

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

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS MODERNAS
COMPOSIÇÕES DE PISOS FLUTUANTES QUANTO AO
DESEMPENHO NO ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MIGUEL ANGELO TEIXEIRA PEDROSO

**SANTA MARIA, RS, BRASIL
2007**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS MODERNAS
COMPOSIÇÕES DE PISOS FLUTUANTES QUANTO AO
DESEMPENHO NO ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO**

por

Miguel Angelo Teixeira Pedroso

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

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil

2007

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

A comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS MODERNAS COMPOSIÇÕES DE
PISOS FLUTUANTES QUANTO AO DESEMPENHO NO ISOLAMENTO AO
RÚIDO DE IMPACTO**

elaborada por
Miguel Angelo Teixeira Pedroso

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Jorge Luiz Pizzutti dos Santos, Dr. Eng. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Dinara Xavier da Paixão, Dr^a. Eng^a.(UFSM)

Erasmus Felipe Vergara Miranda, Dr. Eng. (UFSC)

Santa Maria, 20 de dezembro de 2007.

Devemos construir uma escada
com as pedras do caminho para que
ao galgá-la tenhamos horizontes sempre
mais amplos e mais profundos a conquistar.

À
minha mãe (in memoriam), a meu pai,
à minha esposa, às minhas filhas e aos meus netos.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento de qualquer trabalho presume várias fases que vão da motivação ao coroamento, desde que bem sucedido, passando por um planejamento e adequação dos meios disponíveis, pelo estabelecimento de um cronograma e a conquista paulatina de objetivos intermediários até a abordagem, conquista e consolidação do objetivo principal.

Evidentemente, cada fase desta intrincada e, às vezes, complexa operação depende da solução de óbices e da transposição de obstáculos que não raramente depende do auxílio e da participação de terceiros, cujo engajamento voluntário é absolutamente necessário e em conseqüência o reconhecimento uma obrigação inarredável.

Dito isto, ao me aproximar da colimação do objetivo a que me propus ao candidatar-me para cursar esta pós-graduação em engenharia civil no nível de mestrado, faço um preito de gratidão às pessoas que de alguma maneira participaram comigo nesta empreitada.

Neste agradecimento começo pelo óbvio: o início de todas as coisas, o alicerce, a base, o que garante a firmeza. Meu alicerce tem sido minha querida esposa, que me proporcionou a motivação, a coragem para vencer a inércia de uma aposentadoria, ainda que prematura na idade colocava-me, de certa forma distante do universo de jovens com ganas de realizações. Seu estímulo deu-me forças para voltar à arena e lutar por uma vitória pessoal.

No desenrolar deste entrevero recebi o apoio de um número incontável de pessoas que, seguramente, estarei cometendo injustiça por omissão de nomes e referências pessoais, mas seria ainda mais injusto se não tornasse público os nomes daquelas que mais constantemente acudiram-me com seu auxílio. Assim, agradeço penhoradamente:

- ao funcionário Eleomar da coordenação do curso de pós-graduação em engenharia civil, primeiro contato que estabeleci e que de simples conhecido tornou-se um amigo;
- ao funcionário Jurandir Bortolucci, pelo apoio irrestrito, pela boa vontade e pela participação desinteressada nos meus trabalhos de laboratório;
- ao bolsista Jordan pela inestimável maneira com que me auxiliou na conquista dos conhecimentos necessários dos equipamentos do laboratório de acústica e pela ajuda insubstituível que me prestou na realização dos ensaios;

- à funcionária Sra. Marialva Lorensi pelo apoio na digitação e elaboração dos vários trabalhos e da redação final desta dissertação que exigiam conhecimentos maiores de informática;
- às colegas arquitetas Ângela Pisani e Renata Rotta e Eng^a Flaiane Silva, pela parceria, companheirismo e amizade;
- à professora Dra. Dinara Xavier da Paixão pela transmissão preciosa de ensinamentos na área de acústica e metodologia;
- finalmente a reverência e o agradecimento necessários ao Dr. Jorge Pizzutti dos Santos pela segurança e clareza com que me prestou orientação. Com seu incentivo e apoio desde o primeiro dia de aula pude contar mais do que com um mentor intelectual: contei com um amigo.

Sei que é muito modesta esta retribuição, mas faço-o através da forma que considero mais pura e honesta, para expressar a todos meu reconhecimento, que é a simplicidade do “Muito Obrigado”.

RESUMO

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

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS MODERNAS COMPOSIÇÕES DE PISOS FLUTUANTES QUANTO AO DESEMPENHO NO ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO

AUTOR: MIGUEL ANGELO TEIXEIRA PEDROSO

ORIENTADOR: JORGE LUIZ PIZZUTTI DOS SANTOS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de dezembro de 2007

O ruído de impacto é um desafio para construtores e projetistas pela dificuldade que se encontra para a interrupção das vibrações decorrentes da rigidez dos vínculos entre os elementos estruturais. Diversos estudos científicos visaram o desenvolvimento de métodos para amenizar seus efeitos, dos quais o “ piso flutuante”, composto pela interposição de material elástico entre a laje e o revestimento final, tem apresentado vantagens significativas porque apresenta a solução ainda na fase do projeto. O surgimento de novos materiais no mercado ensejou a realização deste trabalho que teve como objetivo medir e comparar o desempenho desses materiais como isolantes, além de determinar a vantagem relativa no critério custo/benefício, na montagem de sistemas com revestimentos finais de porcelanato e laminado melamínico de madeira, e a utilização de lã de vidro, mantas de borracha reciclada (resíduos de E.V.A.), isopor de alta densidade e manta de polietileno como materiais resilientes. Os ensaios realizados no Laboratório de Termo-Acústica (LaTA) da UFSM de acordo com a metodologia preconizada pelas ISO 140/VI e VIII (exceto as especificações quanto ao tamanho das amostras que foram testadas com 1m²) e ISO 717-2 permitiram escalonar os materiais testados quanto aos seus desempenhos como isolantes acústicos ao ruído de impacto e a pesquisa mercadológica possibilitou determinar uma hierarquização no aspecto custo/benefício.

Palavras-chave: isolamento acústico, ruído de impacto, pisos flutuantes

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Civil Engineering Post-Graduation Program
Federal University of Santa Maria

A COMPARATIVE STUDY BETWEEN MODERN COMPOSITIONS OF FLOATING FLOORS IN TERMS OF THE PERFORMANCE IN THE IMPACT NOISE ISOLATION

CIVIL ENGINEER MIGUEL ANGELO TEIXEIRA PEDROSO

ADVISER: PHD ENGINEER JORGE LUIZ PIZZUTTI DOS SANTOS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de dezembro de 2007

The impact noise is a challenge to builders and designers because of the difficulty in the interruption of vibrations due to the rigidity of the connections between the structural elements. Many previous researches aimed at the development of methods to diminish its effects and among them the “floating floor”, constituted by the interposition of an elastic material between the flagstone and the final covering of the floor, has presented significant advantages in presenting a solution still in the project phase. The introduction of new materials in the market made it possible the development of this study, whose objectives were to measure and to compare the performance of these materials as isolators, as well as to determine the relative advantage to the cost/benefit criterion in the construction of systems with porcelanate and plated melamínico wooden final coverings, and the utilization of glass wool, recycled blankets of rubber (E.V.A. residues) and high density Styrofoam and polyethylene blanket as resilient materials. The experiments carried out at the Thermo-acoustic laboratory (LaTA) in the university, according to the methodology suggested by ISO 140/VI and VIII (except the specifications as to the size of the samples that were tested with 1m^2) and ISO 717-2, permitted the classification of the tested materials in terms of their performance while impact noise acoustic isolators, and the market research made it possible to establish a hierarchy in the cost/benefit aspect.

Key words: acoustic isolation, impact noise, floating floors

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Critérios de nível de NPS de impacto padronizado ponderado, $L'nT,w$, para ensaios de campo – Fonte: ABNT-CE, 2007	49
---	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 – Incidência do ruído Aéreo. Fonte: Leodoro – Nova Escola Abril Online.....	24
FIGURA 02 – Ruído Aéreo – Mecanismo de transmissão. Fonte: Arth-tec – Acústica Arquitetônica	24
FIGURA 03 – Propagação da vibração pela parede e estrutura. Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 24 – Desenho Rotta, R., 2007	25
FIGURA 04 – Impacto produzindo ondas de vibração na barra. Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 19 – Desenho Rotta, R., 2007	27
FIGURA 05 – Efeito do corte da barra. Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 20 – Desenho Rotta, R., 2007	27
FIGURA 06 – Corte na Marra – Material duro e material flexível. Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 20 – Desenho Rotta, R., 2007	28
FIGURA 07 – Material flexível na origem do impacto. Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 21 – Desenho Rotta, R., 2007	28
FIGURA 08 – Ponte acústica. Fonte: Meisser, 1973 apud HAX, 2002, p. 21 – Desenho Rotta, R., 2007	28
FIGURA 09 – Ruído de Impacto: Mecanismo de transmissão. Fonte: Arth-tec – Acústica Arquitetônica	29
FIGURA 10 – Amplitude da força de impacto e tempo de transmissão da quantidade de movimento em função da dureza do piso. Fonte: Sancho, 1982, apud BRONDANI, 1999, p. 13 – Desenho Rotta, R., 2007	30
FIGURA 11 – Variação da força de impacto de um martelo durante o choque sobre o revestimento do piso Fonte: Pujolle, 1978, apud BRONDANI, 1999, p. 14 – Desenho Rotta, R., 2007	31
FIGURA 12 – Curvas típicas de isolamento ao ruído de impacto. Fonte: Sancho & Senchermes, 1982, apud HAX, 2002, p. 30 – Desenho Rotta, R., 2007	34
FIGURA 13 – Redução da transmissão dos ruídos de impacto por um forro falso suspenso Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 24 – Desenho Rotta, R., 2007	36
FIGURA 14 – Um revestimento de piso atenua o ruído de passos. Fonte: Meisser, 1973, apud CONRAD, 2003 p. 23 – Desenho Rotta, R., 2007	37
FIGURA 15 – Esquema de Piso flutuante. Fonte: Hax, 2002, p. 25	39

FIGURA 16 – Natureza e espessura da camada resiliente. Fonte: Brondani, 1999, p. 21	
- Desenho Rotta, R., 2007	42
FIGURA 17 – Carga da laje. Fonte: Brondani, 1999 – Desenho Rotta, R., 2007	43
FIGURA 18 – Espessura da laje suporte. Fonte: Brondani, 1999 – Desenho Rotta, R., 2007	44
FIGURA 19 – Ligação rígida do piso flutuante. Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002 – Desenho Rotta, R., 2007	44
FIGURA 20 – Piso flutuante. Fonte: Gerges, 1992, p. 214 – Desenho Rotta, R., 2007	45
FIGURA 21 – Exemplos de pisos flutuantes. Fontes: A) Meisser, 1973 ; B) e C) Pujole, 1978 – Desenho Rotta, R., 2007	46
FIGURA 22 – Emendas no material elástico. Fontes: Pujolle, 1992; Meisser, 1973, apud HAX, 2002 – Desenho Rotta, R., 2007	46
FIGURA 23 – Canalizações verticais. Fontes: D) Meisser, 1973 ; apud HAX, 2002 – Desenho Rotta, R., 2007	47
FIGURA 24 – Execução do piso flutuante com canalizações. Fonte: Pujolle, 1978, apud HAX, 2002 – Desenho Rotta, R., 2007	48
FIGURA 25 – Procedimento prescrito pela norma ISO 717 – 2	55
FIGURA 26 – Croqui das câmaras de medição do ruído de impacto do LATA. Fonte: Hax, 2002, p. 54	56
FIGURA 27 – Microfone rotativo	57
FIGURA 28– Analisador acústico	57
FIGURA 29 – Calibrador	58
FIGURA 30 – Caixa de som	58
FIGURA 31 – Máquina de impacto	58
FIGURA 32 – Placa de lã de vidro: (A) Face plastificada; (B) Face não plastificada	59
FIGURA 33 – Manta de rubberflex. Espessura 8mm	60
FIGURA 34 – Manta de densiflex. Espessura 4mm	60
FIGURA 35 – Placa de poliestireno expandido densidade 27,5kg/m ³ - Ispor VI	61
FIGURA 36 – Placa de poliestireno expandido. Densidade 32,5kg/m ³ . Isofoan	61
FIGURA 37 – Manta de espuma de polietileno. Densidade 27,0 kg/m ³ . Stratocell	62
FIGURA 38– Placa de argamassa sem revestimento. Espessura 4cm	63
FIGURA 39 – Placa de argamassa com revestimento de porcelanato. Espessura 5cm	63

FIGURA 40 – Revestimento de laminado melamínico de madeira, espessura 7,0mm, assentado sobre a manta de espuma de polietileno de 2,0mm de espessura	63
QUADRO 1 – Descrição dos Sistemas de Pisos Flutuantes Analisados	64
FIGURA 41 – Sistema representado pela amostra nº 3	65
FIGURA 42 – Colocação dos equipamentos na câmara de recepção	66
FIGURA 43 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de 12cm: $L'_{n,w} = 78$ Db	69
QUADRO 2 – Parcial A: Revestimento Final: Porcelanato	69
FIGURA 44 – Gráfico do Nível de ruído de impacto Laje de entre-piso+porcelanato: $L'_{n,w} = 73$ dB	70
FIGURA 45 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+lã-de-vidro+porcelanato: $L'_{n,w} = 50$ dB	71
FIGURA 46 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+rubberflex+porcelanato: $L'_{n,w} = 62$ dB	72
FIGURA 47 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+densiflex+porcelanato: $L'_{n,w} = 65$ dB	73
FIGURA 48 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+isopor VI+porcelanato: $L'_{n,w} = 62$ dB	74
FIGURA 49 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+isofoan+porcelanato: $L'_{n,w} = 64$ dB	75
FIGURA 50 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+polietileno+porcelanato: $L'_{n,w} = 65$ dB.....	76
FIGURA 51 – Gráfico do Nível do ruído de impacto – Representação conjunta da parcial A	77
FIGURA 52 – Gráfico dos $L'_{n,w}$ dos sistemas da parcial A	78
FIGURA 53 – Gráfico dos $\Delta L'_{n,w}$ dos sistemas da Parcial A	78
QUADRO 3 – Parcial B: Revestimento Final: Laminado de Madeira	79
FIGURA 54 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+laminado de madeira: $L'_{n,w} = 75$ dB	80
FIGURA 55 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+lã de vidro+laminado: $L'_{n,w} = 58$ dB	81

FIGURA 56 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+ruberflex+laminado: $L'_{n,w} = 67$ dB	82
FIGURA 57 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+densiflex+laminado: $L'_{n,w} = 67$ dB	83
FIGURA 58 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+isopor VI+laminado: $L'_{n,w} = 63$ dB	84
FIGURA 59 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+isofoan+laminado: $L'_{n,w} = 64$ dB	85
FIGURA 60 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+polietileno+laminado: $L'_{n,w} = 67$ dB	86
FIGURA 61 – Nível do ruído de impacto – Representação conjunta da parcial B	87
FIGURA 62 – Gráfico dos $L'_{n,w}$ de cada matéria do sistema B	88
FIGURA 63 – Gráfico dos $\Delta L'_{n,w}$ dos sistemas da Parcial B	88
QUADRO 4 – Valores ao consumidor dos materiais utilizados	89
FIGURA 64 – Representação gráfica conjunta dos $\Delta L'_{n,w}$ dos sistemas A e B	89
FIGURA 65 – Gráfico do desempenho físico-financeiro dos materiais.	90

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

B&K – Brüel & Kjaer

dB – decibel

EVA – Ethylene-vinyl acetate

Hz – Hertz

ISO – Internacional Organization for Standardization

KHz – quilohertz

LaTA – Laboratório de Termo-Acústica

LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil

Ln – Nível de pressão sonora de impacto normalizado

L'n,w – Nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado

$\Delta L'n,w$ – Diferença entre níveis de pressão sonora de impacto normalizado ponderado

NPS – Nível de Pressão Sonora

Pa – Pascal

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Fichas para ensaio de Ruído de Impacto	101
APÊNDICE B – Tratamento matemático segundo a ISO 717-2 e gráficos com Perfil Deslizante	116
APÊNDICE C – Tratamento matemático segundo a ISO 717-2 – Planilhas de cálculos	131
APÊNDICE D – Tabelas dos valores de Ln dos ensaios	139

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE SIGLAS	14
LISTA DE APÊNDICES	15
CAPÍTULO I	
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Conforto Acústico e planejamento	19
1.2 O estudo desenvolvido neste trabalho	20
1.3 Objetivos	20
1.3.1 Objetivo Geral	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
1.4 Hipóteses	21
1.4.1 Hipótese geral	21
1.4.2 Hipótese específica	21
1.5 Estrutura da dissertação	22
CAPÍTULO II	
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Ruído	23
2.2 Propagação do ruído	23
2.2.1 Transmissão do ruído no ar – ruído aéreo	24
2.2.2 Transmissão do ruído nos sólidos – ruído de impacto	25
2.2.2.1 Frequência crítica	26
2.2.2.2 Propagação do ruído de impacto e mecanismo de redução	26
2.2.2.3 Propagação do ruído de impacto em uma estrutura	29
2.3 Isolamento acústico ao ruído de impacto	34
2.3.1 Forros falsos	35

