		Mediana	62,63	71,84	69,31	67,65	69,60	63,55	63,42	63,68
	4	Média	58,80	70,10	65,19	68,35	72,29	65,67	64,52	63,08
		Mediana	58,42	68,80	66,42	67,72	72,09	65,75	64,03	62,82
	16	Média	63,07	72,04	68,84	68,39	70,78	67,03	63,79	63,59
		Mediana	61,52	70,42	67,90	67,73	70,65	63,99	63,54	63,55

Fonte: Autora.

Assim como para a MIN, para a MIM os resultados obtidos com a ΔL_n em função do uso da média e da mediana nos cálculos observa-se que para a frequência central de 80 Hz, mesmo a maioria das combinações variando em torno de 0,50 dB, para a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 3,5 dB para 12 e 16 pontos de microfone e 3 dB para 4.

(Figura 81)

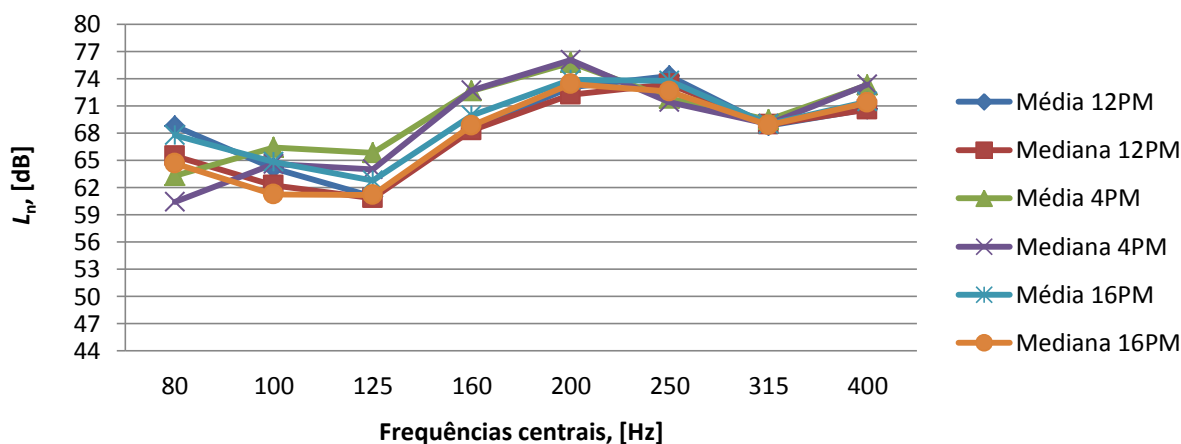


Figura 81 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM referente aos dados para a combinação contrapiso cerâmico conforme Tabela 14.

Fonte: Autora.

Além da frequência central de 80 Hz outras frequências também possuem exceções, sendo elas: 100 Hz – combinação contrapiso cerâmico para 16 pontos de microfone varia em torno de 3,50 dB; 250 Hz – combinação contrapiso laminado + EVA varia em torno de 4 dB para 12 e 3 dB para 16 (Figura 82); e 400 Hz – combinação contrapiso laminado + lã de vidro varia 2,50 dB para 12 e 2 dB para 16 (Figura 83). Entretanto para as frequências centrais de 100 a 400 Hz a ΔL_n em função do uso da média e da mediana nos cálculos para as demais combinações varia entre 0,50 e 1,50 dB. (ver Figura 84)

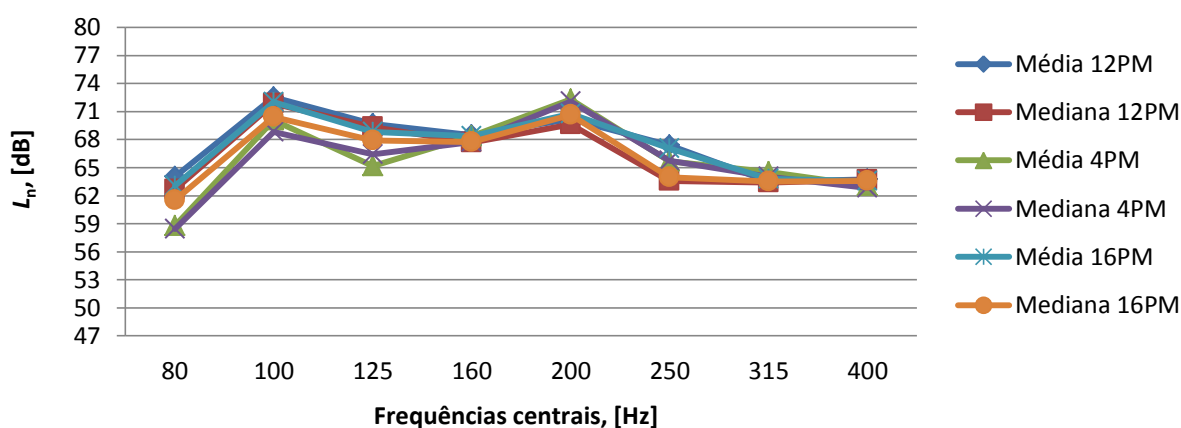


Figura 82 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM referente aos dados para a combinação contrapiso laminado + EVA conforme Tabela 14.

Fonte: Autora.

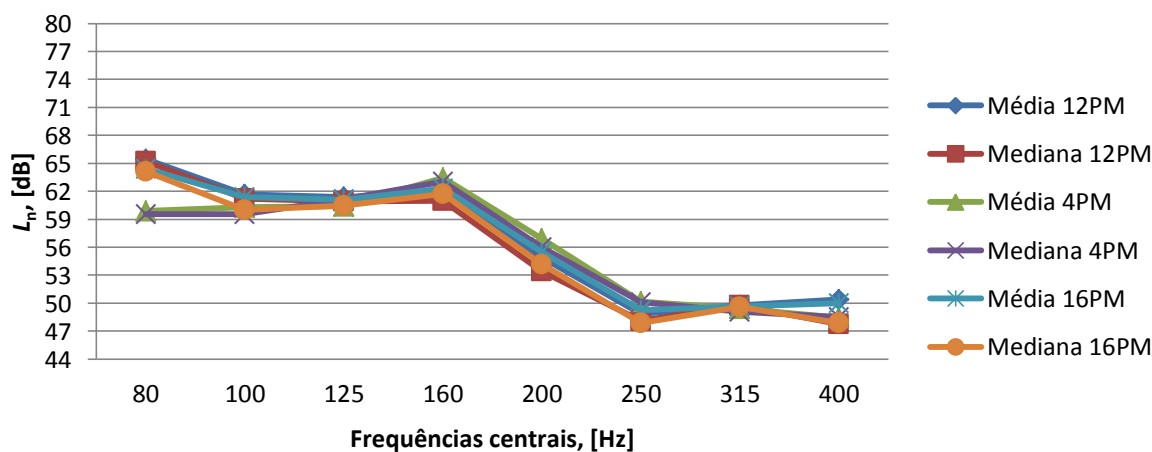


Figura 83 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM referente aos dados para a combinação contrapiso laminado + lã de vidro conforme Tabela 14.