2.3.2 Forrações de pisos	37
2.3.3 Pisos flutuantes	39
2.4 Fatores que influenciam o isolamento com pisos flutuantes	42
2.4.1 Natureza e espessura da camada elástica	42
2.4.2 Carga da laje	43
2.4.3 Espessura da laje suporte	43
2.5 Critérios técnicos para execução do sistema de piso flutuante	44
2.6 Desempenho acústico de edifícios – Projeto de Norma Brasileira	48
CAPÍTULO III	
3 METODOLOGIA	53
3.1 Procedimentos normativos	53
3.2 Local dos ensaios	55
3.3 Equipamentos utilizados	56
3.4 Relação dos materiais a serem analisados	59
3.4 Procedimento nas medições	62
CAPÍTULO IV	
4 ANÁLISE DOS ENSAIOS E DESEMPENHO FÍSICO-FINANCEIRO - RESULTADOS OBTIDOS	68
4.1 Visualização dos resultados dos ensaios	68
4.2 Representação gráfica do desempenho da amostra de referência	68
4.2.1 Amostra 1 – Laje de entre-piso sem revestimento (amostra de referência)	68
4.3 Visualização dos desempenhos acústicos das amostras da parcial A	69
4.3.1 Quadro 2 – Parcial A: Revestimento Final: Porcelanato	69
4.3.2 Representação gráfica dos desempenhos das amostras da parcial A	70
4.3.2.1 Amostra 2 – Laje de entre-piso+porcelanato	70
4.3.2.2 Amostra 3 – Laje de entre-piso+lã-de-vidro+porcelanato	71
4.3.2.3 Amostra 04 – Laje de entre-piso+rubberflex+porcelanato	72
4.3.2.4 Amostra 05 – Laje de entre-piso+densiflex+porcelanato	73
4.3.2.5 Amostra 06 – Laje de entre-piso+isopor VI+porcelanato	74
4.3.2.6 Amostra 07 – Laje de entre-piso+isofoan+porcelanato	75
4.3.2.7 Amostra 08 – Laje de entre-piso+polietileno+porcelanato	76

4.3.2.8 Representação gráfica do desempenho das amostras da parcial A em conjunto	77
4.4 Visualização dos desempenhos acústicos das amostras da parcial B	79
4.4.1 Quadro 3 – Parcial B: Revestimento Final: Laminado de Madeira	79
4.4.2 Representação gráfica dos desempenhos das amostras da parcial B	80
4.4.2.1 Amostra 9 – Laje de entre-piso+laminado de madeira	80
4.4.2.2 Amostra 10 – Laje de entre-piso+lã de vidro+laminado	81
4.4.2.3 Amostra 11 – Laje de entre-piso+ruberflex+laminado	82
4.4.2.4 Amostra 12 – Laje de entre-piso+densiflex+laminado	83
4.4.2.5 Amostra 13 – Laje de entre-piso+isopor VI+laminado	84
4.4.2.6 Amostra 14 – Laje de entre-piso+isofoan+laminado	85
4.4.2.7 Amostra 15 – Laje de entre-piso+polietileno+laminado	86
4.4.2.8 Representação gráfica do desempenho das amostras da parcial B em conjunto	87
4.5 Visualização dos $\Delta L'n,w$ em conjunto das amostras das parciais A e B	89
4.6 Desempenho econômico	89
4.6.1 Gráfico de desempenho físico-financeiro	89
CAPÍTULO V	
5 CONCLUSÃO	91
5.1 Considerações finais	91
5.2 Desempenho físico dos materiais	92
5.3 Desempenho físico-financeiro	95
5.4 Sugestões para futuros trabalhos de pesquisa	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICES	100

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

1.1 Conforto Acústico e planejamento

O conforto acústico analisado por qualquer prisma e sob qualquer ponto de vista sugere a sensação de bem estar, de tranqüilidade emocional, de deleite dos momentos de trabalho ou de repouso.

O conforto acústico é, pois, a materialização desta situação no que diz respeito à convivência com emissões sonoras que são ou que podem tornar-se desagradáveis. Para isto, estas emissões não deverão, em tempo algum, romper o equilíbrio da tranqüilidade e atravessar a fronteira para o indesejável e compulsório caos da poluição sonora.

A redistribuição do espaço urbano exigida pelo aumento exacerbado da densidade demográfica, determinou uma nova concepção arquitetônica para otimizar o aproveitamento deste espaço, praticamente obrigando à verticalização das estruturas edificadas.

Paralelamente a esta evolução desenvolveu-se uma condição de importância vital nos dias atuais: a redução do custo de produção, cuja conseqüência é caracterizada pela economia de material que por sua vez reflete-se na diminuição das dimensões das estruturas de uma maneira geral e, em particular das espessuras dos painéis separadores de ambientes, dentre estes as lajes de entre piso. A redução das espessuras, provocará, de maneira genérica, a rigidez das estruturas prediais. A eventual compensação da diminuição da espessura pelo aumento da ferragem estará limitada pelos critérios normativos de percentual da armadura e além disso do custo, que é o que se deseja sempre diminuir. O resultado óbvio é o surgimento, inevitável, do desconforto acústico causado por ruídos de impacto.

A inexistência de parâmetros aceitáveis de níveis de transmissão de ruído de impacto nas normas brasileiras desobriga os projetistas da preocupação com o problema do desconforto de tal maneira que seus trabalhos, de um modo geral não contemplam soluções para o isolamento ao ruído de impacto.

O descontentamento do usuário, preocupado com os padrões de conforto e, exigindo uma qualidade de vida compatível com o desenvolvimento da tecnologia está fazendo com que esta situação comece a sofrer modificações.

1.2 O estudo desenvolvido neste trabalho

Os estudos científicos realizados na Universidade Federal de Santa Maria por Brondani, S., 1999, Conrad, L. e Hax, S., 2002 e Medeiros, M., 2003, tiveram como finalidade testar métodos e materiais que possibilitem a redução dos níveis de transmissão do ruído de impacto. Desses métodos, o “**piso flutuante**” tem apresentado vantagens significativas porque apresenta a solução ainda na fase de projeto e permite a utilização de revestimentos ao gosto do usuário.

O presente trabalho foi feito com a intenção de desenvolver um paralelo entre o desempenho de materiais novos lançados no mercado, visando determinar as vantagens relativas para a sua utilização como o material resiliente na composição de pisos flutuantes com os revestimentos finais preferencialmente utilizados atualmente que são o laminado de madeira e o porcelanato.

Para tanto as instalações e os equipamentos do Laboratório de Termo-Acústica (LaTA) da UFSM, proporcionaram a infra-estrutura exigida para o seu desenvolvimento.

O contato mantido com as empresas fabricantes dos materiais testados, proporcionou o suprimento das amostras necessárias utilizadas nos ensaios.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Testar em laboratório o desempenho das principais e mais usuais composições de pisos flutuantes utilizando-se materiais resilientes disponíveis no mercado brasileiro e desenvolvidos para este fim.

1.3.2 Objetivos específicos

- Testar em laboratório, quanto à eficácia no isolamento ao ruído de impacto, pisos de porcelanatos e laminado de madeira em sistemas de pisos flutuantes com os seguintes materiais resilientes:
 - a. Placas de lã de vidro produzidas pela Isover do Brasil
 - b. Mantas de borracha reciclada – rubberflex – produzidas pela Mercur S.A.
 - c. Mantas de borracha reciclada – densiflex – produzidas pela Mercur S.A.
 - d. Placas de poliestireno expandido, densidade 27,5 kg/m³, produzidas pela Knauf-Isopor.
 - e. Placas de poliestireno expandido, densidade 32,5 kg/m³, produzidas pela Knauf-Isopor.
 - f. Manta de polietileno produzida pela Sealed Air Brasil Ltda.
- Comparar os valores de mercado e os desempenhos individuais para estabelecer uma hierarquia entre os materiais a serem testados com relação a custo benefício.

4 Hipóteses

1.4.1 Hipótese geral

Os ensaios de laboratório demonstrarão cientificamente que os materiais testados têm um desempenho positivo como isolantes ao ruído de impacto quando usados como materiais resilientes em sistemas de piso flutuante.

1.4.2 Hipótese específica

Os ensaios de laboratório permitirão estabelecer uma hierarquia entre os desempenhos individuais como isolantes acústicos ao ruído de impacto, dos materiais a serem testados, quando usados como materiais resilientes na composição de sistemas de piso flutuante com revestimentos finais de porcelanato e laminado melamínico de madeira. Permitirão também a análise comparativa

considerando os desempenhos e os valores de mercado para determinar vantagens relativas com relação aos índices de desempenhos.

1.5 Estrutura da dissertação

O **Capítulo I** abordará a introdução ao trabalho com a descrição sumária da sua realização, e descrição dos objetivos e hipóteses para o desenvolvimento do estudo.

O **Capítulo II** tratará da revisão bibliográfica com a referência a conceitos teóricos, trabalhos e pesquisas publicadas sobre o assunto.

No **Capítulo III** será apresentada a descrição da metodologia adotada, na execução do trabalho, incluindo as diretrizes que fundamentaram a pesquisa, a definição dos materiais e o local dos ensaios.

O **Capítulo IV** apresentará a descrição e análise dos resultados individuais e comparação dos desempenhos físicos e econômicos.

Finalmente no **Capítulo V** serão apresentadas as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ruído

A percepção desagradável, incômoda, irritante, e por vezes lesiva, fisicamente, da onda sonora é definida como **ruído**, com a ressalva, que deve ser levada em conta, de que certos tipos de som são cultuados por algumas pessoas, principalmente jovens, e que, no entanto, podem molestar psicologicamente outras tantas e fisicamente umas e outras.

Depreende-se desta concepção que ruído é uma sensação totalmente subjetiva, visto que sensações auditivas agradáveis, ou pelo menos suportáveis para algumas pessoas podem ser extremamente desagradáveis para outros. Está intimamente ligada ao aspecto emocional, psicológico e até mesmo social de quem está sujeito a esta ação sonora. De outra forma, pode-se ampliar este conceito para a questão de inteligibilidade da informação sensorial produzida pela onda sonora, ou seja, os fatores de diferenciação entre som e ruído extrapolam o campo emocional estendendo-se ao campo da inteligência humana: tudo o que não puder ser codificado como informação com algum significado para o ouvinte poderá ser caracterizado como ruído. Sob o ponto de vista mais técnico, de acordo com Noceti & Dalcastagné, 2002, apud Paixão, D., 2004) “os ruídos dão quaisquer sinais que têm a capacidade de reduzir a inteligibilidade de uma informação de som, imagem ou dados”

Portanto, se som e ruído somente se diferenciam pelo seu caráter empático, tudo o que for dito com referência ao aspecto físico do som valerá para o ruído.

2.2 Propagação do ruído

Sendo o ruído o resultado de uma vibração transmitida sob a forma de onda mecânica num meio elástico, haverá evidentemente uma diferenciação na sua propagação em decorrência do estado de agregação das moléculas desse meio condutor.

2.1.1 Transmissão do ruído no ar – ruído aéreo

O ruído aéreo, decorrente da produção de uma pressão sonora, propaga-se no ar em forma de ondas esféricas a partir de sua origem. Ao atingir a estrutura de uma edificação o ruído aéreo será transmitido pela vibração das paredes, cujo movimento gerará uma outra onda sonora no recinto adjacente. Podemos representar a incidência do som aéreo sobre uma edificação e o mecanismo de sua transmissão pelas Figuras 01 e 02.



Figura 01 – Incidência do ruído Aéreo
Fonte: Leodoro – Nova Escola Abril Online, Ed. 03/99

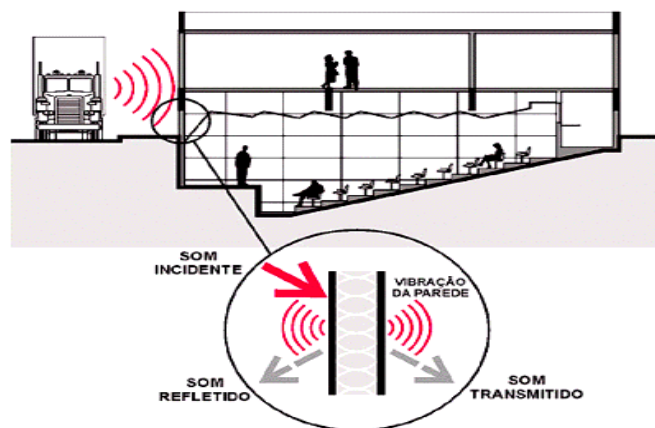


Figura 02 – Ruído Aéreo – Mecanismo de transmissão
Fonte: Arch-tec – Acústica Arquitetônica

2.1.2 Transmissão do ruído nos sólidos – ruído de impacto

O conceito que se tem de **ruído de impacto** (som transmitido num meio sólido) é o de um som gerado por uma excitação mecânica de curta duração (MÉNDEZ et al., 1994, p. 129-130) que dá origem a um movimento ondulatório e causa grande desconforto porque a natureza de sua geração excita a estrutura em todas as frequências, inclusive a crítica, ainda que, os níveis de pressão gerados não sejam elevados. Os ruídos produzidos por impacto transmitem-se através de meios sólidos, líquidos e parcialmente pelo ar.

Segundo Souza, L. et al (2003, p. 96) impactos também são vibrações que se propagam pelas estruturas, mas apresentam como característica uma rápida queda na sua intensidade. São vibrações com grande quantidade de energia, apresentando picos e se propagando sobre os sólidos com pouca atenuação. Impactos como a ação de um martelo sobre uma superfície (Fig. 03) que faz com que ela vibre e o ruído seja transmitido para o ambiente adjacente, provocando a vibração do ar.

Segundo Recuero, M. e Gil, C. (1993, p.332) o ruído originado por impacto ou de estruturas submetidas a vibrações pode ser sentido como resultado de ação sobre as próprias paredes que se transformam em um irradiador do som ou por vibrações provocadas sobre o solo e que se transmitem a todas as partes da estrutura.

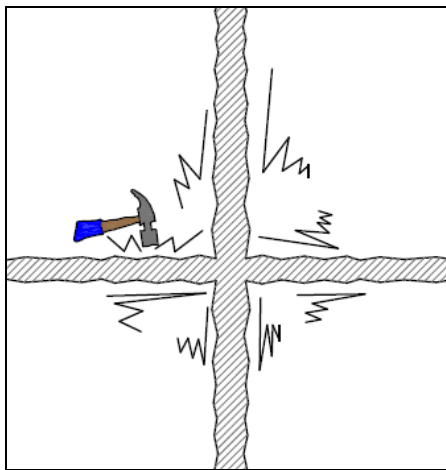


Figura 03 – Propagação da vibração pela parede e estrutura

Fonte: Meisser, 1973 apud HAX, 2002, p. 24 - Desenho Rotta, R., 2007

2.1.2.1 Freqüência crítica

Os ruídos de impacto são fonte de grande incômodo, uma vez que produzem diminuição do conforto, ainda que os níveis de pressão sonora gerados não sejam elevados. Ademais, como as vibrações geradas se transmitem pela estrutura, podem propagar-se a grandes distâncias, prejudicando muitas pessoas simultaneamente.

Outro motivo que faz com que os ruídos de impacto sejam tão prejudiciais é a natureza da sua geração, que excita a estrutura em todas as freqüências, inclusive a crítica. (lembre-se que a freqüência crítica 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 importante do som.). (MÉNDEZ, et al. 1994, pág. 130,131)

Para todas as freqüências abaixo da crítica o desempenho do material como isolante acústico é normalmente negativo, ou seja, ao invés de diminuir ele aumenta o som. Por esse motivo, para efeito de isolamento acústico pretende-se que o material tenha uma freqüência crítica o mais baixo possível.

2.1.2.2 Propagação do ruído de impacto e mecanismo de redução

A velocidade de transmissão do som em um meio elástico qualquer, depende do tipo de ligação entre suas moléculas. Quanto mais rígida for esta ligação maior será a velocidade de propagação da onda sonora. Esta condição explica porque o som transmite-se mais velozmente nos sólidos do que nos líquidos e nos gases. Entretanto a maior velocidade de propagação não significa uma garantia para uma maior quantidade de transmissão.

Com isto é válido dizer que um material que permita uma alta velocidade de transmissão pode, ao mesmo tempo, diminuir a intensidade de energia sonora transmitida em consequência da sua capacidade de converter parte da energia sonora incidente em energia térmica. É o que ocorre em sólidos porosos, cujas cavidades internas cheias de ar dão origem a diversas reflexões da onda sonora que se converte parcialmente em energia térmica. Os materiais plásticos também chamados resilientes têm essa capacidade: diminuem, significativamente, a quantidade de energia sonora transmitida na razão direta da sua resiliência. Essas características nos permitirão estabelecer os fundamentos do isolamento do ruído de impacto.

Segundo Meisser (1973, apud HAX, S., 2002, p 19,20 e 21) uma barra de metal golpeada em sua extremidade vibra originando uma onda mecânica que se propaga ao longo do seu comprimento, numa velocidade peculiar ao material, e emite ruído aéreo, conforme mostra o esquema da Figura 04.

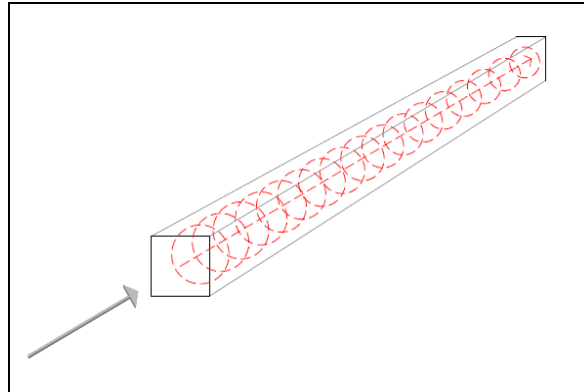


Figura 04 – Impacto produzindo ondas de vibração na barra

Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 19 - Desenho Rotta, R., 2007

Caso esta barra seja seccionada e tenha as partes cortadas afastadas a onda sonora proveniente da primeira refletir-se-á na segunda sem ultrapassá-la (Figura 05).

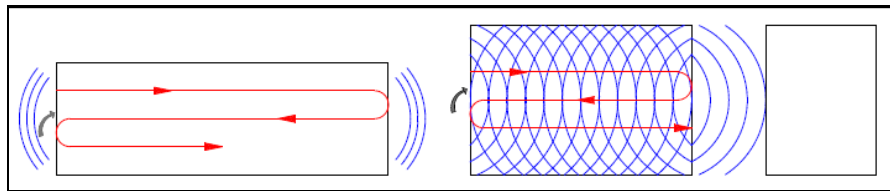


Figura 05 – Efeito do corte da barra

Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 20 - Desenho Rotta, R., 2007

Se por outro lado ao invés de afastarmos as duas seções mantivermos ambas unidas por uma porção de material resiliente parte da energia sonora será transmitida para a segunda seção. A quantidade de energia sonora vai depender da plasticidade do material interposto. Quanto mais duro este material mais energia será transmitida; quanto mais flexível mais energia sonora será absorvida (Figura 06).

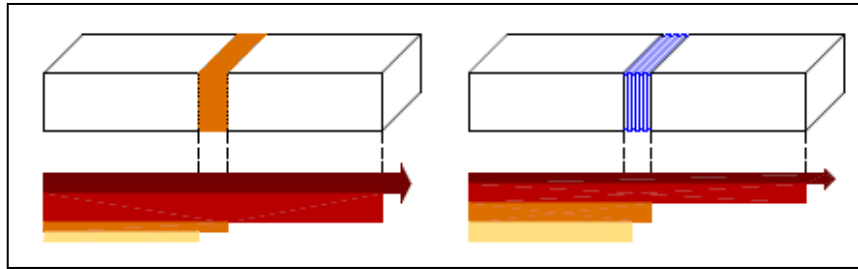


Figura 06 – Corte na Marra – Material duro e material flexível

Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p.20 – Desenho Rotta, R., 2007

Quando o material resiliente é colocado na parte anterior à barra a redução dar-se-á na origem e menos energia sonora será transmitida (Figura 07).

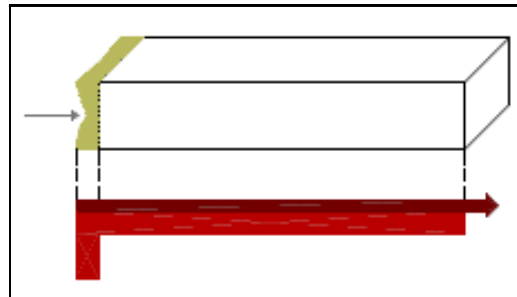


Figura 07 – Material flexível na origem do impacto

Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 21 – Desenho Rotta, R., 2007

Outro fator importante a ser considerado é a existência de material rígido unindo as duas seções da barra. Neste caso as vibrações encontram o caminho necessário para a sua propagação, formando-se a chamada ponte acústica e, praticamente, eliminando a eficácia do material resiliente (Figura 08).

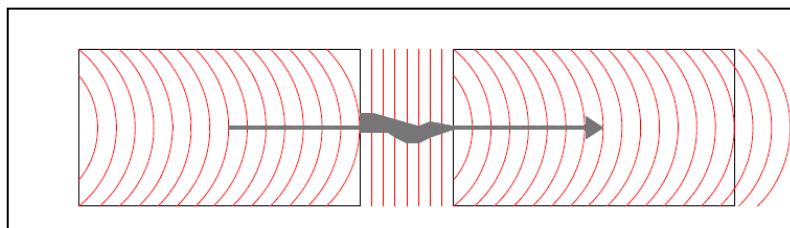


Figura 08 – Ponte acústica

Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002, p. 21 - Desenho Rotta, R., 2007

2.1.2.3 Propagação do ruído de impacto em uma estrutura

Diferentemente do *ruído aéreo* que se transmite longitudinalmente, o *ruído de impacto* se transmite em todas as direções: longitudinalmente, transversalmente, torcionalmente e na direção de cisalhamento (Figura 09).

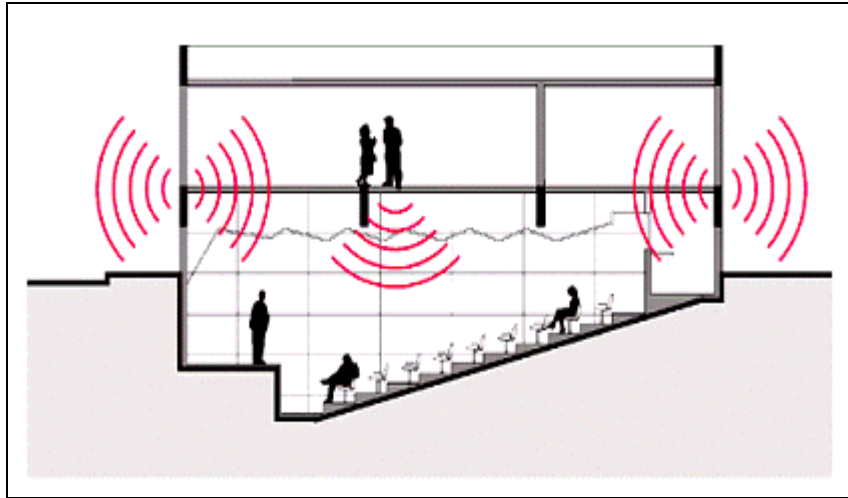


Figura 09 – Ruído de Impacto: Mecanismo de transmissão

Fonte: Arch-tec – Acústica Arquitetônica

A transmissão sonora através de uma estrutura, pelo menor caminho e mais direto, é aquela gerada diretamente pelo impacto seguida pela conseqüente vibração como acontece numa laje estrutural de concreto armado.

No caso das construções atuais, a vibração causada pelo impacto de passos e movimento de objetos provocam situações comuns de desconforto, e é igual à radiação sonora produzida pelo funcionamento de eletrodomésticos ou equipamentos como martelotes e bate-estacas.

Afirma Sanches (1982), que a quantidade de energia recebida por uma estrutura ao ser-lhe aplicada uma força, depende da natureza dessa força, da sua variação temporal e da impedância mecânica da estrutura, que por sua vez está condicionada a vários fatores, dentre eles, o tipo da estrutura, a magnitude da reflexão, da velocidade e freqüência da vibração, entre outros.

Com referência a variação temporal, pode-se afirmar que, sendo a excitação do tipo transiente (impulso), a sua magnitude depende do tempo de contato da força excitadora com o piso

de tal forma que, para um dado momento, o impulso gerado por uma força atuante durante um pequeno espaço de tempo, produz o mesmo impulso que uma força muito menor atuando em um tempo maior, e depende da elasticidade e da deformação tanto do objeto que provoca a força quanto da superfície que a recebe.

O trabalho realizado para trocar a energia cinética do objeto pode armazenar-se na estrutura em forma de energia de deformação e, portanto, pode ser transmitida em forma de ondas, além de ter uma parcela dissipada internamente. Dessa maneira, uma vibração gerada em uma estrutura uniforme se propagará com perdas que dependem da sua amplitude inicial, da massa da estrutura e da sua capacidade de amortização interior.

Outrossim, sabe-se que estruturas leves são mais facilmente excitáveis e vibram com amplitudes maiores do que estruturas mais rígidas. Além disso, sob a força do impacto, a dureza do piso é que determina a sua resposta, pois que ao aceitar a quantidade de movimento, responde em um tempo muito curto. O mesmo não acontece com um piso deformável, que por amortizar a quantidade de movimento da força de impacto, transmite-a em um tempo maior e com vibrações de menor amplitude, como ilustra a Figura 10.

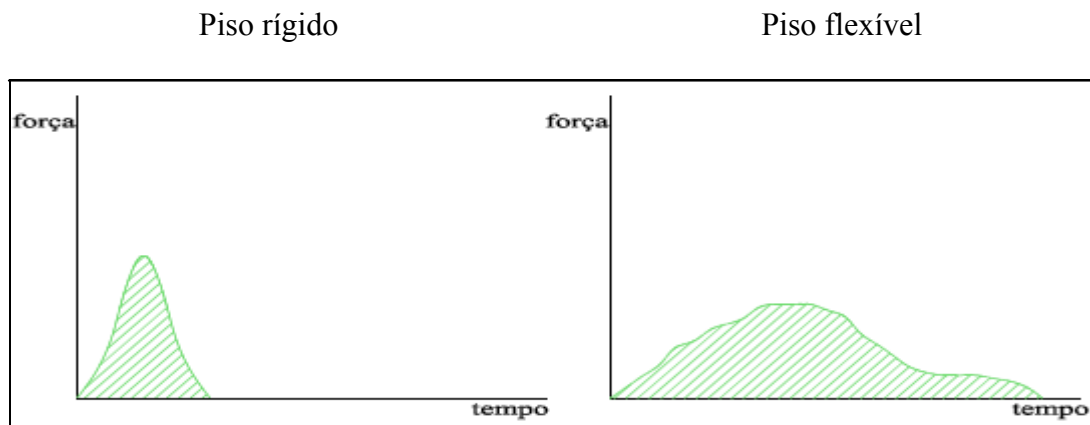


Figura 10 – Amplitude da força de impacto e tempo de transmissão da quantidade de movimento em função da dureza do piso

Fonte: SANCHES & SENCHERMES (1982, p. 65) – Desenho Rotta, R., 2007

Ainda segundo Sanches (1982), as respostas sonoras de cada piso são absolutamente diferentes: um piso duro produz sons com frequências altas, enquanto o piso deformável produz

sons com baixas frequências. Quanto mais duro for o piso maior será a banda de frequências excitadas e maior será o incômodo causado pelo ruído (GERGES, 1992).

O comportamento do fenômeno é explicado por Pujolle (1978, p. 279) com a utilização de uma máquina de produção de ruído de impacto, constituída de cinco martelos de massa “**m**”, que caem de uma altura de **4cm**, sobre o piso que se deseja testar com uma velocidade **v_o**:

$$v_o = (2 g h)^{1/2}$$

$$v_o = 0,886 \text{ m/s}$$

Se o revestimento for muito duro o tempo de duração da excitação será pequeno e a força “**F**” de impacto imposta à laje aumentará de zero até um máximo de “**F_m**”. Quanto mais rígido o revestimento maior será a força transmitida à laje. Em contrapartida se o revestimento do piso for flexível o afundamento do martelo será maior, aumentando o tempo de contato e diminuindo o valor da força de excitação da estrutura (Figura 11).

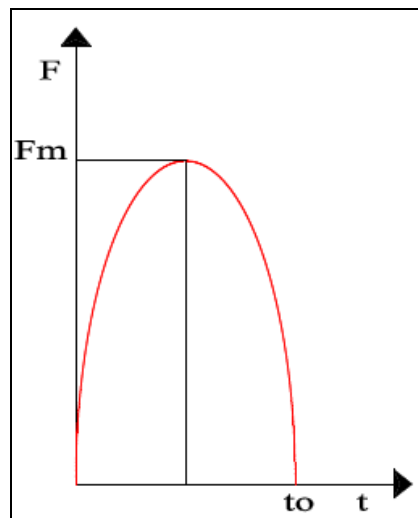


Figura 11 – Variação da força de impacto de um martelo durante o choque sobre o revestimento do piso

Fonte: PUJOLLE (1978, p. 279) – Desenho Rotta, R., 2007

Desta maneira os valores de “**t_o**” e “**F_m**” dependem do fator de rigidez do material que está sendo utilizado para isolamento do ruído de impacto.

$$t_o = \pi (m/k)^{1/2}$$

Quanto mais duro o revestimento menor será o **t_o**.

Ainda, segundo Pujolle (1978, p. 280), a força “**F_m**” transmitida à laje é dada por:

$$F_m = v_o (mk)^{1/2} \quad (3)$$

Sendo **v_o** = $(2gh)^{1/2} = 0,886,0$

$$h = 0,04m$$

$$m = 0,5kg$$

k = coeficiente de rigidez do revestimento

Vamos ter:

$$F_m = 0,63 (k)^{1/2} \quad (4)$$

Significando, com isso que a força de impacto imprimida à laje varia exclusivamente com o fator de rigidez do material isolante.

Os impulsos sucessivos provocados pelos cinco martelos da máquina submetem o piso a uma cadência de dez golpes por segundo, fazendo a laje entrar em vibração à uma velocidade variável que pode ser determinada pela observação do espectro de freqüência da força de impacto. Conhecendo-se o modo de radiação da laje a cada freqüência que o som irradia, pode-se avaliar a energia irradiada que chega ao local de recepção para cada freqüência de choque.

Uma freqüência de vibração tem papel fundamental no isolamento ao ruído de impacto: é a freqüência de ressonância, designada por “**f_o**” que será dada por

$$f_o = 1/2\pi (k/m)^{1/2} \quad (5)$$

Sendo **m** = 0,5 kg

k = coeficiente de rigidez dinâmica do revestimento

$$f_o = 0,23 (k)^{1/2} \quad (6)$$

Por sua vez o coeficiente de rigidez dinâmica do material segundo Pizzutti (1998, apud HAX,. S. 2002, p. 28) é dado pela expressão:

$$k = E / e$$

Sendo **k** = rigidez dinâmica por unidade de superfície do material (N/m)/m²= (N/m³)

E = módulo de elasticidade do material resiliente (N/m²)

e = espessura do material resiliente

A massa “ m ” considerada para o cálculo da frequência de ressonância nesse caso – redução do ruído de impacto pela utilização de revestimentos – é a massa do martelo da máquina de produção de ruído. Se formos, no entanto, considerar o cálculo da frequência de ressonância para redução do ruído com a utilização de pisos flutuante o valor da massa “ M ” será determinada considerando a massa surfática do revestimento, incluindo o contrapiso e a “ f_0 ” será dada por:

$$f_0 = 1/2\pi (k/M)^{1/2} \quad (7)$$

Sendo k = rigidez dinâmica por unidade de superfície do material resiliente (N/m³)

M = massa por unidade de superfície do piso flutuante (kg/m²)

Se considerarmos o valor de M na ordem de 100 kg/m² teremos:

$$f_0 = 0,016 (k)^{1/2} \quad (8)$$

e podemos projetar o fator de rigidez do sistema para uma determinada frequência f_0 .

Assim, para termos $f_0 < 250$ Hz, temos que ter $k < 2,44 \times 100.000.000$ Observa-se na prática que para frequências inferiores à “ f_0 ” a melhora do isolamento proporcionado por um material elástico, é muito discreta, sendo em alguns casos, até mesmo negativa para frequências inferiores próximas a ela.

Partindo-se desta premissa, para termos um bom isolamento do ruído de impacto, é preciso que a “ f_0 ” tenha o menor valor possível e em conseqüência o material a ser utilizado como amortecedor do ruído deve ser o mais flexível possível, sem que esta flexibilidade provoque incompatibilidade pela deformação exagerada. A Figura 12 compara as curvas típicas de isolamento ao ruído de impacto.

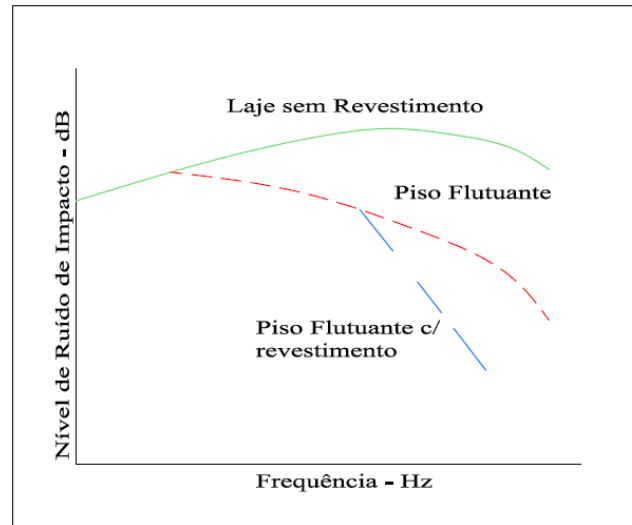


Figura 12 – Curvas típicas de isolamento ao ruído de impacto

Fonte: SANCHES & SENCHERMES (1982, p. 67) - Desenho Rotta, R., 2007

2.2 Isolamento acústico ao ruído de impacto

O isolamento acústico é o conjunto de medidas construtivas com a intenção de interromper ou diminuir o fluxo de energia sonora de um ambiente para outro.

Segundo Beranek (1960 apud FERREIRA, 2006), isolamento acústico é a capacidade de uma estrutura de reduzir o som do alcance de um espaço receptor. O isolamento acústico trata da quantidade de som emitido que é transmitido por um outro ambiente.

Os efeitos do ruído de impacto podem ser convenientemente reduzidos com o aumento de rigidez da estrutura, o que poderia ser solucionado com o aumento da espessura da laje de entepiso. Entretanto este método se torna inviável visto que comprovadamente o ganho de isolamento é de apenas 1 dB a cada aumento de 1 cm na espessura da laje (BRONDANI, 1999, p.23). Buscam-se, portanto, alternativas mais eficientes, cuja finalidade principal é interromper ou minimizar a transmissão das vibrações através da estrutura. De acordo com o que foi descrito no item 2.6.2 e seus subitens, ao se fazer considerações sobre isolamento, pode-se concluir que:

- a transmissão do ruído nas estruturas pode ser minimizada pela interposição de um material flexível na origem do impacto ou no seu interior;

- a eficácia do material flexível como isolante depende da sua rigidez dinâmica;
- a capacidade de isolamento de um sistema, ao ruído de impacto, depende da rigidez da estrutura e da sua frequência crítica. Esta condição está diretamente relacionada à espessura da laje estrutural e à posição de cargas complementares que poderão ter um efeito favorável ao diminuir a frequência crítica.

Dessa maneira é possível conceber-se métodos de isolamento ao ruído de impacto, em lajes estruturais, com:

- isolamento pela utilização de forro falso no recinto de recepção do ruído.
- isolamento do piso na origem do impacto, através de forrações com materiais macios como tapetes espessos e carpetes.
- isolamento pela interposição de material flexível – resiliente – entre o revestimento e a laje, método este denominado como piso flutuante.