Fonte: Autora.

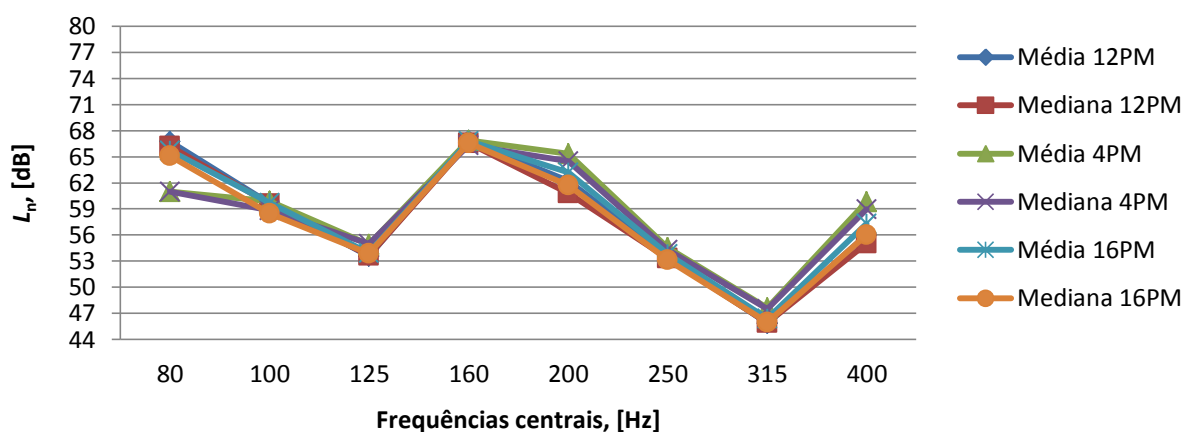


Figura 84 - Diferença entre a média e a mediana para a MIM referente aos dados para a combinação contrapiso + lâ de vidro conforme Tabela 14.

Fonte: Autora.

A análise estatística indica que o uso da mediana é o mais indicado para este tipo de dados, no entanto os cálculos evidenciaram que não há diferenças expressivas para as fontes padronizadas.

Tabela 15 - Diferença entre a média e a mediana para a pera

		L_{Fmax}								
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones	Frequências centrais - Hz								
		80	100	125	160	200	250	315	400	
Laje em "osso"	12	Média	71,11	72,02	69,18	70,64	64,58	65,57	60,05	57,82
		Mediana	69,92	72,08	69,08	69,77	63,79	65,15	59,35	57,13
	4	Média	64,46	69,90	68,03	70,97	66,82	64,55	60,48	58,06
		Mediana	63,61	69,26	68,11	71,43	66,47	64,60	60,65	57,57
	16	Média	70,16	71,58	68,92	70,73	65,26	65,34	60,16	57,88
		Mediana	69,05	70,73	68,76	70,10	64,94	64,93	59,66	57,13
contrapiso + Lã de vidro	12	Média	70,05	69,08	68,01	68,69	62,89	64,02	58,30	56,76
		Mediana	69,41	68,56	67,75	67,48	61,40	62,92	57,51	52,92
	4	Média	62,85	68,78	66,40	69,16	65,53	62,64	58,85	53,49
		Mediana	62,08	67,40	66,06	69,17	65,23	61,27	57,99	53,11
	16	Média	69,07	69,01	67,66	68,81	63,71	63,71	58,44	56,14
		Mediana	68,88	68,11	67,44	68,21	62,00	62,05	57,51	52,92

Continua.

		L_{Fmax}									
Combinações Pisos/Material Resilientes	Nº de Pontos de Microfones		Frequências centrais - Hz								
			80	100	125	160	200	250	315	400	
contrapiso + EVA	12	Média	69,67	70,16	68,51	68,89	66,18	65,11	58,93	57,63	
		Mediana	69,18	69,86	68,26	68,06	64,97	63,53	58,01	53,26	
	4	Média	62,26	68,54	66,20	69,58	68,69	63,65	58,79	54,40	
		Mediana	61,89	67,49	65,97	69,24	68,72	63,32	57,91	52,98	
	16	Média	68,67	69,81	68,03	69,08	66,95	64,79	58,90	57,02	
		Mediana	68,10	69,25	67,43	68,58	65,65	63,48	57,94	53,11	
contrapiso cerâmico	12	Média	73,48	74,37	71,16	71,01	74,06	71,20	69,32	69,32	
		Mediana	71,53	73,72	68,10	67,68	67,42	66,84	61,98	59,11	
	4	Média	68,82	74,26	69,60	71,51	77,26	69,61	67,98	68,85	
		Mediana	68,42	71,54	66,68	68,36	71,47	65,99	63,30	59,15	
	16	Média	72,70	74,34	70,82	71,14	75,11	70,85	69,02	69,21	
		Mediana	70,90	73,62	67,44	67,68	67,42	66,72	62,05	59,11	
contrapiso cerâmico+ Lã de vidro	12	Média	68,75	65,54	65,11	65,01	60,96	60,76	56,34	56,29	
		Mediana	67,97	64,94	64,99	63,94	58,33	58,31	55,59	51,89	
	4	Média	62,35	64,00	63,10	64,98	61,74	57,77	55,36	51,48	
		Mediana	61,46	63,11	62,40	63,77	60,65	57,39	54,92	50,01	
	16	Média	67,82	65,20	64,69	65,00	61,17	60,18	56,12	55,49	
		Mediana	67,53	64,71	64,16	63,80	59,42	57,86	55,26	50,98	
contrapiso cerâmico+ EVA	12	Média	68,46	68,48	65,56	65,14	62,87	62,04	57,12	56,50	
		Mediana	67,57	68,02	64,48	63,95	61,14	61,38	56,73	51,93	
	4	Média	61,83	66,52	63,36	65,23	64,59	61,16	56,50	52,95	
		Mediana	61,29	65,19	62,39	65,26	64,38	60,84	55,24	51,56	
	16	Média	67,52	68,07	65,10	65,16	63,37	61,84	56,97	55,85	
		Mediana	66,98	66,95	64,19	64,04	62,03	61,32	56,16	51,93	
contrapiso laminado	12	Média	69,28	73,62	75,65	75,58	72,77	74,30	73,58	70,34	
		Mediana	69,24	71,72	74,49	73,81	72,15	71,97	68,46	69,11	
	4	Média	64,49	72,28	74,26	77,81	75,73	72,38	73,24	71,04	
		Mediana	64,13	71,74	71,94	75,47	75,11	71,21	71,04	69,46	
	16	Média	68,48	73,32	75,35	76,25	73,72	73,90	73,50	70,52	
		Mediana	67,89	71,72	74,30	74,34	72,38	71,65	68,46	69,11	
contrapiso laminado+ Lã de vidro	12	Média	67,23	68,95	66,16	65,88	62,17	62,72	58,20	57,32	
		Mediana	66,91	68,45	65,60	64,58	60,90	62,38	57,24	53,84	
	4	Média	61,82	67,38	64,15	66,18	62,57	60,09	57,48	53,73	
		Mediana	61,39	66,61	64,06	65,56	62,46	60,21	56,38	52,88	
	16	Média	65,27	67,47	64,17	63,53	60,28	60,31	56,77	53,01	
		Mediana	65,86	68,05	65,07	64,66	61,40	61,30	57,19	53,63	
contrapiso laminado+ EVA	12	Média	66,46	68,68	67,12	67,13	65,42	62,64	59,34	57,84	
		Mediana	66,04	68,53	66,93	66,52	64,48	62,14	58,68	54,35	
	4	Média	61,43	66,91	64,95	68,23	68,44	62,24	59,18	56,02	
		Mediana	61,57	66,80	64,44	67,69	68,30	61,90	58,50	55,55	
	16	Média	64,58	66,84	65,40	65,85	65,21	61,12	58,04	54,45	
		Mediana	64,59	68,14	66,10	66,93	65,26	62,14	58,64	54,45	

Fonte: Autora.

Para a pera os resultados obtidos com a $\Delta L_{i,F_{max}}$ em função do uso da média e da mediana nos cálculos mostram que para o tipo de excitação acústica causada por esta fonte há uma maior ocorrência de exceções que variam acima de 3 dB. Apesar de em 80 Hz a maioria das combinações variar em torno de 0,50 dB para a combinação contrapiso cerâmico ela varia em torno de 2 dB para 12 e 16 pontos de microfone. Em 100 Hz a mesma combinação varia em torno de 3 dB enquanto as demais variam de 0,50 a 1 dB. (Figura 85)

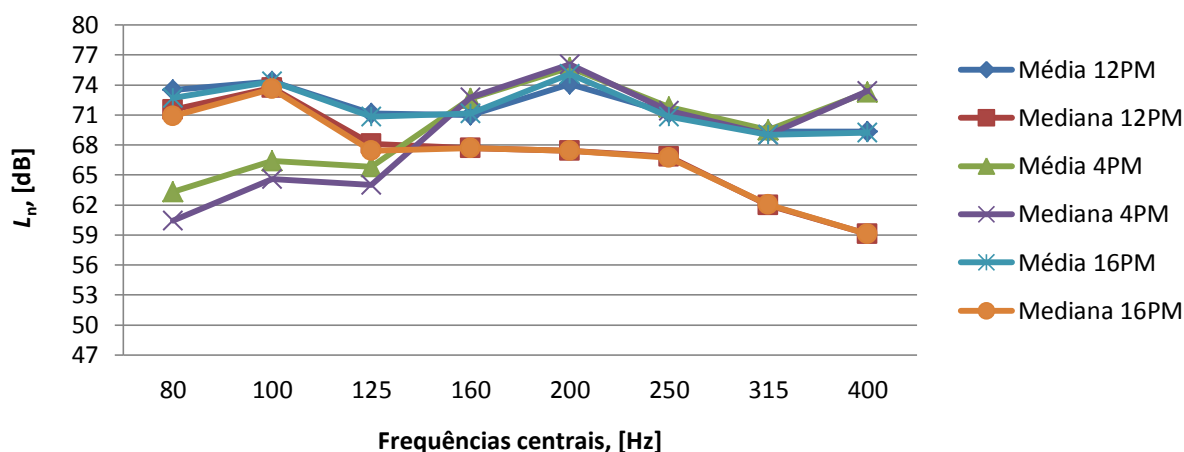


Figura 85 - Diferença entre a média e a mediana para a pera referente aos dados para a combinação contrapiso cerâmico conforme Tabela 15.

Fonte: Autora.

Já para 125 Hz, frequência central na qual as combinações variam em torno de 0,50 dB, a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 3,50 dB para 12 e 16 e 3 dB para 4 e há variação, também, para o contrapiso laminado que varia 2,50 dB para 4 pontos de microfone. (ver Figura 86) Em 160 Hz continua a variação em torno de 3,50 dB (12 e 16) para o contrapiso cerâmico e a variação de 2,50 dB (4). As demais combinações, nesta frequência, variam em torno de 1 dB. Novamente, em 200 Hz há exceção para a variação da combinação contrapiso cerâmico e desta vez varia em torno de 6,50 dB para 12, 6 dB para 4 e 7,50 dB para 16. E a combinação contrapiso cerâmico + lã de vidro varia em torno de 2,50 dB para 12. Enquanto as demais combinações variam de 0,50 a 1,50 dB para esta frequência central. (ver Figura 87)

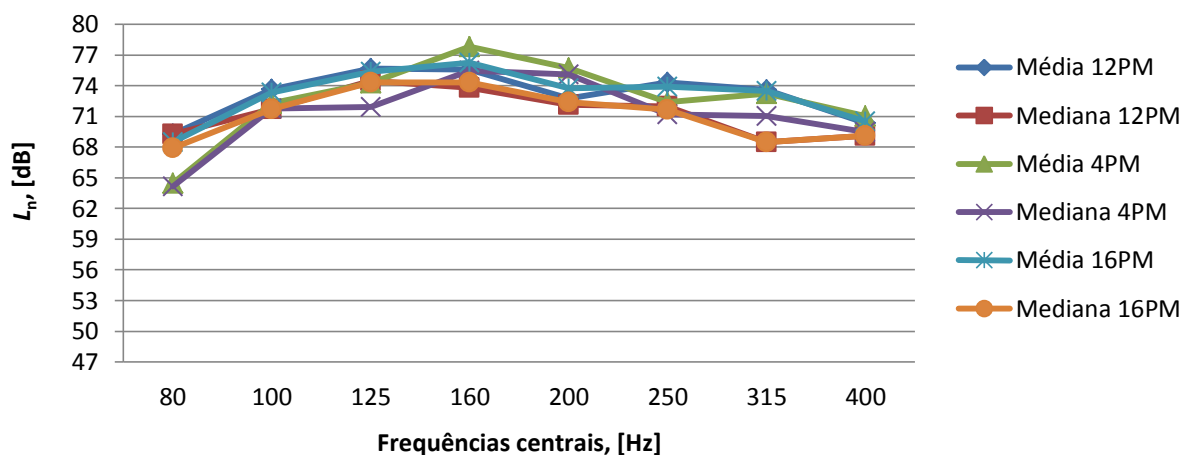


Figura 86 - Diferença entre a média e a mediana para a pera referente aos dados para a combinação contrapiso laminado conforme Tabela 15.