2.2.1 Forros falsos

Segundo De Marco (1990, p.73) a utilização de forros suspenso possibilita aumentar consideravelmente o isolamento de um piso com respeito ao ruído aéreo, porém não acrescenta isolamento ao ruído de impacto. Esse método tem por base a colocação de um forro falso no ambiente receptor de ruídos. O material do forro deve ser poroso e com boa quantidade de massa, executado com uma camada de ar entre ele e a estrutura, sendo conveniente, ainda, utilizar-se material absorvente sonoro (MÉNDEZ et al., 1995, p 139). Salienta-se a importância de se observar o tipo de ligação do forro falso com a laje ou estrutura. A ligação rígida forma uma ponte acústica que reduz o isolamento. A utilização de uma ligação elástica poderá proporcionar um ganho de isolamento que por outro lado reduz a estanqueidade. Por isso deve-se utilizar material elástico nos pontos de contato do forro com as paredes. A Figura 13 ilustra a redução da transmissão dos ruídos de impacto por um forro falso suspenso.

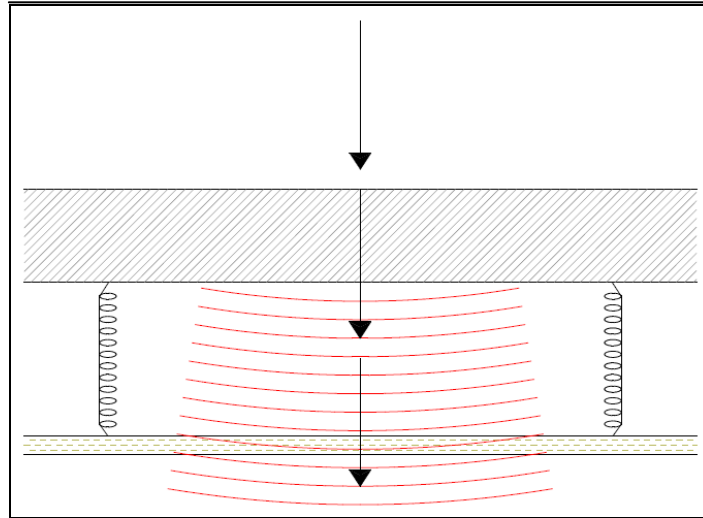


Figura 13 – Redução da transmissão dos ruídos de impacto por um forro falso suspenso

Fonte: Meisser, 1973, apud CONRAD, 2002, p.24 – Desenho Rotta, R., 2007

Medeiros (2003) desenvolveu uma pesquisa no Laboratório de Acústica da UFSM – Forros em Gesso Acartonado: Combinações de Utilização e Desempenho como Isolantes Acústicos para Ruído de Impacto, utilizando quatorze tipos de composições de forro de gesso acartonado. Usou desde forros simples, com uma única camada de painel de gesso acartonado, com e sem adição de manta absorvente acústica (lã de rocha), até forros múltiplos, com duas e três camadas de painel de gesso acartonado, também com e sem adição de manta absorvente acústica (lã de rocha). Foram estudadas ainda duas situações de espaço disponível sob a laje de teto de 100mm, espaço este mínimo para uma boa trabalhabilidade na execução dos forros, e outra com 300mm de espaço disponível, normalmente, nas edificações para a execução de forros. Para uma análise comparativa foi criada a composição base “zero”, onde a câmara de recepção fica sem forro falso sob a laje do teto.

O pesquisador concluiu que a utilização de forros falsos não apresenta um desempenho que justifique seu emprego como solução para o isolamento do ruído de impacto. Isso se dá particularmente porque a sua execução só tem ação isolante contra o ruído aéreo, mas não consegue isolar o ruído transmitido pela vibração das paredes uma vez que o piso do ambiente de transmissão permanece em contato com elas. Mesmo colocando uma terceira placa de gesso acartonado o

desempenho não alcança mais do que 9,0 dB. É um método caro que pode atender aspectos estéticos, caso haja espaço suficiente para sua execução, mas não tem uma eficácia que justifique sua utilização para redução do ruído de impacto.

2.2.2 Forrações de pisos

Método bastante eficiente principalmente quando se utilizam tapetes altos ou carpetes bastante espessos. Entretanto não é um método muito aceito por uma questão cultural e sanitária – visto que alguns tipos de revestimentos como os tapetes e carpetes dão origem a rejeições físicas como as doenças alérgicas – havendo preferência pelos revestimentos cerâmicos e de madeira. A Figura 14 ilustra como um revestimento de piso pode atenuar o ruído de passos.

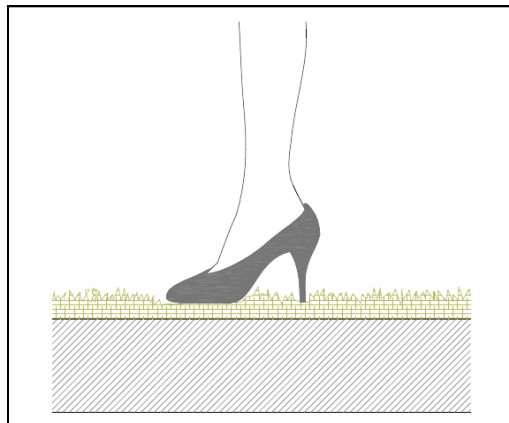


Figura 14 – Um revestimento de piso atenua o ruído de passos

Fonte: Meisser, 1973, apud CONRAD, 2003 p. 23 – Desenho Rotta, R., 2007

Waki e Jin (1994), no seu estudo da situação daquela época e os pontos que tinham que se melhorados no isolamento ao ruído de impacto e as propriedades dos materiais de acabamento tanto na China quanto no Japão, mediram o nível sonoro do ruído de impacto em 42 salas do 103º andar de um edifício recém construído e não habitado em Pequim. As salas mediam $(3,3 \times 6,6) \text{m}^2$ e a área total dos conjuntos mediam $(8,0 \times 15,0) \text{m}^2$. Para a medição no local os materiais de acabamento foram fixados por fita adesiva sobre as lajes.

Nas suas conclusões afirmam que, na China, é preciso melhorar as propriedades do isolamento sonoro das lajes sem revestimento pelo aumento da rigidez das lajes retangulares.

As melhorias de desempenho ($\Delta L'nT$) são praticamente iguais para cada uma das lajes retangulares, enquanto que o desempenho de isolamento ao ruído de impacto dos materiais testado como acabamento obedece a seguinte ordem decrescente: tapete > madeira > borracha > manta plástica.

Outras possibilidades, como a melhoria do nível do ruído de impacto em lajes, ainda estariam, à época (1994), sem solução na China, especialmente na área da madeira e do carpete.

Conrad (2002), no seu estudo comparativo entre diversos revestimentos para pisos quanto ao isolamento do ruído de impacto, selecionou para comparação de desempenho os seguintes materiais:

- Revestimento em borracha espessura 2,3, e 4 mm
- Revestimento em borracha com espessura de 9,5mm e com fundo de rubberflex
- Piso vinílico
- Laminado sintético com reforço de manta de prolipropileno e poliéster impregnado
- Carpetes de várias espessuras
- Base isolante para carpetes
- Laminado em madeira natural, alto tráfego

Suas pesquisas mostram que:

- Os pisos de borracha apresentam um isolamento diretamente proporcional a sua espessura e com um baixo desempenho.
- Os demais pisos sintéticos também demonstraram um baixo desempenho, com destaque para o piso vinílico que apresentou o resultado mais desfavorável entre todos os materiais testados. Já o piso de borracha com fundo de rubberflex destacou-se no seu grupo apresentando um resultado excepcional, chegando a apresentar um ΔL de 21,5 dB(A) em relação a amostra de referência.
- Os laminados de madeira apresentaram um ganho na ordem de 11 dB(A).
- Os carpetes apresentaram um desempenho diretamente proporcional a altura do pêlo para a mesma textura. A textura buclê apresenta um desempenho até quatro vezes superior à mesma espessura do carpete com pelo cortado.
- Os carpetes com uso de base isolante demonstraram um rendimento semelhante para todas as espessuras e texturas com ΔL entre 33 dB(A) e 39 dB(A), concluindo-se que a base é

por si só um bom isolante, o que traz vantagens significativas na relação custo-benefício, para um mesmo nível de isolamento.

2.2.3 Pisos flutuantes

Método que apresenta alguns excelentes desempenhos, dependendo do material empregado, além de adaptar-se perfeitamente aos revestimentos preferenciais. É uma concepção que se baseia na utilização de um material elástico que isola o contrapiso e o seu revestimento final da laje estrutural do edifício. Este material elástico que serve como amortecedor é tão mais eficiente quanto maior for a sua resiliência.

Por ser o método a ser utilizado neste trabalho algumas considerações devem ser feitas:

- A idéia principal do piso flutuante é isolar a estrutura do edifício das vibrações geradas pelo impacto, para isso a técnica de execução deve ser a mais acurada possível de maneira a evitar-se a formação de uniões rígidas – as chamadas pontes acústicas – entre o piso flutuante e a estrutura.
- O material empregado como recheio elástico, logicamente precisa atender a determinadas características, como a resistência mecânica, química, resistência à perfuração e à combustão, mas, sobretudo deve ser elástico que é o que lhe garantirá o bom desempenho como isolante acústico.

Na Figura 15 observa-se um esquema de piso flutuante segundo Hax, 2002, p. 25.

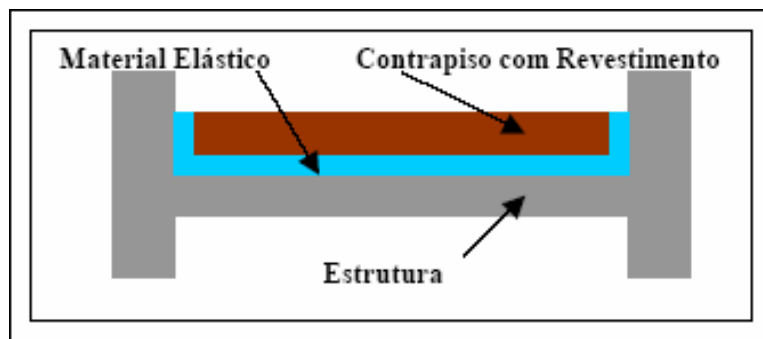


Figura 15 – Esquema de Piso flutuante

Fonte: HAX, 2002, p. 25

Akkerman (1996) relata um estudo feito sobre a utilização de pisos flutuantes para redução do nível de ruído em um sobrado residencial com vistas à utilização de materiais aplicados sob pisos acabados para redução do nível do ruído de impacto e aéreo entre ambientes contíguos. As lajes tinham a espessura de 12 cm e foi utilizada lã de vidro resinada com espessuras de 12, 13 15 e 25mm, sobre a qual foi colocado taboas de madeira numa primeira medição e depois construído contrapiso de 50mm. As medições feita pelas normas ISO 140/VI, ASTM E 989-89 e ISO 717/2, num piso de 11m² e volume da sala de 35,5 m³. Concluiu que os resultados obtidos com a laje de concreto mais argamassa superam aqueles com a mesma laje, mas com madeira

Jageñas e Kropp (1994) ao estudarem o isolamento sonoro em pisos de parquet utilizaram-se do fato de que as lajes de concreto cobertas com parquet em camadas elásticas são bastante utilizadas em construções que satisfazem as exigências relativas ao ruído de impacto, havendo, também, substancial redução no isolamento sonoro do ruído aéreo, como demonstraram medições feitas. A redução da energia sonora entre um ambiente grande e um menor não é proporcional em decorrência não só da transmissão direta com também da transmissão lateral.

As medições de campo (de acordo com a ISO 140) do isolamento sonoro de uma parede dupla mostraram um R_w de 53 dB, ao invés dos 60 dB esperados. Os resultados mostraram uma redução no desempenho entre as freqüências de 400 e 500 Hz. Este fato não poderia ser explicado pelas propriedades da parede dupla. Uma vez que os apartamentos têm revestimentos de parquet separados, a continuidade da transmissão através da fundação foi, inicialmente, assumida como a explicação.

A laje foi coberta com uma segunda camada (100 mm de lã mineral que se estendeu 22 mm pela parede) o que contribuiu para diminuir o nível sonoro na sala receptora em 9 dB. Embora a laje possa ter ser identificada como o caminho para acompanhamento e transmissão do som, havia outros caminhos contribuindo para a transmissão do ruído – a tubulação de aquecimento – o que se tornou claro após um rastreamento. A cobertura da tubulação de aquecimento resultou numa melhoria no isolamento.

O resultado das suas medições e o modelo teórico confirmam a idéia de que o declínio da taxa de redução do nível sonoro é causada pela freqüência de ressonância da "parede dupla" hipoteticamente constituída pelo revestimento de parquet e pela laje de concreto.

Para evitar a influência negativa do efeito da freqüência de ressonância há duas possibilidades:

- Em primeiro lugar pode - se deslocar a frequência de ressonância para uma faixa abaixo da frequência que interesse. Para mover a ressonância abaixo dos 100 Hz é necessário pelo menos uma distância de 80 mm entre a laje e o parquet que tem 10 mm de espessura. Esta distância pode ser reduzida através do aumento da massa do parquet.
- Em segundo lugar: uma camada intermediária poderia ser usada para que ofereça um alto amortecimento tanto para a camada de ar quanto para a camada em si. Desta forma o efeito negativo da frequência de ressonância pode ser diminuído. É possível evitar bolhas de ar entre a laje e o parquet usando-se material com alto índice de amortecimento.

Brondani (1999) em sua pesquisa sobre Pisos Flutuantes - Análise da performance Acústica para Ruídos de Impacto, realizou ensaios, inicialmente, no Laboratório de Acústica e Luminotécnica de La Plata (República Argentina), através de intercâmbio tecnológico testando espuma de polietileno de 5mm (Ethafon) e Bidin OP-60. Entretanto o desenvolvimento do seu trabalho foi feito “in situ” numa obra em execução, situada à Rua Silva Jardim nº 1912, no centro de Santa Maria – RS de propriedade da empresa Inca Construções Ltda. Os materiais resilientes analisados foram:

- Espuma de polietileno extrudada com nome comercial de Ethafon
- Painéis de lã de vidro com 25mm de espessura
- Lençol Mercur de borracha natural
- Bidin OP 60
- EVA
- Poliestireno expandido – Styropor

Os revestimentos escolhidos foram o piso cerâmico e assoalho de madeira com encaixe macho-fêmea.

O melhor desempenho, em termos globais, foi apresentado pelos painéis de lã de vidro com o L'_{nw} de 57 dB(A).

Hax (2002) no seu estudo do Potencial dos Resíduos de E.V.A. no Isolamento de Ruído de Impacto nas Edificações, apoiou-se no trabalho de Brondani, S. que sugeriu o aproveitamento do EVA na execução de pisos flutuantes, pelo seu aspecto ecológico. Com o EVA moído e utilizando areia em algumas misturas e aglomerantes variados – cimento, cola fenólica ou cola branca – montou um total de trinta e quatro amostras com traços e granulometrias diferentes com espessuras de 15mm e 25mm. Os resultados foram divididos em grupos onde foi destacada a amostra com melhor desempenho.

O material testado mostrou melhor desempenho quando aglomerado com resina fenólica (cola de sapateiro) com espessura de 25mm.

O método dos pisos flutuantes tem o desempenho na dependência do material resiliente utilizado e que representa o grande diferencial, pois atua como amortecedor para as vibrações. Em todas as composições sobressai-se o sistema composto com lã de vidro. Por último o desempenho de isolamento dos pisos flutuantes utilizando resíduos de EVA reciclados como material resiliente que se apresenta como uma proposta ecologicamente correta. A composição com melhor desempenho foi a placa de EVA com 25 mm aglomerado com cola de sapateiro ou cola branca.

2.3 Fatores que influenciam o isolamento com pisos flutuantes

2.3.1 Natureza e espessura da camada elástica

Como já foi dito anteriormente, a camada isolante que compõe o piso flutuante intervém no desempenho acústico do sistema em consequência da sua elasticidade ou resiliência. Por outro lado o aumento dessa camada também tem uma influência significativa neste desempenho em consequência da diminuição da frequência de ressonância do conjunto. Segundo Brondani (1999, p.21), estudos anteriores desenvolvidos no CSTB, com a utilização de diversos tipos de laje suporte, com lã de rocha como recheio, foi constatado que há uma média de ganho de 4 dB(A) para cada duplicação da espessura do material resiliente num intervalo de variação entre 5mm e 40mm. Evidentemente que se busca na determinação das características da execução do piso flutuante um equilíbrio entre o desempenho acústico e a relação custo/benefício (Figura 16).

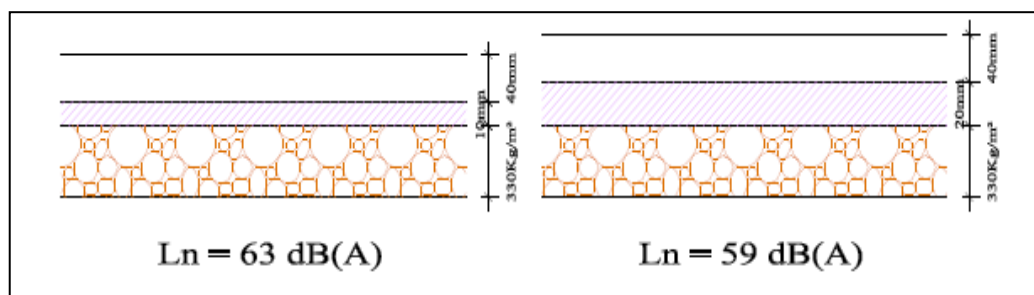


Figura 16 – Natureza e espessura da camada resiliente

Fonte: BRONDANI, 1999, pág. 21 – Desenho Rotta, R., 2007

2.3.2 Carga da laje

O carregamento acidental acrescido em certas partes da laje flutuantes (Figura 17) poderá produzir um efeito favorável, com limites, em consequência da redução da frequência de ressonância do sistema.