Fonte: Autora.

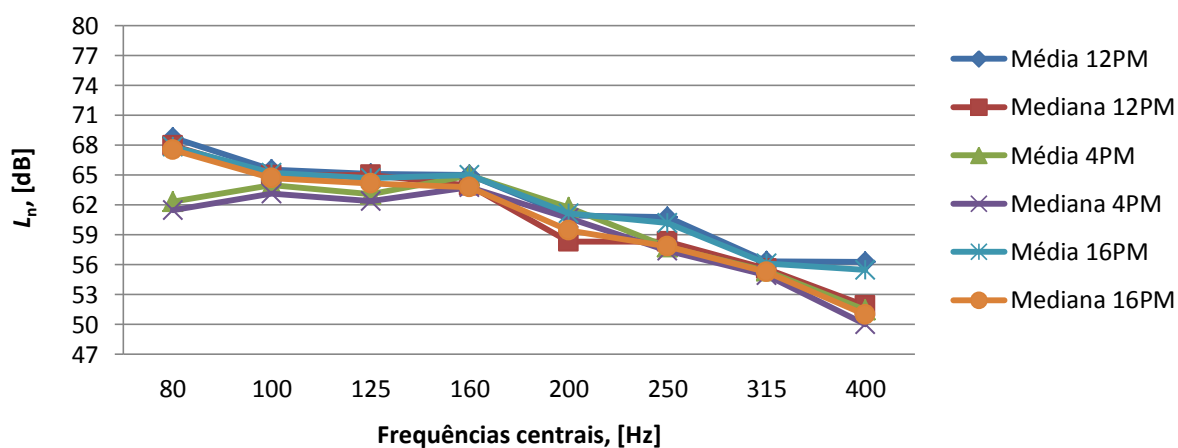


Figura 87 - Diferença entre a média e a mediana para a pera referente aos dados para a combinação contrapiso cerâmico + lã de vidro conforme Tabela 15.

Fonte: Autora.

Ao analisar a frequência central de 250 Hz observa-se que a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 4,50 dB para 12 pontos de microfones, 3,50 dB para 4 e 4 dB para 16. Além desta, as combinações contrapiso cerâmico + lã de vidro e contrapiso laminado variam em torno de 2,50 dB enquanto as demais combinações variam entre 0,50 e 1 dB. Quando observada a frequência central de 315 Hz verifica-se que apesar da maioria das combinações variar em torno de 1 dB, a combinação contrapiso cerâmico continua tendo

variação elevada, variando em torno de 7,50 dB 4,50 dB e 7dB para 12, 4 e 16 respectivamente. E a combinação contrapiso laminado também varia, sendo em torno de 5 dB para 12 e 16 e 2,50 dB para 4.

Por outro lado, a frequência central de 400 Hz varia em torno de 4 dB para 12 e 16 pontos de microfone para a maioria das combinações e 1 dB para 4. Mas, ainda assim, a combinação contrapiso cerâmico varia, elevadamente, em torno de 10,50 dB para 12 e 10 dB para 16. Agora, porém, a exceção fica por conta da laje em “osso” para 12 que varia em torno de 0,50 dB e para contrapiso cerâmico + EVA que não varia. Já para 4 pontos de microfone a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 10 dB e as demais combinações variam em torno de 1,50 dB.

Como a $\Delta L_{i,Fmax}$ em função do uso da média e da mediana nos cálculos é representativa, ela indica que é necessário o uso da mediana nos cálculos ao invés da média como recomenda a norma. Entretanto ao analisar os valores de $L_{i,Fmax}$ de 12 e 16 pontos de microfone calculados em função da mediana, observa-se que a diferença fica em torno de 0,50 dB mostrando mais uma vez que o procedimento adicional da ISO 10140-4:2010, Anexo A pode ser dispensado.

4 CONCLUSÕES

Feita a coleta de dados, sua análise e discussão, chegou-se a algumas conclusões conforme o tipo de fonte geradora de ruído de impacto utilizada e as diferentes combinações de piso/material resiliente. Oportuno referir que a discussão dos dados, que gerou as conclusões aqui apresentadas, ocorreu sempre com vistas ao objetivo de se buscar parâmetros para o maior conforto acústico das edificações. Isto, inclusive, é considerado nas sugestões para trabalhos futuros, pois esta pesquisa apontou a necessidade de análises complementares para se alcançar respostas definitivas sobre as fontes geradoras de ruídos de impacto que mais se aproximam da realidade.

Nas medições realizadas com a MIN e a MIM a partir de 200 Hz, identifica-se a diferença das combinações feitas com lã de vidro (LV), independente do tipo de piso usado, evidenciando-se que há uma maior efetividade quanto ao conforto acústico pela redução do ruído de impacto. Em relação às demais combinações com EVA ou sem qualquer material resiliente, igualmente independente do piso utilizado, não se observam diferenças relevantes de NPS, o que indica a necessidade de uma análise mais atenta deste resultado.

Assim sendo, entende-se que para as medições realizadas com as fontes padronizadas MIN e MIM não interfere o tipo de fonte e nem o piso, mas sim o material resiliente que foi utilizado. Isto pode estar relacionado às características dos materiais utilizados, sendo a espessura uma delas. Enquanto a LV tem 5 cm de espessura, o EVA tem 1 cm. No entanto, optou-se por esta espessura de EVA por ser a mais vendida no comércio para isolamento acústico de ruído de impacto. Medições com outras espessuras de EVA devem ser feitas para verificar se é, realmente, a espessura que está influenciando no fato das combinações com EVA terem seus resultados próximos às combinações sem nenhum material resiliente ou pode ser outra característica deste EVA que o torna não recomendável para esse tipo de situação.

Além disto, a diferença do NPS para as fontes padronizadas é constante para as duas fontes independente da combinação de piso / material resiliente utilizada e ela varia muito conforme a frequência que esteja sendo analisada.

Num outro enfoque, observa-se que para as fontes padronizadas nas frequências centrais de 100 e 125 Hz o piso cerâmico apresenta melhor desempenho no isolamento de ruído de impacto quando comparado aos outros pisos experimentados. Enquanto que o piso laminado potencializa a transmissão do ruído de impacto em 100 e 125 Hz quando comparado com a laje em “osso”. Entretanto, na faixa de 80 Hz o piso laminado tem um ganho em torno

de 3 dB no seu desempenho de isolamento de ruído. Em contrapartida o piso cerâmico nesta mesma frequência transmite mais ruído de impacto, variando em torno de 9 dB para a MIM e 12 dB para a MIN.