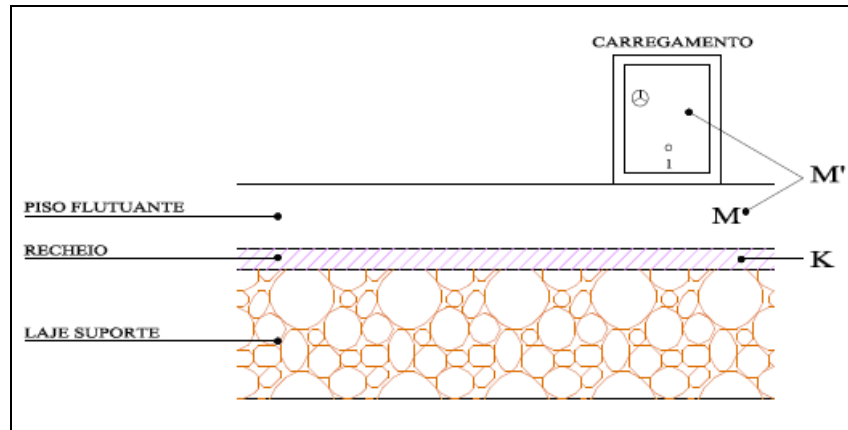


Figura 17 – Carga da laje

Fonte: BRONDANI, 1999 – Desenho Rotta, R., 2007

$$f^{\circ} = 1/2\pi (k / m+m')^{1/2} \quad (9)$$

$m+m'$ = massa por m^2 de superfície do piso – m – mais a massa da carga acidental – m' .

k = fator de rigidez do material resiliente.

2.3.3 Espessura da laje suporte

Segundo Brondani, S. (1999, p. 23) ensaios realizados em laboratório já demonstraram que uma laje com 16cm de espessura, ao ter esta espessura aumentada de 1cm (Figura 18) terá uma melhoria de 1 dB(A) no desempenho global de isolamento ao ruído de impacto.

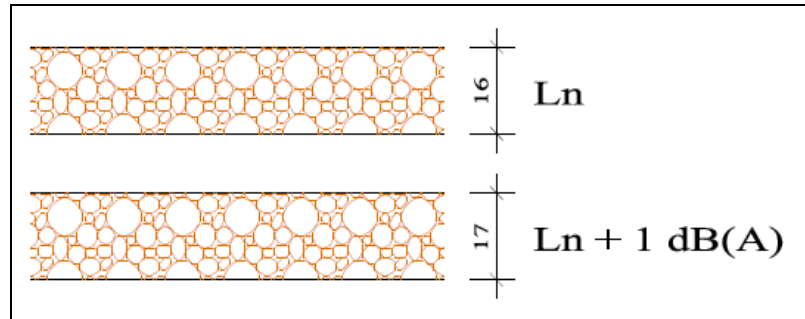


Figura 18 – Espessura da laje suporte

Fonte: BRONDANI, 1999 – Desenho Rotta, R., 2007

2.4 Critérios técnicos para execução do sistema de piso flutuante

O essencial na execução de um sistema de um piso flutuante é garantir o máximo de estanqueidade possível e evitar que se formem pontes acústicas entre o piso flutuante e a laje suporte e também entre o piso e as paredes.

A Figura 19 ilustra a existência de ligação rígida, entre o acabamento do piso flutuante e a laje suporte. Nesta situação as ondas de vibração atravessam o piso flutuante, prejudicando o isolamento de todo o sistema.

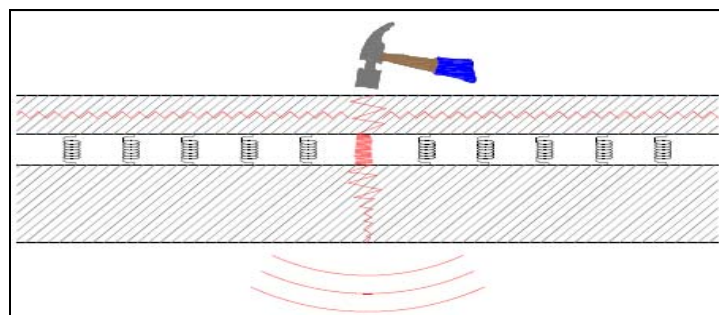


Figura 19 – Ligação rígida do piso flutuante

Fonte: Meisser, 1973, apud HAX, 2002 – Desenho Rotta, R., 2007

Para que haja uma boa execução do piso flutuante é importante que:

- A laje suporte tenha sua face superior perfeitamente alisada.

- O cuidado maior que deve ser tomado refere-se às bordas da argamassa de regularização ou contrapiso e as bordas do revestimento final. Estas não podem em hipótese nenhuma entrar em contato com as paredes, divisórias ou quaisquer equipamentos que possam transmitir vibrações. O material resiliente como num sistema de vedação hidráulica deve ter sua borda alguns centímetros acima do nível do piso. Os rodapés devem ser cuidadosamente colocados sobre uma junta elástica ou ser interposto com mastique.

Quando houver a possibilidade de utilização de rodapés, para fazer o acabamento do piso, a solução demonstrada na Figura 20 é a mais correta.

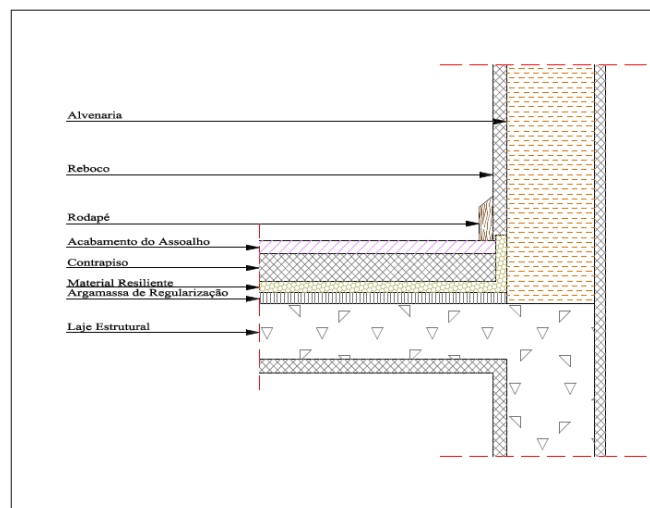


Figura 20 – Piso flutuante

Fonte: GERGES, 1992, p. 214 - Desenho Rotta, R., 2007

- Em cômodos contíguos o sistema de piso flutuante não deve cobrir inteiramente a laje suporte. Deve haver interrupção do piso flutuante no limite da parede, atendendo as mesmas prescrições do item anterior.
- Da mesma forma nas passagens com ou sem porta, faz-se a interrupção do piso flutuante, deixando-se uma junta elástica, devidamente protegida, no espaço entre pisos contíguos. A Figura 21 apresenta situações para execução de piso flutuante.

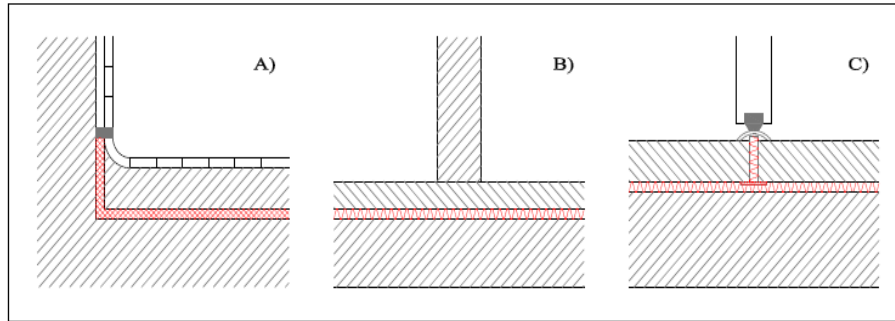


Figura 21 – Exemplos de pisos flutuantes

Fontes: A) Meisser (1973) ; B) e C) Pujolle (1978), apud HAX, 2002 – Desenho Rotta, R., 2007

A situação A apresenta o emprego de mastique para isolar o acabamento do piso e da parede, situação que é comum em ambientes com revestimento cerâmico.

Na situação B é mantido o vínculo entre a parede e o revestimento, havendo propagação do ruído de impacto dos recintos adjacentes.

Na situação C, ilustra-se o piso flutuante que é interrompido à passagem de portas. Sendo assim, preenche-se os espaços entre os pisos com uma junta elástica que deve ser protegida com outra junta de acabamento.

- As eventuais emendas do material resiliente deverão ser feitas sem que sejam deixados espaços entre uma porção e a outra.

A Figura 22 mostra como devem ser feitas emendas, para evitar a ligação rígida entre o piso flutuante e a laje. O material resiliente deve ser aplicado sem espaçamento, visando a homogeneidade e continuidade.

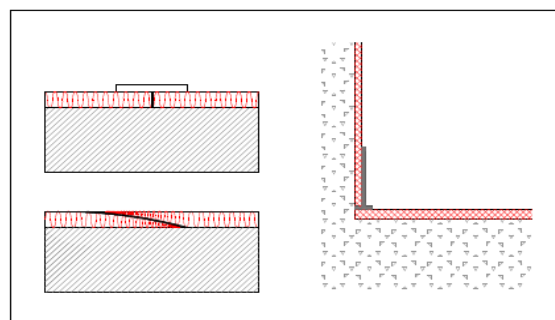


Figura 22 – Emendas no material elástico

Fontes: Pujolle (1992); Meisser (1973), apud HAX, 2002 – Desenho Rotta, R., 2007

- A colocação de canalizações na laje suporte deve ser feita sem que haja interrupções ou possibilidade de futuras quebras no material resiliente. Para isso é preciso que as canalizações sejam inseridas na própria laje ou tenham a suas saliências regularizadas com argamassa antes da colocação do material resiliente.
- As canalizações que cruzam o piso flutuante devem ser recobertas com material elástico. As proteções dessas canalizações também devem ser recobertas.

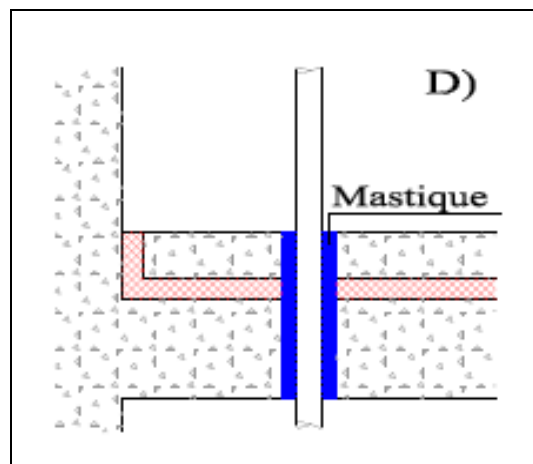


Figura 23 - Canalizações verticais

Fontes: D) Meisser (1973), apud HAX, 2002 – Desenho Rotta, R., 2007

- A colocação de canalizações na laje suporte deve ser feita sem que haja interrupções ou possibilidade de futuras quebras no material resiliente. Para isso é preciso que as canalizações sejam inseridas na própria laje ou tenham a suas saliências regularizadas com argamassa antes da colocação do material resiliente.

Na Figura 24, a situação F mostra que a canalização está seccionando o material resiliente, formando a ponte acústica. A situação G é a maneira correta de execução.

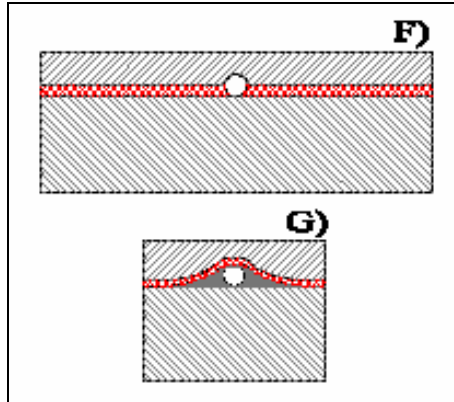


Figura 24 – Execução do piso flutuante com canalizações

Fonte: PUJOLLE (1978, p. 292) – Desenho Rotta, R., 2007

2.5 Desempenho acústico de edifícios – Projeto de Norma Brasileira

Atendendo as exigências da indústria da construção civil e as conseqüentes atividades comerciais os Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e os Organismos de Normalização Setorial (NOS) determinaram à CE-02.135.01 – Comissão de Estudos de Desempenho de Edificações – do ABNT/CB-02 – Comitê Brasileiro da Construção Civil que elaborasse um projeto de norma para o estabelecimento de parâmetros de medição de desempenhos de edifícios habitacionais até cinco pavimentos. Este projeto de número 02:136.01.001/3 – em fase de consulta pública, modificado na reunião de 15/06/2007 – na sua Parte 3 trata de desempenho de Pisos Internos e no item 12 estabelece critérios para o desempenho acústico.

O sub-item 12.2 estabelece como requisito de normalização o ruído de impacto em piso e determina que o critério de desempenho baseia-se em medições de campo, através de dois métodos:

- método de engenharia realizado conforme a norma ISO 140-7.
- método simplificado realizado conforme a norma ISO/DIS 10052.

A nomenclatura para as medições ainda não têm versão em português. As traduções adotadas nesta norma são as mesmas usadas nas normas ISO:

- L'_{nT} : Standardized Impact Sound Pressure Level : Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado.
- $L'_{nT,w}$: Weighted Standardized Impact Sound Pressure Level : Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado.

O desdobramento do sub-item 12.2.1 estabelece o critério e níveis de desempenho exigidos para o Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado especificando-os em uma tabela e definindo que o $L'_{nT,w}$ é o número único de isolamento de ruído de impacto em edificações, derivado dos valores em bandas de oitava do Nível de Pressão de Impacto Padronizado, L'_{nT} , de acordo com o procedimento especificado na Norma ISO 717-2 Acoustic – Rating of Sound Insulation in Buildings and of Buildings Elements – Part 2 : Impact Sound Insulation (ISO, 1996).

Tabela 1 – Critério de NPS de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo

Elemento	$L'_{nT,w}$ [dB]
Laje ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, sem tratamento acústico	< 80

Fonte: ABNT-CE, 2007

O valor mínimo exigido corresponde a valores representativos de ensaios realizados em edifícios habitacionais brasileiros, em lajes maciças de concreto armado, sem acabamento superficial, com espessura entre 10 e 12 cm. Considera-se que o valor, apesar de não ser o ideal, representa a prática construtiva adequada à realidade atual do país. Na prática, espera-se que os valores de $L'_{nT,w}$ [dB] sejam menores pela colocação de acabamentos como carpetes, tacos ou assoalhos de madeira, etc.

Apesar de existir um projeto de norma brasileira para avaliação de desempenho de pisos de unidades habitacionais, considerando a possibilidade de haver modificações até a sua aprovação, o presente trabalho foi elaborado de acordo com a as prescrições estabelecidas pelas ISO 140/VI e VIII e pelas ISO 717-2, conforme está definido no Capítulo IV – Metodologia.

Alguns estudos foram desenvolvidos e publicados relacionando a questão normativa e os resultados alcançados com a metodologia preconizada pelas normas vigentes:

Warnok (1994) publicou um trabalho relacionando a questão normativa e os resultados alcançados com a metodologia preconizada pelas normas vigentes, estudou o efeito das dimensões do piso no nível do ruído de impacto manifestando reservas quanto à fidelidade dos níveis de pressão sonora do ruído de impacto em construções onde são utilizadas estruturas de madeira e outros elementos construtivos leves, uma vez que as normas não exigem medições abaixo do limite de 100 Hz. Além disso ressaltou o resultado de pesquisas utilizando novas maneira de provocar o ruído de impacto que não a máquina normalizada, como por exemplo passos humanos. Cita Blazier e Meckel que realizaram experiências dessa mesma forma. O primeiro realizou um estudo

comparativo entre os níveis de pressão sonora de passos humanos e o de uma máquina normalizada, concluindo que as dimensões do piso são parâmetros importantes a considerar. Notou ainda que os passos humanos produziram um máximo de energia sonora em torno de 20 Hz num piso de madeira de (3,0x4,0)m² com as vigas tendo 4,0m de comprimento. O segundo encontrou resultados semelhantes para um piso de madeira com as mesmas dimensões. Já para ensaios com a máquina normalizada com pisos cujo vigamento tinha 2,4m de comprimento a energia sonora máxima ficou em torno de 50 Hz.

Em suas conclusões afirma que quando são feitas medições dos níveis de ruído de impacto considerando frequências mais baixas do que as consideradas nos métodos padronizados nas ISO e ASTM, os métodos de produção de ruído de impacto e as dimensões do piso são parâmetros importantes. Se as normas novas não definirem o comprimento dos vigamentos e das dimensões retangulares a fidelidade dos métodos de ensaios não será suficientemente boa, para as avaliações do ruído de impacto em pisos de estrutura de madeira.

Gerretzen (1994) em avaliação alternativa do isolamento do ruído de impacto, um trabalho conjunto com Fasold e Odynek, descreve os estudos que relacionaram os resultados das medições dos níveis médios de ruído de impacto produzidos pela máquina normalizada com algum tipo de ruído subjetivo. Foi utilizado o nível sonoro produzido pelo andar humano e avaliada a curva de desempenho determinada pela média ponderada dos níveis sonoros. Os pisos testados foram lajes de concreto com e sem piso flutuante de madeira e pisos de estrutura totalmente em madeira. A excitação sonora foi provocada por passos de homens e de mulheres medidos separadamente. Alguns indicativos nas medições mostram que:

- os pisos de estrutura de madeira têm desempenho semelhante ao do sistema de piso flutuante com a utilização de madeira;
- nos pisos de concreto há pouca diferença, no nível de ruído de impacto para as frequências mais elevadas, quando o ruído é provocado por passos de homens e de mulheres.
- quando for outro tipo de ruído de impacto que não ruído de passos, há pouca diferença no desempenho dos diferentes tipos de pisos para as frequências baixas, o que não é o caso das altas frequências;
- os espectros dos níveis sonoros típicos do ruído de impacto para os diferentes tipos de pisos só têm relevância nos pisos de concreto.

Fasold e Odynek (1994) em conjunto com Gerretsen concluíram que uma curva plana representa melhor o ruído de passos do que a curva de referência das ISO, tanto para lajes de concreto sem revestimento quanto para pisos de madeira. Gerretsen, com os dados das medições, e levando em conta o andar feminino, deduz uma curva de referência quase plana nas frequências mais elevadas. Esta curva foi incorporada à norma holandesa NEN 1070.

Gerretsen (1994) cita Bodlund que estabeleceu a relação entre os resultados dos incômodos dos níveis sonoros do ruído de impacto colhidos em campo para estabelecer a melhor curva de referência. Os resultados mostraram que a avaliação ISO representa 53% do incômodo, enquanto a avaliação holandesa dá 70%. A curva otimizada de referência em seu estudo, uma curva ascendente, dá até 76% e uma curva plana 72%. Cita também Carman et. al. que utilizaram a queda de sacos de areia para representar artificialmente o ruído de impacto de passos reais ao comparar várias propostas existentes e os sistemas de avaliação. Concluiu que, embora as correlações sejam pobres em geral, a avaliação de acordo com a norma holandesa é o melhor das normas existentes, mas a proposta apresentada por Bodlund seria uma melhoria. Este estudo explicou que a diferença na variação entre as avaliações é pequena para pisos com cobertura, enquanto que para lajes sem cobertura a classificação ISO é muito pior (1-5%) em relação às outras (40-80%).

A constatação comum de todos esses estudos é que a atual avaliação ISO não é muito precisa, principalmente em consequência de dar demasiada ênfase às frequências mais elevadas. Concretamente, há neste particular, uma avaliação errada dos resultados obtidos. As propostas de melhoria diferem pelo estabelecimento de um plano de referência e por meio de uma curva com um ligeiro aumento da curvatura. Para lajes com coberturas e camadas resilientes, como pavimentos flutuantes, apenas a faixa mais baixa de frequências é relevante e, por isso, todas as classificações em vigor e as curvas propostas executam as avaliações globalmente iguais (sem ponderação forte na faixa mais baixa de frequência). No entanto, para lajes nuas, todos os pisos duros originaram curvas de desempenho, com menos ênfase na alta frequência que representam muito melhor do que a curva de referência das ISO. A curva ótima tem forma diferente entre os estudos, o que, sem dúvida, é em grande parte devido à amostra de pisos considerado em cada um deles.

Ao concluir o estudo Gerretsen (1994) considera que a ponderação linear do nível de pressão sonora do ruído de impacto produzido pela máquina normalizada, tal como proposto como alternativa na DIS 717 / 2, que comparou ruídos de passos como representante do verdadeiro ruído de impacto doméstico, fornece uma avaliação que é mais adequada para todos os diferentes tipos de

pisos feita pela atual avaliação da ISO 717/2. Especialmente a discrepância entre a avaliação da laje sem revestimento e outros tipos de pisos é eliminada. A avaliação pode ainda ser melhorada um pouco, limitando a frequência em 1250 Hz. Alargando o leque de frequência para as frequências inferiores não há uma melhoria da avaliação.

A avaliação alternativa implica que a melhoria conseguida por revestimentos para o chão e pavimentos flutuantes apresenta valores muito menores do que antes. Isto está mais de acordo com o efeito que os revestimentos e pisos flutuantes têm sobre o ruído de impacto. A reprodutibilidade dentro deste limite do campo de frequência nas medições do som de impacto é bastante aceitável.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos normativos

Os ensaios em laboratório foram realizados de acordo com as prescrições das ISO 140 – (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – Acoustic – measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements - Parte VI: Laboratory measurements of impact sound insulation of floor, 1978) que define a seqüência do cálculo do nível de pressão sonora do ruído de impacto com a respectiva correção. No presente trabalho esta correção foi feita em função da área de absorção, que determina o nível de pressão sonora do ruído de impacto normalizado.

Seqüência dos procedimentos:

- **Controle da umidade relativa do ar no interior da câmara de recepção;**
- **Aferição do sistema de medição - calibragem**
- **Medição do ruído de fundo e do tempo de reverberação na câmara de recepção;**
- **Medição do desempenho acústico ao ruído de impacto de cada amostra** – feita com o microfone em três posições diferentes. O analisador acústico determina os níveis de pressão ***L_i*** em terços de oitava das bandas de freqüência segundo a fórmula:

$$L_i = 10 \log [(\sum p_n^2) / (n p_o^2)] \text{ dB} \quad (10)$$

Sendo:

p_n – pressão sonora nas diferentes posições

p_o – pressão sonora de referência

n – número de posições do microfone para as medições

O analisador também calcula o nível de pressão do ruído de impacto normalizado pela fórmula:

$$L_n = L_i + 10 \log (A / A_o) \text{ dB} \quad (11)$$

Sendo:

L_n – Nível de ruído de impacto normalizado (dB)

L_i – Nível de ruído de impacto (dB)

A – Absorção acústica da sala receptora

A_o – Absorção acústica de referência, cujo valor usado foi 1m^2

- **Tratamento matemático dos resultados:** a ISO 717 – 2 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – Acoustic – rating of sound insulation in buildings elements – Part 2: Impact Sound insulation, 1996) prescreve um tratamento matemático para as medições feitas segundo as ISO 140. Para isso é utilizado como artifício a confrontação do perfil do desempenho do material analisado com o perfil linearizado do desempenho acústico ao ruído de impacto de uma laje.

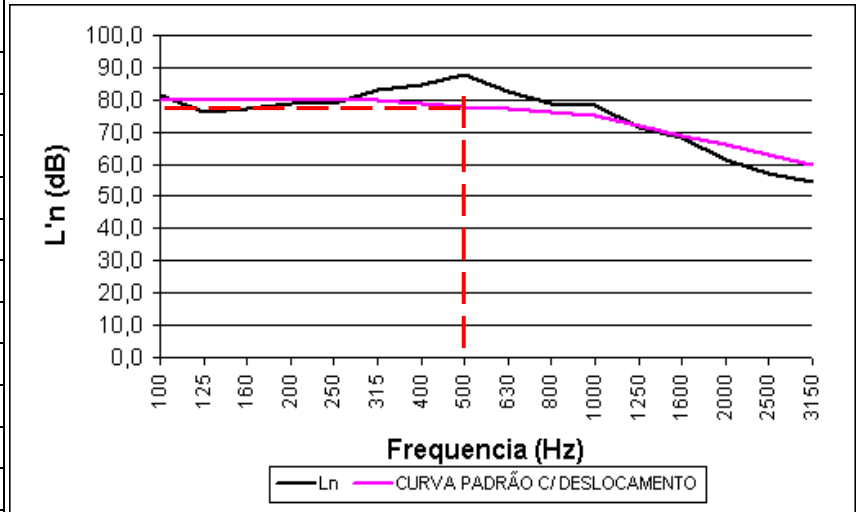
Este perfil – chamado perfil deslizante – é colocado em superposição com a curva de desempenho do sistema em análise num gráfico, cujo eixo das abscissas é formado pelas faixas de frequências em bandas de terças de oitavas e o eixo das ordenadas está graduado em decibel, de tal forma que o perfil de referência desliza para cima e para baixo de um em um dB.

O método utiliza o fundamento de que o perfil de referência desloca-se de tal forma que parte do desempenho do sistema em análise fique negativo nas seguintes condições:

- a diferença máxima negativa não deve exceder a 8 dB. A soma das diferenças negativas dos valores em 1/3 de oitavas deve ser o mais próximo possível de 32 dB sem no entanto ultrapassar este valor. O número único do desempenho acústico com referência ao ruído de impacto do sistema ensaiado será o valor do perfil de referência – perfil deslizante – medido em dB, para a frequência de 500 Hz, e caracterizará o desempenho acústico

daquele material cuja nomenclatura neste caso será $L'n,w$. O gráfico da Figura 28 mostra o procedimento prescrito pela norma.

FREQUENCIA	L_n
100	81,3
125	76,3
160	77,5
200	78,8
250	78,8
315	83,3
400	84,5
500	87,8
630	82,8
800	78,8
1000	78,2
1250	71,3
1600	68,3
2000	61,2
2500	57,2
3150	54,4
Incremento =	118
Diferença =	31,7
Obs.: Diferença Max <ou= 32	



$L'n,w$

=78

Laje de 12 cm

Figura 25 – Procedimento prescrito pela norma ISO 717 – 2

3.2 Local dos ensaios

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Termo-Acústica (LaTA) da Universidade Federal de Santa Maria cujo croqui está reproduzido na Figura 26.

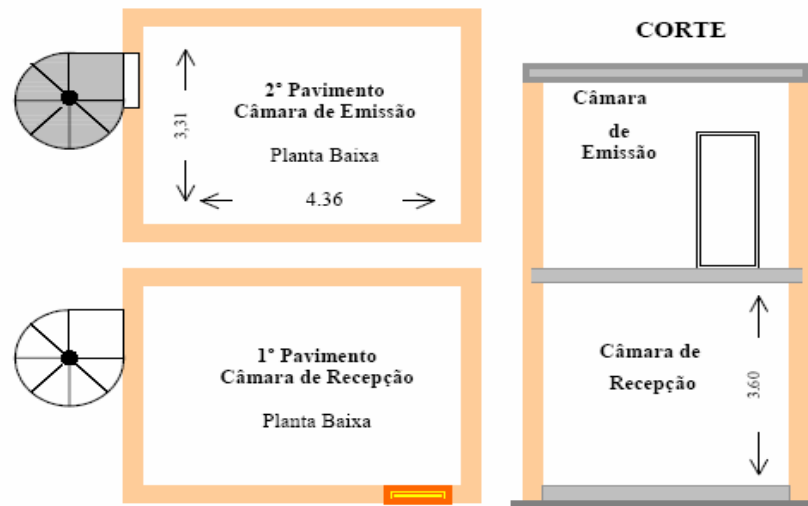


Figura 26 – Croqui das câmaras de medição do ruído de impacto do LATA

Fonte: Hax, 2002, p. 54

O Laboratório para medição do Nível de Pressão Sonora do Ruído de Impacto é um conjunto formado por duas câmaras superpostas, separadas por uma laje de concreto armado com 12cm de espessura. Suas paredes, executadas em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, têm espessura de 14 cm e não têm revestimentos.

Na câmara superior – *câmara de emissão* – é gerado o ruído por uma máquina de impacto normalizada. Na câmara inferior – *câmara de recepção* – o ruído gerado é captado como nível de pressão sonora (NPS) por um microfone instalado sobre um suporte rotativo e acoplado ao analisador acústico que registra as medições realizadas nos diferentes níveis de frequências, em bandas terças de oitavas e finalmente integra em um valor único L_n .

Cada uma das câmaras tem as dimensões de 4,36mx3,31m e o pé direito da câmara de recepção tem 3,6m. A porta da câmara de recepção é dupla, em madeira, com batentes vedados com borracha com a finalidade de isolar o som externo.

3.3 Equipamentos utilizados

Foram utilizados os seguintes equipamentos nestes ensaios:

- a) Rotating microphone boom, type 3923, marca B&K; (Figura 27)
- b) Building acoustic analyzer, type 4418, marca B&K; (Figura 28)

- c) Sound level calibrator, type 4230 - 94 dB - 1000Hz, marca B&K; (Figura 28)
- d) Sound source type 4224, marca B&K; (Figura 30)
- e) Tapping machine type 3204, marca B&K. (Figura31)



Figura 27 – Microfone rotativo



Figura 28 – Analisador acústico



Figura 29 - Calibrador



Figura 30 – Fonte sonora



Figura 31 – Máquina de impacto

3.4 Relação dos materiais a serem analisados

O desenvolvimento deste trabalho restringiu-se à medição do desempenho de isolamento acústico ao ruído de impacto de materiais existentes no mercado, alguns ainda não testados como o material resiliente na composição do piso flutuante. Outros já testados, mas com nova apresentação industrial como é o caso da lã de vidro (agora em placa com espessura de 15mm), das mantas de borracha reciclada e das mantas de polietileno.

Além disso, os sistemas de pisos flutuantes foram montados utilizando-se porcelanato e laminado melamínico de madeira como revestimentos finais.

Descrição e dados técnicos:

a) Material: lã de vidro

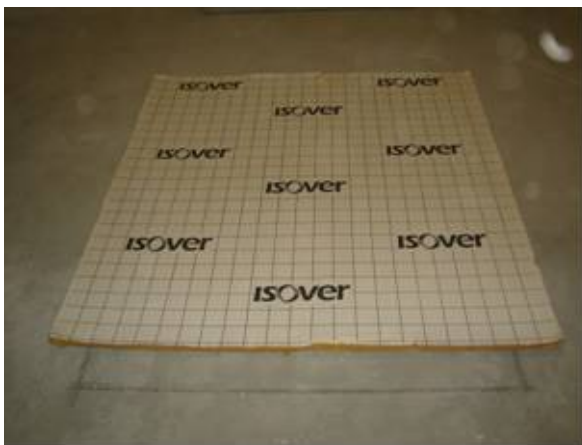
Apresentação comercial: placas de lã de vidro, revestidas de material plástico impermeável, com o nome-fantasia Optima Piso, produzido pela Isover Brasil, sucursal brasileira da Saint-Gobain Vidros S.A. (Figura 32).

Dimensões: 1,0mx1,0m

Espessura: 15,0mm

Densidade: 60 kg/m³

Cor: amarela



(A)



(B)

Figura 32 – Placa de lã de vidro: (A) Face plastificada; (B) Face não plastificada

b) Material: manta de borracha reciclada (EVA), acelerada com cola- Rubberflex

Apresentação comercial: manta de borracha em rolos de 10,0mx1,0m, com o nome comercial de Rubberflex, produzido pela Mercur S.A. (Figura 33)

Espessura: 8,0mm

Densidade: 130,0 kg/m³

Cor: cores misturadas



Figura 33 – Manta de rubberflex. Espessura 8mm

c) Material: manta de borracha reciclada, acelerada com cola- Densiflex

Apresentação comercial: manta de borracha em rolos de 10,0mx1,0m, com o nome comercial de densiflex, produzido pela Mercur S.A. (Figura 34).

Espessura: 4,0mm

Densidade: 260,0 kg/m³

Cor: cores misturadas



Figura 34 – Manta de densiflex. Espessura 4mm

d) Material: poliestireno expandido

Apresentação comercial: placas com dimensões com dimensões variáveis, com o nome comercial de Isopor produzido pela Kauf-Isopor (Figura 35).

Espessura: 25 mm

Densidade: 27,5 kg/m³

Cor: branca



Figura 35 – Placa de poliestireno expandido densidade 27,5kg/m³ - Isopor VI

e) Material: poliestireno expandido

Apresentação comercial: placas com dimensões de 0,50mx0,50m, com o nome comercial de Isofoan produzido pela Kauf-Isopor (Figura 36).

Espessura: 25mm

Densidade: 32,5 kg/m³

Cor: laranja



Figura 36 – Placa de poliestireno expandido. Densidade 32,5kg/m³. Isofoan

g) Material: Manta de espuma polietileno

Apresentação comercial: mantas laminadas com dimensões de 1,30m x 60,00m, cores variadas, com o nome comercial de Stratocell, produzido pela Sealed Air Brasil Ltda. (Figura 37).

Espessura: 5,0 mm

Densidade: 27,0 kg/m³

Cor: várias cores



Figura 37 – Manta de espuma de polietileno. Densidade 27,0 kg/m³. Stratocell.

3.4 Procedimento nas medições**a) Confecção das amostras de revestimentos de piso**

Para atender as necessidades de elaboração dos sistemas de piso flutuantes foram confeccionadas duas placas de argamassa armada de cimento/areia, traço em volume 1:2, com dimensões de 1,0mx1,0m e espessura de 4,0cm, peso de 120 kg (Figura 38).

Uma das placas foi revestida com porcelanato, assentado com argamassa colante (Figura 39). O peso do revestimento de porcelanato resultou numa sobrecarga de 27 kg, ficando a placa com um peso total de 147 kg.

A outra placa foi revestida com laminado melamínico de madeira de 7,0mm de espessura assentado sobre manta de polietileno com 2,0mm de espessura (Figura 40). O peso do revestimento de laminado de madeira e a manta de polietileno resultou numa sobrecarga de 8 kg, ficando a placa com um peso total de 128 kg.

Ambas as placas ficaram com espessura final de 5,0cm.

Para facilitar o manejo as placas de argamassa foram equipadas com quatro alças de aço de construção diâmetro 5.0mm.



Figura 38 – Placa de argamassa sem revestimento. Espessura 4cm



Figura 39 – Placa de argamassa com revestimento de porcelanato. Espessura 5cm.



Figura 40 – Revestimento de laminado melamínico de madeira, espessura 7,0mm, assentado sobre a manta de espuma de polietileno de 2,0mm de espessura

b) Montagem dos sistemas de pisos flutuantes

Para realização dos ensaios foram montados dois conjuntos de sistemas de pisos flutuantes, compostos cada um por uma das placas de argamassa com os revestimentos escolhidos e as amostras do material resiliente a ser testado. O Quadro 1 descreve os sistemas de pisos flutuantes analisados.

Conjunto	Amostra	Descrição da Composição
R	1	Laje de entre-piso sem revestimento
A	2	Laje de entre-piso + porcelanato
	3	Laje de entre-piso +lã-de-vidro+porcelanato
	4	Laje de entre-piso +ruberflex+porcelanato
	5	Laje de entre-piso +densiflex+porcelanato
	6	Laje de entre-piso +isopor VI+porcelanato
	7	Laje de entre-piso +isopor VII+porcelanato
	8	Laje de entre-piso +polietileno+porcelanato
	B	9
10		Laje de entre-piso +lã-de-vidro+laminado de madeira
11		Laje de entre-piso +ruberflex+laminado de madeira
12		Laje de entre-piso +densiflex+laminado de madeira
13		Laje de entre-piso +isopor VI+laminado de madeira
14		Laje de entre-piso +isopor VII+laminado de madeira
15		Laje de entre-piso +polietileno+laminado de madeira

Quadro 1 – Descrição dos Sistemas de Pisos Flutuantes Analisados

O primeiro conjunto foi constituído pelas amostras numeradas de 2 até 8 e o segundo conjunto pelas amostras numeradas de 9 até 15.