Nas medições feitas com a MIN e a MIM com contrapiso de concreto, piso cerâmico e piso laminado verifica-se que os espectros de frequências centrais de 12 e 16 posições de microfone apresentam o mesmo comportamento, enquanto que com 4 há uma pequena diferenciação, definindo que para este material o procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010 pode ser dispensado.

Ainda comentando os resultados obtidos nas medições com a MIN, observa-se que entre os valores de NPS obtidos com 12 e com 4 a maioria das combinações de piso / material resiliente varia entre 6 e 7,50 dB, sendo considerada uma grande diferença nos valores de NPS e nas demais frequências centrais em torno de 1 dB. Entretanto, ao analisar as medições com 12 e 16 posições de microfone, observa-se que a diferença diminui acentuadamente variando em torno de 2,50 dB e as demais frequências centrais não chegam a 1 dB. O que reforça o já afirmado anteriormente sobre a dispensa do procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010.

E nos resultados obtidos com a MIM observa-se, novamente, que ao comparar os valores de NPS de 12 e 4 a maior discrepância está em 80 Hz, uma vez que a maioria dos valores está em torno de 5,50 dB, mas nas outras frequências centrais a diferença de NPS continua variando em torno de 1 dB, com exceção de 200 Hz, que para a maioria das combinações o NPS varia em torno de 2,50 dB. Já ao analisar as diferenças de NPS de 12 e 16 posições de microfone observa-se que em 80 Hz essa diferença varia, na maioria dos casos, em torno de 2 dB. E as demais frequências centrais possuem uma discrepância em 125 Hz que varia 5,50 dB e três combinações, sendo uma, ainda, em 125 Hz, uma em 160 Hz e uma em 400 Hz que estão em torno de 2,50 dB. O restante das combinações está em torno de 1 dB. Confirmando, assim, mais uma vez, que o procedimento adicional da ISO 10140-4:2010, Anexo A pode ser opcional, visto que não interfere nos resultados.

Ao contrário das medições com as fontes padronizadas, observa-se ao analisar os resultados dos níveis de pressão sonora de impacto máximo medido com tempo de integração *Fast* que as combinações com tipos de piso sem material resiliente se diferem das combinações com material resiliente, independente do tipo. Isto fica claro, pois as transmissões sonoras nos pisos cerâmico e laminado são maiores do que na laje em “osso”. Por outro lado, quando se utiliza material resiliente junto ao piso, em termos de pisos cerâmicos e laminados, o uso da lã de vidro e EVA reduzem de tal forma que os NPS ficam

parecidos aos obtidos com a laje em “osso”. Mostrando que as características dos materiais resilientes usados comercialmente para isolamento acústico dos referidos pisos interferem nos resultados obtidos com este tipo de fonte, uma vez que há ganho no isolamento sonoro. Assim sendo, pode-se dizer que estes materiais resilientes são necessários considerando o tipo específico de excitação por fonte não padronizada (bola de areia), já que nas residências não se usa piso de concreto e sim cerâmico ou laminado.

Ainda analisando os resultados obtidos com este tipo de fonte de ruído de impacto, observa-se que, entre os materiais resilientes utilizados, a lã de vidro é o que proporciona melhor isolamento acústico independente do tipo de piso utilizado.

Assim como para as fontes padronizadas, para a não padronizada verifica-se que para as combinações com contrapiso de concreto, piso cerâmico e piso laminado os espectros de frequências centrais de 12 e 16 posições de microfone apresentam o mesmo comportamento, enquanto que com 4 há uma grande diferenciação. Desta forma, pode-se definir, que para este material o procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010 também pode ser dispensado. Pode-se dizer que o uso do material resiliente interfere no nível de pressão sonora medido com este tipo de fonte geradora de ruído, é de grande importância para efeitos de conforto acústico considerando este tipo de excitação acústica.

Ao comparar os resultados dos NPS obtidos com 12 e 4 pontos de microfone da pera (fonte não padronizada), outra vez, pode-se observar uma grande diferença em 80 Hz, entre 5 e 6 dB e as demais frequências centrais variam em torno de 1,5, tendo raríssimas exceções em torno de 3 dB. Já ao analisar a diferença entre 12 e 16 observa-se que, assim como para as fontes padronizadas, a variação maior ocorre na frequência central de 80 Hz, variando em torno de 2 dB e a diferença de NPS para as demais frequências centrais na sua maioria chegam a 1 dB. O que sugere, como já afirmado anteriormente, que o procedimento adicional do Anexo A da ISO 10140-4:2010 pode ser dispensado.

Segundo as normas ISO 10140-3, 10140-4 e 10140-5 o nível de pressão sonora de impacto e o nível de pressão sonora máximo medido com tempo de integração *Fast* são calculados em função da média aritmética dos valores obtidos em todas as posições de microfone para todas as combinações de piso / material resiliente. Entretanto, ao analisar através de histogramas os dados obtidos nas medições descobriu-se que eles não têm uma distribuição simétrica, pelo contrário, a grande maioria dos dados possui uma distribuição assimétrica.

Os cálculos dos coeficientes de assimetria comprovaram que para a MIN 48,16% dos dados possuem uma distribuição assimétrica forte, 46,76% uma distribuição assimétrica

moderada e 5,09% uma distribuição assimétrica pequena, sendo 87,04% com distribuição assimétrica positiva. Para a MIM 47,22% têm uma distribuição assimétrica moderada, 44,45% uma distribuição assimétrica forte e 8,33% uma distribuição assimétrica pequena, sendo 92,13% com distribuição assimétrica positiva e para a pera 61,57% têm distribuição assimétrica forte, 35,65% distribuição assimétrica moderada, 2,32% distribuição assimétrica pequena e 0,46% distribuição simétrica, sendo 96,76% com distribuição assimétrica positiva. Tais dados indicam que a média dos dados é maior que a mediana deles, levantando uma séria dúvida sobre a questão de se utilizar, conforme determina a norma, a média dos NPS. Houve apenas um caso de dados com distribuição simétrica que foi com a combinação pera + contrapiso laminado + EVA com 4 pontos de microfone em 80 Hz.

A análise dos boxplots gerados em função dos resultados encontrados, também confirmou que é evidente a distribuição assimétrica deles. E há uma grande ocorrência de outliers, isto é, valores discrepantes que alteram o valor da média aritmética, fazendo com que a mesma tenha um valor que não corresponde à descrição verdadeira da tendência central dos dados.

Por conseguinte, a análise dos gráficos gerados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov confirmou que os dados não possuem uma distribuição normal, o que indica que o uso da média aritmética não é o mais apropriado para os cálculos em função de esta nestes casos não ser um indicador representativo dos dados.

Para um melhor entendimento, calculou-se a diferença entre os níveis calculados em função da média e em função da mediana e observou-se que para a MIN os resultados obtidos para a frequência central de 80 Hz, apesar de variarem em torno de 1 dB para 12, 4 e 16 pontos de microfone, a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 6 dB, 8,5 dB e 6,5 dB respectivamente e a combinação laje em “osso” para 16 pontos de microfone varia em torno de 3 dB. Para as demais frequências centrais varia entre 0,50 e 1,00 dB. O que indica que para este tipo de fonte não há necessidade de se usar a mediana nos cálculos apesar da análise estatística mostrar que é o mais indicado para este tipo de dados.

Assim como para a MIN, para a MIM os resultados obtidos com a ΔL_n em função do uso da média e da mediana nos cálculos observa-se que para a frequência central de 80 Hz, mesmo a maioria das combinações variando em torno de 0,50 dB, para a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 3,5 dB para 12 e 16 pontos de microfone e 3 dB para 4. Além da frequência central de 80 Hz outras frequências também possuem exceções, sendo elas: 100 Hz – combinação contrapiso cerâmico para 16 pontos de microfone varia em torno de 3,50 dB; 250 Hz – combinação contrapiso laminado + EVA varia em torno de 4 dB para

12 e 3 dB para 16; e 400 Hz – combinação contrapiso laminado + lã de vidro varia 2,50 dB para 12 e 2 dB para 16. Entretanto para as frequências centrais de 100 a 400 Hz a ΔL_n em função do uso da média e da mediana nos cálculos para as demais combinações varia entre 0,50 e 1,50 dB. Corroborando que para as fontes padronizadas não há necessidade de se usar a mediana nos cálculos apesar da análise estatística mostrar que é o mais indicado para este tipo de dados.

Para a para os resultados obtidos com a $\Delta L_{i,Fmax}$ em função do uso da média e da mediana nos cálculos mostram que para o tipo de excitação acústica causada por esta fonte há uma maior ocorrência de exceções que variam acima de 3 dB. Apesar de em 80 Hz a maioria das combinações variar em torno de 0,50 dB para a combinação contrapiso cerâmico ela varia em torno de 2 dB para 12 e 16 pontos de microfone. Em 100 Hz a mesma combinação varia em torno de 3 dB enquanto as demais variam de 0,50 a 1 dB. Já para 125 Hz a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 3,50 dB para 12 e 16 e 3 dB para 4 e há variação, também, para o contrapiso laminado que varia 2,50 dB para 4 pontos de microfone.

Em 160 Hz continua a variação em torno de 3,50 dB (12 e 16) para o contrapiso cerâmico e a variação de 2,50 dB (4). As demais combinações, nesta frequência, variam em torno de 1 dB. Novamente, em 200 Hz há exceção para a variação da combinação contrapiso cerâmico e desta vez varia em torno de 6,50 dB para 12, 6 dB para 4 e 7,50 dB para 16. E a combinação contrapiso cerâmico + lã de vidro varia em torno de 2,50 dB para 12.

Ao analisar a frequência central de 250 Hz observa-se que a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 4,50 dB para 12 pontos de microfone, 3,50 dB para 4 e 4 dB para 16. Além desta, as combinações contrapiso cerâmico + lã de vidro e contrapiso laminado variam em torno de 2,50 dB. Quando observada a frequência central de 315 Hz verifica-se que a combinação contrapiso cerâmico continua tendo variação elevada, variando em torno de 7,50 dB 4,50 dB e 7dB para 12, 4 e 16 respectivamente. E a combinação contrapiso laminado também varia, sendo em torno de 5 dB para 12 e 16 e 2,50 dB para 4.

Por outro lado, a frequência central de 400 Hz varia em torno de 4 dB para 12 e 16 pontos de microfone para a maioria das combinações e 1 dB para 4. Ainda assim, a combinação contrapiso cerâmico varia, elevadamente, em torno de 10,50 dB para 12 e 10 dB para 16. Já para 4 pontos a combinação contrapiso cerâmico varia em torno de 10 dB.

Como a $\Delta L_{i,Fmax}$ em função do uso da média e da mediana nos cálculos é representativa, ela indica que é necessário o uso da mediana ao invés da média como recomenda a norma. Entretanto ao analisar os valores de $L_{i,Fmax}$ de 12 e 16 pontos de microfone calculados em função da mediana observa-se que a diferença fica em torno de

0,50 dB mostrando mais uma vez que o procedimento adicional da ISO 10140-4:2010, Anexo A pode ser dispensado.

Após as análises estatísticas confirmou-se que esses valores não possuem uma distribuição normal, o que indica que o uso da média não é o mais apropriado para os cálculos em função de não mostrar qual é a real tendência central dos dados. Porém, ao analisar a diferença de NPS dos resultados calculados em função da média e da mediana constatou-se que para as fontes padronizadas não há variação substancial para as frequências centrais de 100 a 400 Hz, apenas 80 Hz possui exceções expressivas. Já para a fonte padronizada os resultados mostraram que há muitas combinações que variam com valores expressivos evidenciando que é necessário o uso da mediana nos cálculos, mas ao comparar os valores das medições com 12 e 16 posições de microfone calculadas em função da mediana confirmou-se não haver diferença relevante nos resultados.

4.1 Sugestões de trabalhos futuros

- Realizar os testes da MIM com outros tipos de materiais para modificar a MIN a fim de ver se causa alguma diferença mais evidente nos níveis de pressão sonora de impacto dos que foram encontrados nessas medições;
- Realizar os experimentos, novamente com diferentes espessuras de EVA de modo a analisar a real influência que o EVA exerce ao ser utilizado como matéria resiliente, já que nesses testes ela não foi muito relevante;
- Realizar avaliações com o Optima Piso que é o produto ideal para o piso, a fim de confrontar as medições feitas com o Wallfelt 50 recomendado para o preenchimento de paredes Drywall, com a qual foram realizados os ensaios, sendo ambos da ISOVER SAINT GOBAIN;
- Realizar novas medições com outras fontes geradoras de impacto normatizadas – *bang machine* e *rubber ball* – e não normatizadas – sacos ou bolas de areia com diferentes pesos;
- Realizar testes a fim de encontrar um parâmetro que consiga quantificar a diferença de nível de pressão sonora de ruído de impacto para, assim, poder comprovar a, real, necessidade de fazer o procedimento adicional da ISO 10140-4, Anexo A e que, também, consiga evidenciar qual a influencia que a mediana exerce nos valores quando utilizada no lugar da média.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos.** Brasil, 2013. 45p.