A amostra nº 1 é a própria laje estrutural de entre-piso das câmaras de emissão e recepção do ruído de impacto com área de (4,16x3,31)m² e espessura de 12cm, sem revestimento, e tem a

finalidade de servir como referência para determinar o desempenho de isolamento de cada um dos sistemas montados.

c) Posicionamento do material

Os sistemas a serem ensaiados foram colocados sobre a laje de entre piso no centro da sala de transmissão de ruído na seguinte ordem:

- material resiliente
- placa de argamassa com o respectivo revestimento (porcelanato ou laminado de madeira)
- máquina de produção de ruído

A Figura 41 mostra o sistema representado pela amostra nº 3.



Figura 41 – Sistema representado pela amostra nº 3

Na câmara de recepção do ruído de impacto foram colocados:

- a caixa acústica para produção do ruído rosa que terá a finalidade de medir o tempo de reverberação
- o microfone montado sobre o boom rotativo

A Figura 42 mostra a colocação dos equipamentos na câmara de recepção.



Figura 42 – Colocação dos equipamentos na câmara de recepção

d) Aferição do sistema de medição

O sistema de medição é aferido antes e depois de cada ensaio em 94,0 dB na frequência de 1000 Hz para garantia do controle de qualidade do processo. Essa aferição tem uma tolerância de 2,0% para mais ou para menos.

e) Medição do desempenho acústico de cada amostra

Foram feitas, inicialmente, as medidas do ruído de fundo – cujos valores, de acordo com as normas, não requeriam correção das medidas realizadas – e do tempo de reverberação da câmara de recepção, com o cuidado de controlar a umidade relativa do ar no seu interior.

A reverberação é consequência da quantidade de energia sonora armazenada no interior de um recinto. Quando a fonte sonora se interrompe a energia sonora diminui gradualmente, produzindo o fenômeno da reverberação. A velocidade de queda depende da absorção acústica do recinto e a relação pela qual ela decai chama-se tempo de reverberação. A reverberação é quantificada medindo-se o tempo de reverberação, que se define como o tempo que deve transcorrer para que um nível de pressão sonora estabelecido dentro de um recinto tenha um decréscimo de 60 dB.

As medidas dos níveis de pressão L_i foram feitas em bandas de terços de oitava com o microfone em três posições diferentes e calculado pela fórmula:

$L_i = 10 \log (\sum p_n^2) / n p_0^2$ dB sendo p_n a pressão sonora nas diferentes posições e p_0 a pressão sonora de referência.

Sendo:

$$n = 3$$

f) Análise dos resultados segundo a ISO 140-VI.

O nível de pressão do ruído de impacto normalizado foi calculado em cada banda de frequência pela fórmula:

$$L_n = L_i + 10 \log (A/A_0) \text{ dB sendo } A_0 = 1,0 \text{ m}^2 \quad (12)$$

g) Tratamento matemático dos resultados segundo a ISO 717-2

Conforme esta descrito no item 3.1

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISE DOS ENSAIOS E DESEMPENHO FÍSICO-FINANCEIRO - RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Visualização dos resultados dos ensaios

O presente estudo comparativo entre o desempenho acústico de materiais resilientes realizado a partir de ensaios no laboratório do LaTA (UFSM), tem como referência inicial o desempenho acústico da laje estrutural sem revestimento e logo depois o desempenho acústico da laje com os revestimentos escolhidos.

As análises individuais dos desempenhos dos materiais resilientes serão feitas com a representação gráfica da curva de desempenho da laje apenas com os revestimentos utilizados e as curvas de desempenhos dos sistemas montados com cada um dos materiais resilientes.

Para facilidade da visualização e análise dos resultados os ensaios foram separados em duas parciais que são caracterizadas pelo revestimento final do piso.

Parcial A – Revestimento final do piso – Porcelanato

Parcial B – Revestimento final do piso – Laminado de madeira

4.2 Representação gráfica do desempenho da amostra de referência

4.2.1 Amostra 1 – Laje de entre-piso sem revestimento (amostra de referência)

Análise do desempenho: O gráfico da Figura 43, representativo do desempenho acústico da amostra 1 está sendo apresentado com o perfil deslizante para destacar a utilização do procedimento de cálculo recomendado pela ISO 717-2. Assim, obteve-se um $L'_{n,w}$ com o valor de 78 dB para uma laje de 12,0cm de espessura em concreto armado nas duas direções.

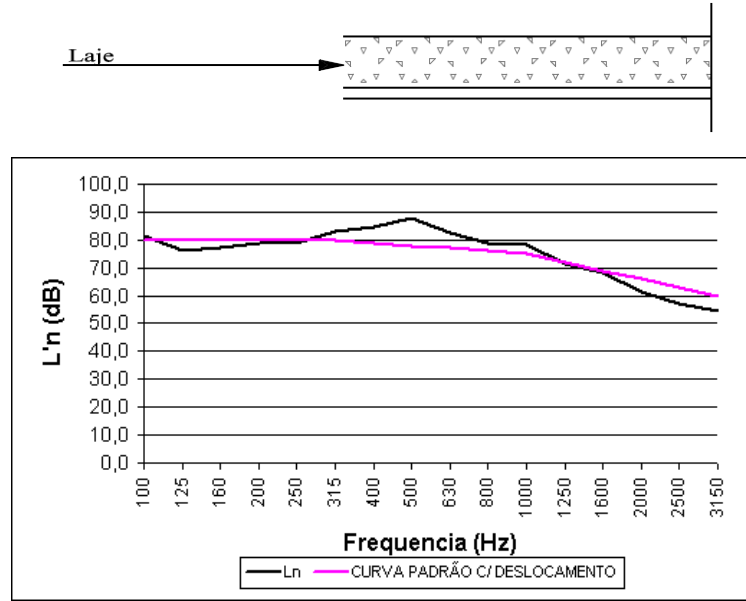
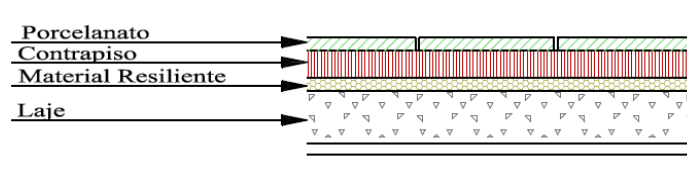


Figura 43 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de 12cm: $L'n,w = 78$ dB

4.3 Visualização dos desempenhos acústicos das amostras da parcial A.

4.3.1 Quadro 2 – Parcial A: Revestimento Final: Porcelanato



Amostra	Composição	$L'n,w$
1	Laje de entre-piso sem revestimento (referência)	78 dB
2	Laje de entre-piso+ porcelanato	73 dB
3	Laje de entre-piso+lã-de-vidro+porcelanato	50 dB
4	Laje de entre-piso+ruberflex+porcelanato	62 dB
5	Laje de entre-piso+densiflex+porcelanato	65 dB
6	Laje de entre-piso+isopor VI+porcelanato	62 dB
7	Laje de entre-piso+isopor VII+porcelanato	64 dB
8	Laje de entre-piso+polietileno+porcelanato	65 dB

Quadro 2 – Parcial A: Revestimento Final: Porcelanato

4.3.2 Representação gráfica dos desempenhos das amostras da parcial A

4.3.2.1 Amostra 2 – Laje de entre-piso+porcelanato

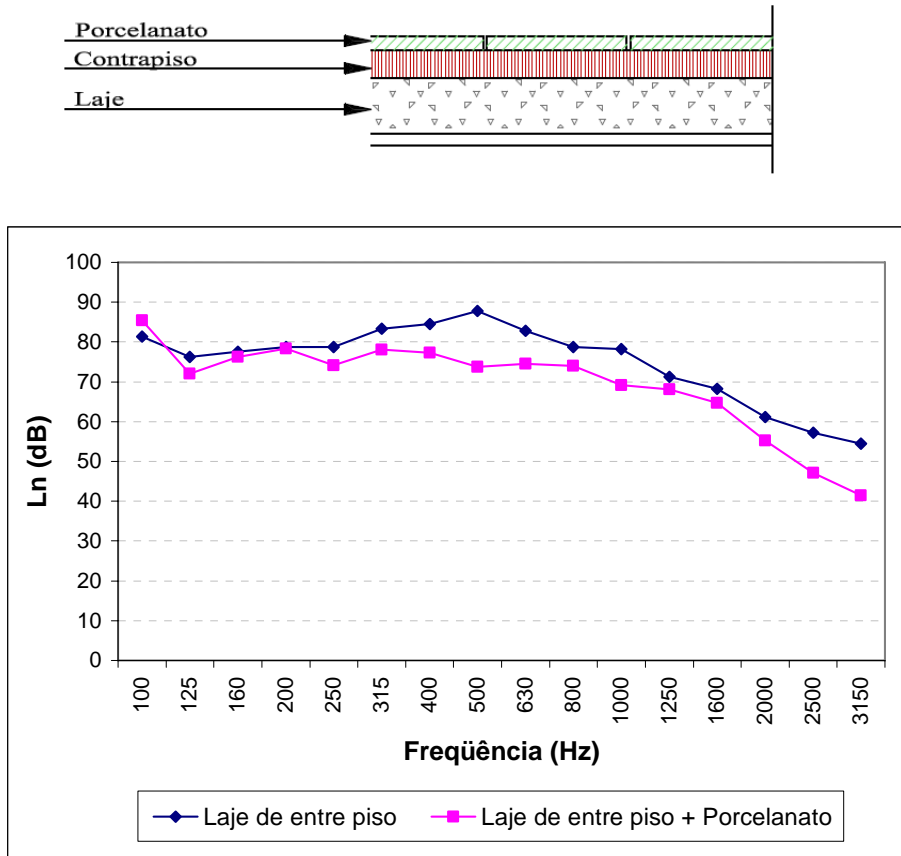


Figura 44 – Gráfico do Nível de ruído de impacto Laje de entre-piso+porcelanato: $L'n,w = 73$ dB

Análise do desempenho: A colocação do revestimento cerâmico assentado sobre uma placa de argamassa do contra-piso de 4,0cm apresenta uma melhoria do desempenho a partir de 200 Hz atingindo um $L'n,w$ com o valor de 73 dB. Esta melhoria de 5 dB em relação a laje sem revestimento deve-se ao aumento de 5cm na espessura da laje o que proporciona uma maior rigidez ao sistema e está em consonância com bibliografia pesquisada.

4.3.2.2 Amostra 3 – Laje de entre-piso+lã-de-vidro+porcelanato

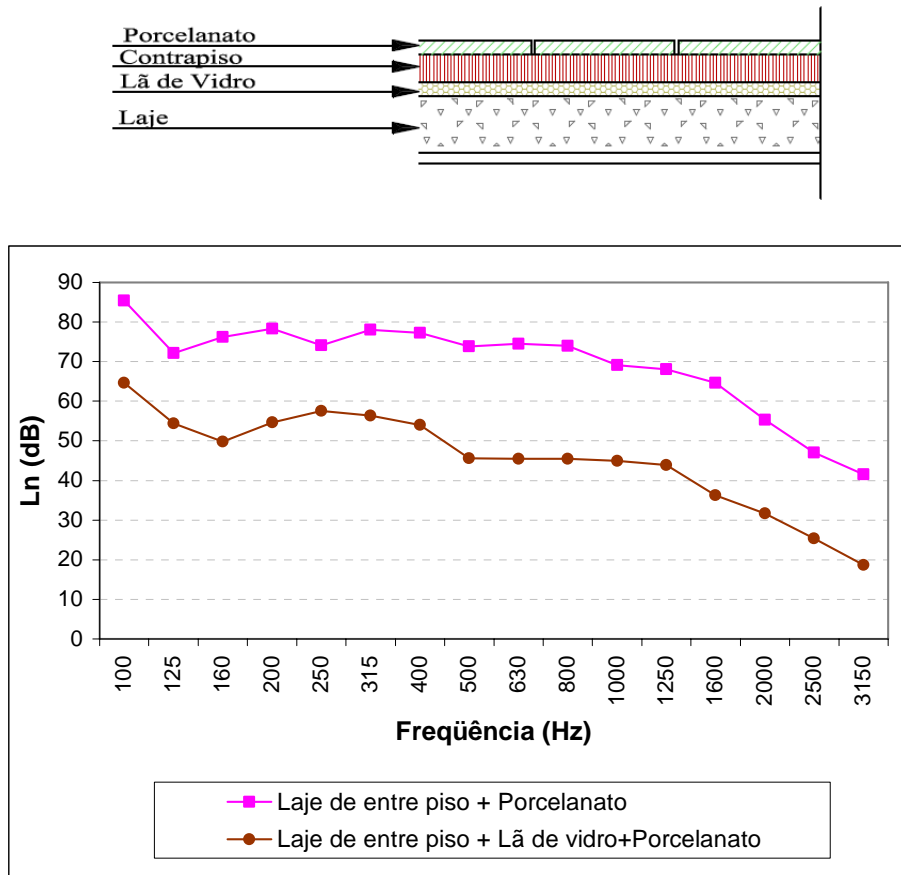


Figura 45 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+lã-de-vidro+porcelanato:
 $L'_{n,w} = 50$ dB

Análise do desempenho: É facilmente constatado pela representação gráfica o ganho expressivo no desempenho de isolamento ao ruído de impacto proporcionado pelo material, em todas as frequências, considerando-se o desempenho da laje com revestimento de porcelanato executado com a tecnologia tradicional.. Além de se constatar melhor isolamento em todas as frequências o índice global de isolamento ao ruído de impacto $L'_{n,w}$ tem, em consequência, o valor de 50 dB o que resulta num $\Delta L'_{n,w}$ igual a 23 dB.

4.3.2.3 Amostra 04 – Laje de entre-piso+rubberflex+porcelanato

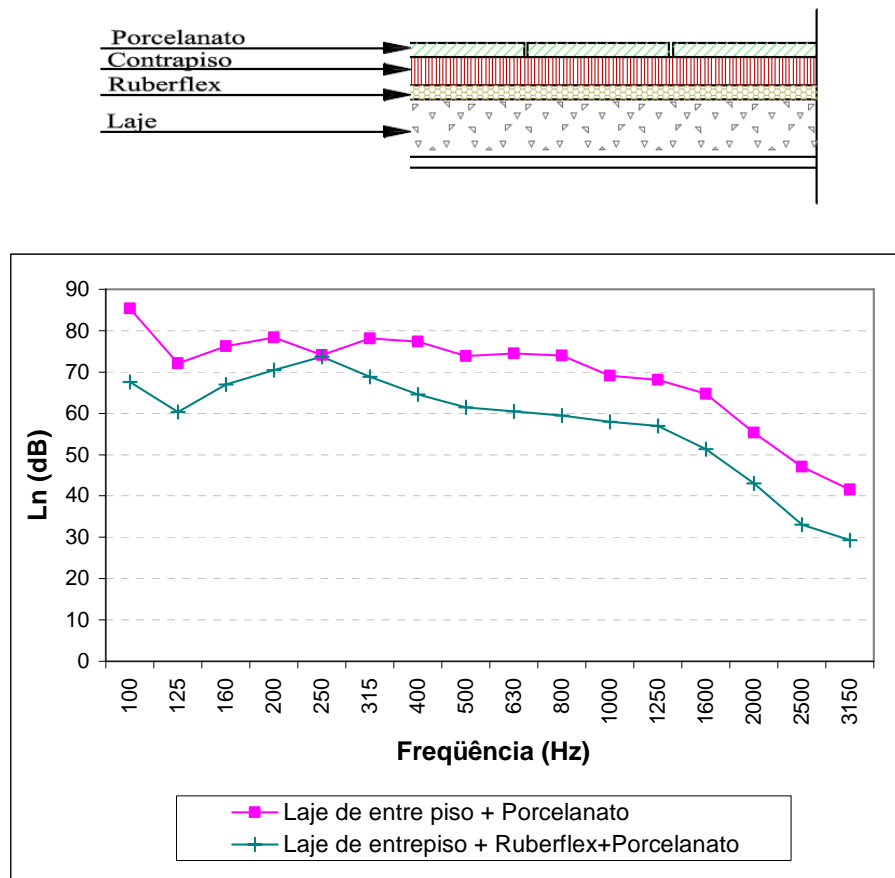


Figura 46 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+rubberflex+porcelanato:
 $L'_{n,w}$: 62 dB

Análise do desempenho: No sistema montado com rubberflex, manta de borracha reciclada, com espessura de 8mm e densidade de 130,0 kg/m³, percebe-se que há uma diminuição no desempenho no isolamento na frequência de, onde é numericamente igual ao do sistema tradicional, não trazendo, nesta frequência, nenhum aporte. Para todas as demais frequências há uma melhoria no isolamento ao ruído de impacto como demonstra o gráfico resultando no índice global $L'_{n,w}$ uma redução de $\Delta L'_{n,w} = 11$ dB.