ARCH-TEC – Edificações e Tecnologias de Conforto Ambiental e Impermeabilizações Ltda. **Ruído de impacto em lajes de concreto armado.** Disponível em: <http://www.archtec.com.br/html/Acustica_Arquitetonica_tx_compl.html#t2>. Acessado em: 12 outubro 2011.

BRADLEY, J.S.. **Sound insulation issues.** Proceedings of the Joint NSC-NRC Workshop on Construction Technologies, Taipei, Taiwan. NRCC-47054. pp. 127-138. 2004.

CABEÇAS, A. J. S.. **Alargamento do âmbito de aplicação da norma EN 12354-2 as baixas frequências.** 2011. 98p. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

CARVALHO, R. P.. **Acústica Arquitetônica.** Editora: Thesaurus, 2ª edição, Brasília, 2010.

CHILE ACUSTICA – **Ingeniería en Proyectos Acústicos Aislamiento del ruido impacto.** Disponível em: <<http://www.chileacustica.com/category/servicios/>>. Acessado em: 14 novembro 2011.

CORNACCHIA, G. M. M.. **Investigação In-situ do Isolamento Sonoro ao Ruído de Impacto em Edifícios Residenciais.** 2009. 141p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FERRAZ, R.. **Atenuação de Ruído de Impacto em Pisos de Edificações de Pavimentos Múltiplos.** 2008. 156f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

GERRETSEN, E.. **Calculation on the sound transmission between dwellings by partitions and flanking structures.** Applied Acoustics, v. 12, p. 413-433, 1979.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. SEPLAN: Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. **Curso de Qualificação Profissional: Estatística Básica.** Disponível em: http://www.seplan.am.gov.br/arquivos/download/arqeditor/apostila_estatistica.pdf. Acessado em: 08 maio 2013

GOVERNMENT OF CANADA. National Research Council Canada. **Exporting wood-frame housing technology to Japan**. Disponível em: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ci-ic/article/v15n4-1>. Acessado em: 15 julho 2013

ITALMEX TERMOCONSTRUCCIONES S.A. de C.V.. **Aislamiento Acústico**. Disponível em: <http://www.italmextermoconstrucciones.com/acustico.html>. Acessado em: 12 outubro 2011.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10140-1: - Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 1: Application rules for specific products**. Geneva, Switzerland, 2010. 32p.

_____. **ISO 10140-3:- Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation**. Geneva, Switzerland, 2010. 12p.

_____. **ISO 10140-4 Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 4: Measurement procedures sound requirements**. Geneva, Switzerland, 2010. 12p.

_____. **ISO 10140-5 Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 5: Requirements for test facilities and equipment**. Geneva, Switzerland, 2010. 35p.

_____. **ISO 354: Acoustics: Measurement of sound absorption in a reverberation room**. Genève, Switzerland, 2003. 21p.

_____. **ISO 5725-2: Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method**. Genève, Switzerland, 1994. 52p

JEON, J. Y.. **Subjective evaluation of floor impact noise based on the model of ACF/IACF**. *Journal of Sound and Vibration*. (2001) Vol. 241(1), 147-155.

JEON, J. Y.; JEONG, J. H.; VORLÄNDER, M.; THADEN, R.. **Evaluation of Floor Impact Sound Insulation in Reinforced Concrete Buildings**. ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA. Vol. 90 (2004) 313 – 318.

JEON, J. Y.; SATO, S.. **Annoyance caused by heavyweight floor impact sounds in relation to the autocorrelation function and sound quality metrics.** Journal of Sound and Vibration. Vol. 311 (2008) 767–785.

JOSSE, R.. **La acústica en La construcción.** Editora Gustavo Gili, S.A.. Barcelona, 1975.
KIM, K.; JEONG, G.; YANG, K.; SOHN, J.. **Correlation between dynamic stiffness of resilient materials and heavyweight impact sound reduction level.** Building and Environment. Vol. 44 (2009) 1589–1600.

MENDEZ, A. M. et al. **Acústica arquitectónica.** Universidad Del Museo Social Argentino. Editora: Testone Hnos, 1ª edição, julho de 1994.

NETO, M. F. F; BERTOLI, E. R.. **Conforto Acústico entre unidades habitacionais em edifícios residenciais de São Paulo,** Brasil. In: ACÚSTICA 2008, Coimbra, 2008. Proceedings... Coimbra, 2008.

NEVES E SOUSA, A. GIBBS, B. M.. **Low frequency impact sound transmission in dwellings through homogeneous concrete floors and floating floors.** Applied Acoustics. Vol. 72 (2011) 177–189.

PATRÍCIO, J.. **Acústica de Edifícios: índices de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu.** Revista de Acústica. Vol. 36, Nº 1 e 2, p. 33 – 39, 2005

PATRÍCIO, J. V. **Isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão.** Metodologias de caracterização. Lisboa, LNEC, 1999.

PEDROSO, M. A. T.. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto.** 2007. 141f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

RASMUSSEN, B.. **Sound insulation between dwellings - Classification schemes and building regulations in Europe.** The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Praga, República Checa. p. 1-8, 2004.

RECUERO, M. e GIL, C.. **Acústica Arquitectónica.** Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación – Universidad Politécnica de Madri – Artes Gráficas Benzai, S.A. Madri, 1993, 784p.

RESEARCH HIGHLIGHTS. **The tire impact machine as a standard device for rating the impact sound transmission of floors.** Disponível em: <<http://www.cmhc.ca/publications/en/r>

h-pr/tech/98112.htm>. Acessado em: 16/10/2011

RINDEL, J.H.. **Sound insulation of buildings**. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 36., 2007, Istanbul. Proceedings... Istanbul, 2007.

RION, SOUND AND VIBRATION; WEB-SUPPORT. Support Room. **Impact Ball YI-01**. Disponível em: <<http://svmeas.rion.co.jp/products/10000%EF%BC%9A10015/YI010009>>. Acessado em: 06 abril 2013.

SANCHES, V.M.; SENCHERMES, A.G.. – **Acustica en Arquitetura**. Madri: Colégio Oficial de Arquitectos de Madri, 1982, 215 p.

SHI, W.; JOHANSSON, C.; SUNDBÄCK, U.. An investigation of the characteristics of impact sound sources for impact sound insulation measurement. Applied Acoustics.Vol. 51, 1997, 85-108.

SCHOENWALD, S.; NIGHTINGALE, T. R. T.; ZEITLER, B.; KING, F.. **Approaches for estimating flanking transmission for heavy impact sources**. InterNoise 2010, Lisboa, Portugal. NRCC-53565 2010, pp. 1-10.

SCHOENWALD, S.; ZEITLER, B.; NIGHTINGALE, T. R. T.. **Influence of receive room properties on impact sound pressure level measured with heavy impact sources**. 1st EAA - EUROREGIO 2010 Congress on Sound and Vibration, Ljubljana, Eslovenia. NRCC-53550. pp. 1-8. 2010.

SILVA NEVES E SOUSA, A. L. R. Da.. **Low frequency impact sound transmission in dwellings**. 2005. 426p. Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. The University of Liverpool, Liverpool, 2005.

SOUZA, L. C. L. de.; ALMEIDA, M. G. de.; BRAGANÇA, L.. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. 1. ed. Bauru, 2006. 150p.

THADEN, R.. **Auralisation of Impact Sound Insulation**. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 18., 2004, Kyoto. Proceedings... Kyoto, 2004.

WARNOCK, A. C. C.. **Floor research at NRC Canada**. Conference in Building Acoustics. “Acoustic Performance of Medium-Rise Timber Buildings”. NCR – CNCR -La Science à l’œuvre pour le at work Canada. Dublin, Irlanda. 12p. 1998.

WARNOCK, A. C. C.. “Low frequency impact sound transmission through floor systems”. Inter-Noise 92, Toronto, p743, 1992

WARNOCK, A. C. C.. **Low-frequency impact sound transmission through floor systems.** Instituto de Pesquisa em Construção, Conselho Nacional de Pesquisa. InterNoise, Canadá. NRCC-44211. 7p. 2000.

YOO, S. Y.; LEE, P. J.; LEE, S. Y.; JEON, J. Y.. **Measurement of Sound Field for Floor Impact Sounds Generated by Heavy/Soft Impact Sources.** ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA. Vol. 96 (2010) 761 – 772.

YOU TUBE. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=fFsu1aOaZOY>. Acessado em: 08 maio 2013

APÊNDICE

A Tempo de Reverberação e Área de Absorção Sonora Equivalente

O tempo de reverberação foi medido para cada dia de medição. Em função disso, foram 10 dias de registro para os ensaios com as fontes normalizadas, realizados alternadamente, (Figura 88) e 9 dias com a fonte não normalizada (Figura 89), realizados continuamente.

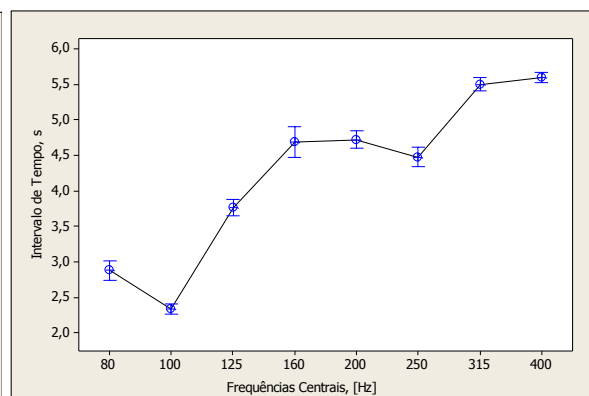
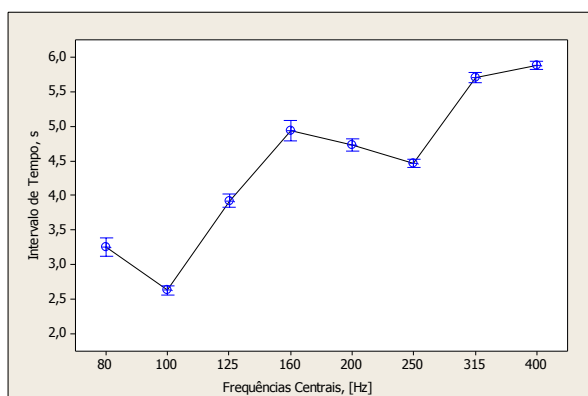


Figura 88 - Tempo de reverberação x frequências centrais obtidos no âmbito das medições com fontes padronizadas.

Figura 89 - Tempo de reverberação x frequências centrais obtidos no âmbito das medições com fonte não padronizada.

Fonte: Acervo Autora.

Fonte: Acervo Autora.

Através das figuras 88 e 89, observa-se que os valores do tempo de reverberação seguem o mesmo padrão. Todavia, ao analisar o erro padrão, observa-se que os dados obtidos através das medições com a fonte não normalizada têm um intervalo de confiança a 95%, para 160 Hz, considerado pequeno. Isto pode estar relacionado ao fato de nos dias das medições com a fonte não normalizada o ruído de fundo estar muito “alto”.

De posse dos tempos de reverberação, foi calculada a área de absorção sonora equivalente para as fontes padronizadas (ver Figura 90), pois era necessário para calcular o L_n ,

e para a fonte não padronizada (Figura 91) a fim de comprovar se os valores seguiam o mesmo padrão.

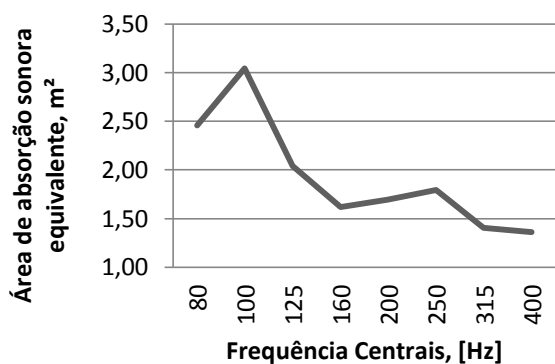


Figura 90 - Área de absorção sonora equivalente x frequências centrais obtidas no âmbito das medições com fontes padronizadas.

Fonte: Acervo Autora.

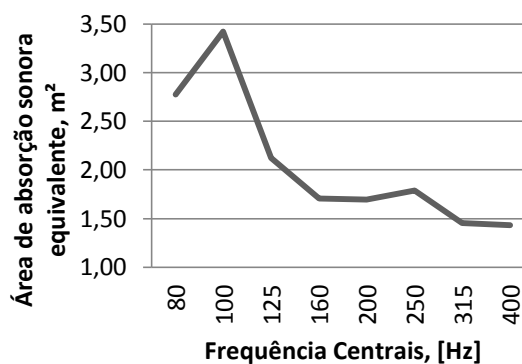


Figura 91 - Área de absorção sonora equivalente x frequências centrais obtidas no âmbito das medições com fonte não padronizada.

Fonte: Acervo Autora.

Através das figuras 90 e 91, observa-se que há uma alta absorção em 80 e 100 Hz, baixas frequências centrais, na sala de recepção do laboratório de acústica da UFSM, porque a sala assume a transmissão sonora pelas paredes como absorção.