4.3.2.4 Amostra 05 – Laje de entre-piso+densiflex+porcelanato

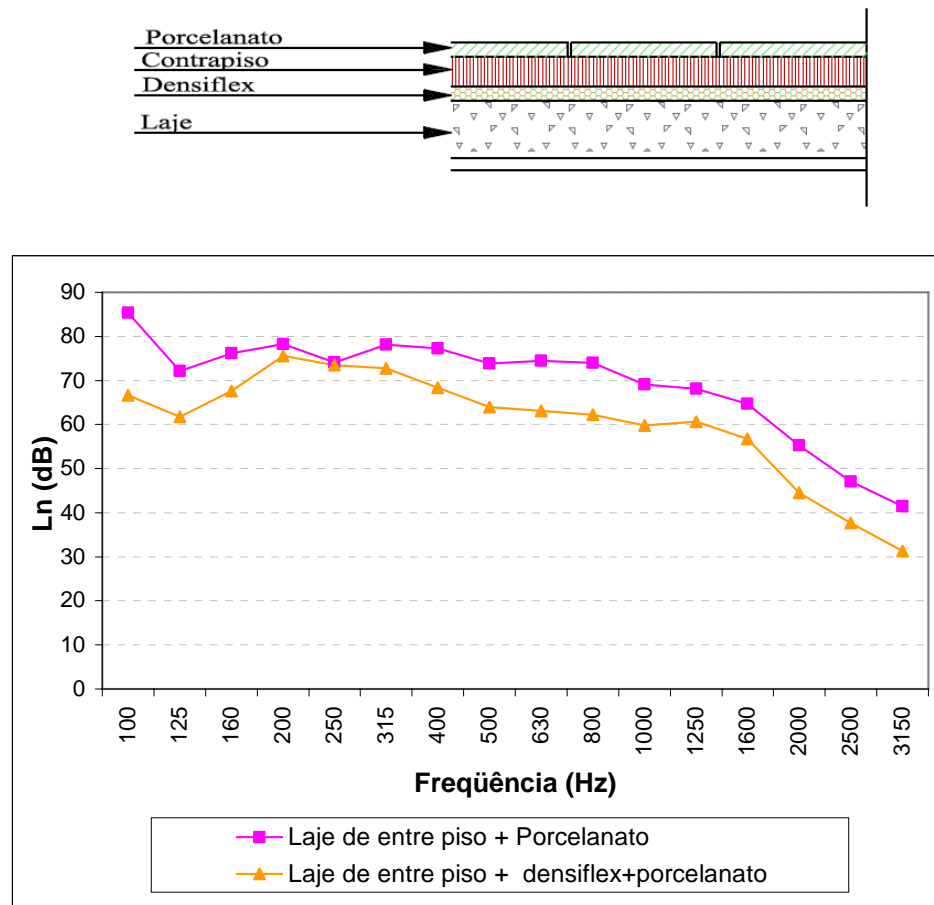


Figura 47 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+densiflex+porcelanato:
 $L'_{n,w} = 65$ dB

Análise do desempenho: Percebe-se perfeitamente que neste sistema montado com material da mesma natureza do rubberflex – neste caso utilizando-se o densiflex, também manta de borracha reciclada, mas com densidade maior – $260,0 \text{ kg/m}^3$, portanto o dobro da do rubberflex – a pois tem espessura de $4,0\text{mm}$, há uma queda de desempenho na frequência de 200 Hz . Há uma melhoria de desempenho no isolamento ao ruído de impacto em todas as demais frequências, apresentado um $L'_{n,w} = 65 \text{ dB}$ e uma melhoria em relação ao sistema tradicional $\Delta L'_{n,w} = 8 \text{ dB}$. Este desempenho é inferior ao desempenho do rubberflex em consequência da menor elasticidade do densiflex.

4.3.2.5 Amostra 06 – Laje de entre-piso+isopor VI+porcelanato

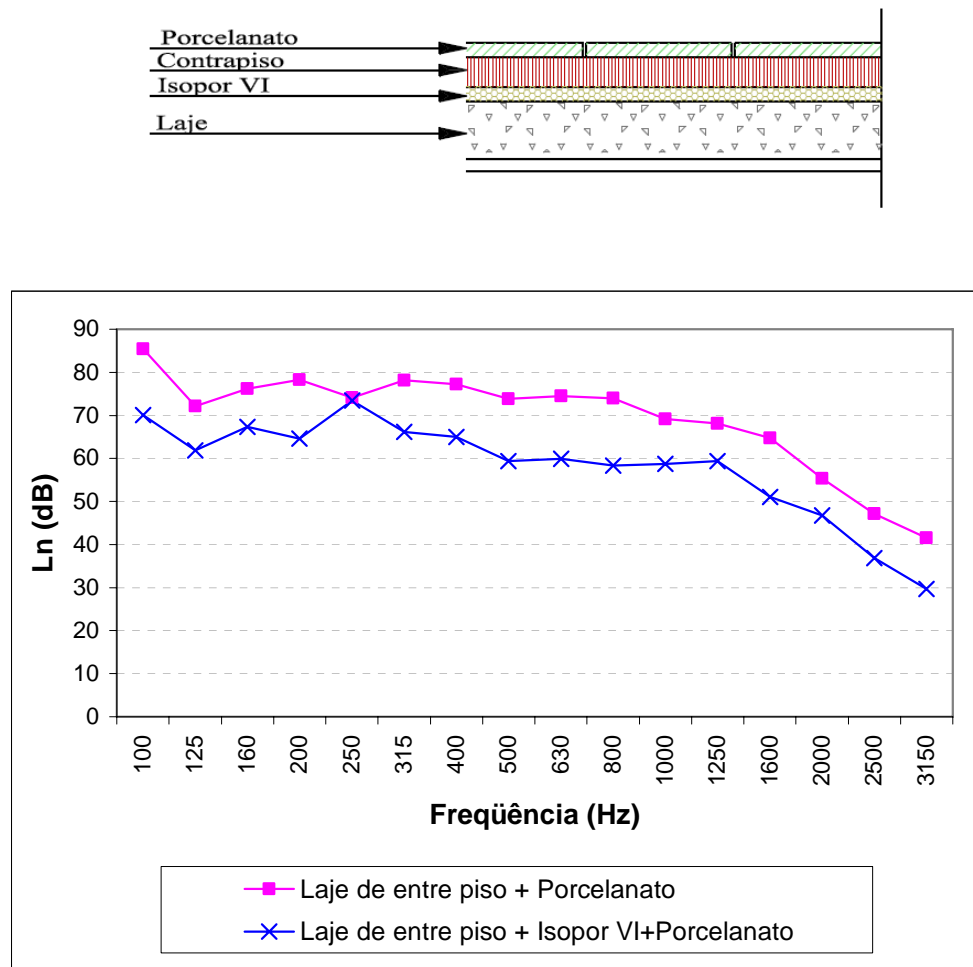


Figura 58 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+isopor VI+porcelanato:
 $L'_{n,w} = 62$ dB

Análise do desempenho: O sistema montado com o isopor VI – um poliestireno expandido, com a densidade de $27,5 \text{ kg/m}^3$ – apresenta uma melhoria de desempenho em relação ao sistema tradicional em todas as frequências, exceto na frequência de 250 Hz . O $L'_{n,w}$ tem o valor de 62 dB, apresentado, portanto uma melhoria $\Delta L'_{n,w} = 11$ dB.

4.3.2.6 Amostra 07 – Laje de entre-piso+isofoan+porcelanato

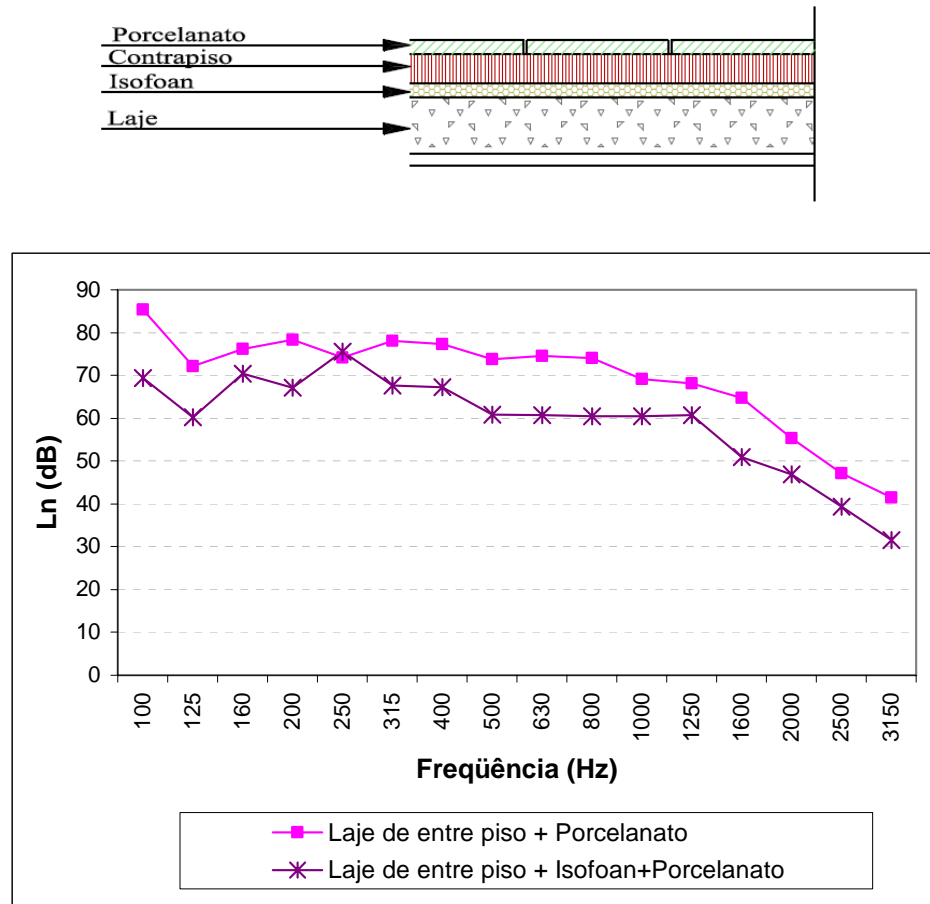


Figura 49 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+isofoan+porcelanato:
 $L'_{n,w} = 64$ dB

Análise do desempenho: À semelhança do isopor VI, o isopor VII ou isofoan – material de idêntica composição química (poliestireno expandido), no entanto com densidade de $32,5 \text{ kg/m}^3$, maior, portanto que a do isopor VI – apresenta uma melhoria no isolamento em todas as faixas de frequências e apresenta também um ponto de vantagem nula, em relação à laje com revestimento tradicional, na faixa dos 250 Hz. O $L'_{n,w}$ tem o valor de 64 dB, e uma melhoria de $\Delta L'_{n,w} = 9$ dB.

4.3.2.7 Amostra 08 – Laje de entre-piso+polietileno+porcelanato

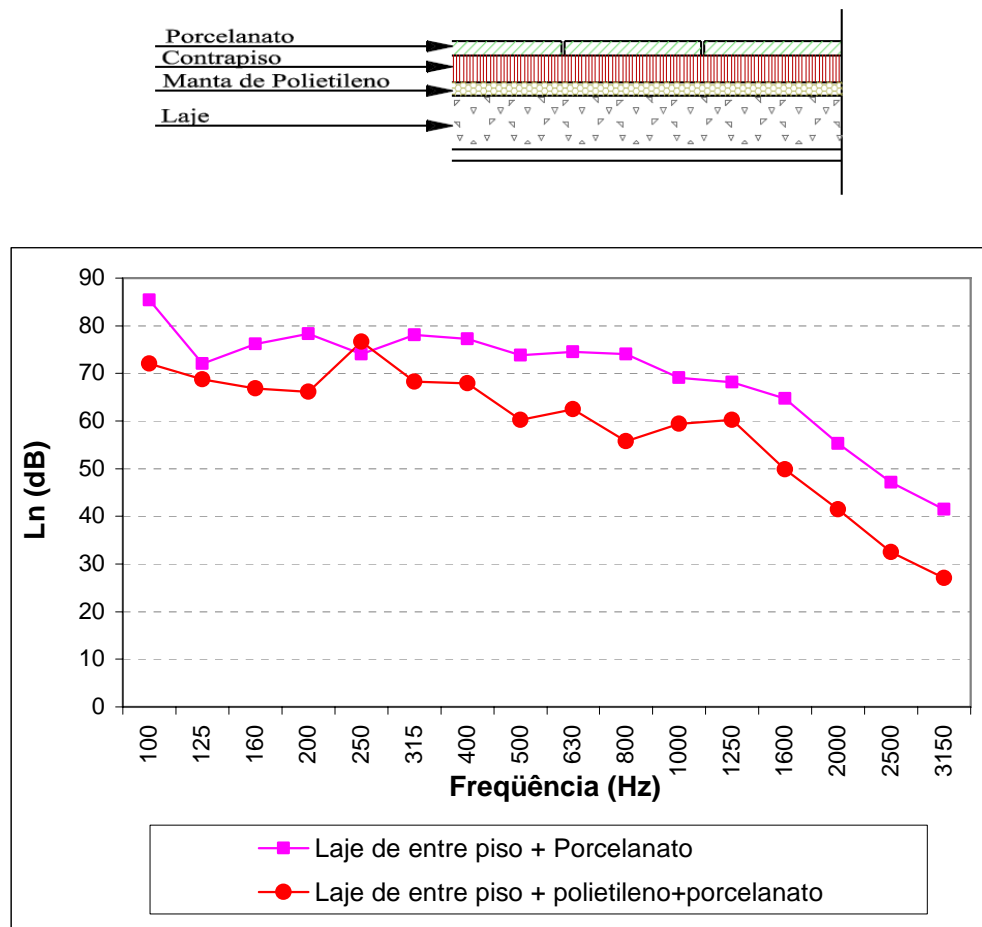


Figura 50 – Gráfico do Nível do ruído de impacto da Laje de entre-piso+polietileno+porcelanato:
 $L'_{n,w} = 65$ dB

Análise do desempenho: Este material não apresenta um desempenho muito vantajoso no isolamento nas baixas frequências se comparado com o desempenho da laje com revestimento tradicional, apresentando um ponto de desempenho negativo na frequência de 250 Hz. A medida que as frequências aumentam mantém um isolamento com melhor desempenho com uma constância razoável. O $L'_{n,w}$ tem o valor de 65 dB e uma melhoria de desempenho em relação ao sistema de referência $\Delta L'_{n,w} = 8$ dB.

4.3.2.8 Representação gráfica do desempenho das amostras da parcial A em conjunto

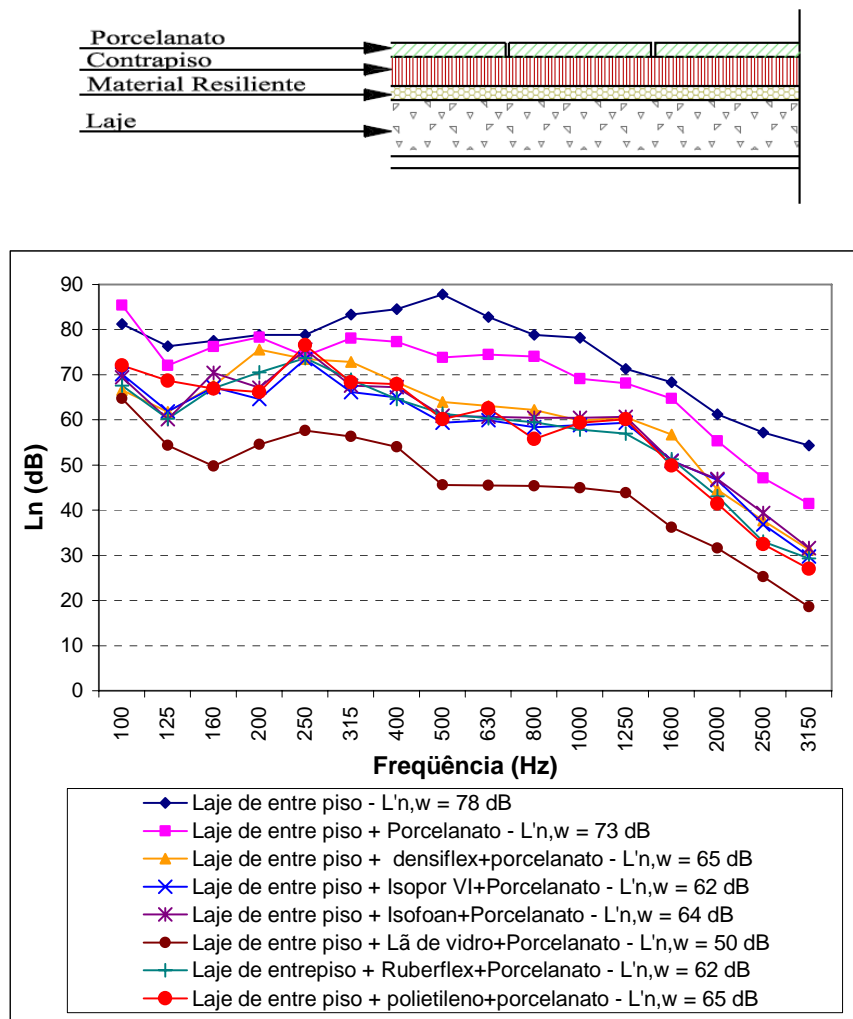


Figura 51 – Gráfico do Nível do ruído de impacto – Representação conjunta da parcial A

Análise comparativa dos desempenhos: Pode-se constatar pela análise dos gráficos dos desempenhos individuais, colocados em conjunto (Figura 51), que, considerando a laje de entre piso sem revestimento, há uma queda, em todas as frequências da transmissão sonora do ruído de impacto proporcionada pela simples adição do revestimento de porcelanato assentado sobre uma camada de argamassa. Esta queda é representada pelo $L'_{n,w} = 73$ dB da laje de entre piso revestida com porcelanato (Figura 52) executado na maneira tradicional e que apresenta um incremento no isolamento $\Delta L'_{n,w} = 5$ dB (Figura 53). O desempenho do revestimento de porcelanato é melhorado pela formação dos diversos sistemas de pisos flutuantes com grande destaque para o sistema

formado com a utilização da lã de vidro que mostra na curva de desempenho uma melhoria em todas as frequências. Os desempenhos individuais dos sistemas montados com os demais materiais são bastante semelhantes em todas as faixas de frequência, com a apresentação de uma queda de desempenho na frequência de 250 Hz em relação ao sistema tradicional. Comparando os índices $L'_{n,w}$ há uma melhoria no isolamento de ruído de impacto $\Delta L'_{n,w}$ variando entre 8 dB e 23 dB como mostram as Figuras 52 e 53.

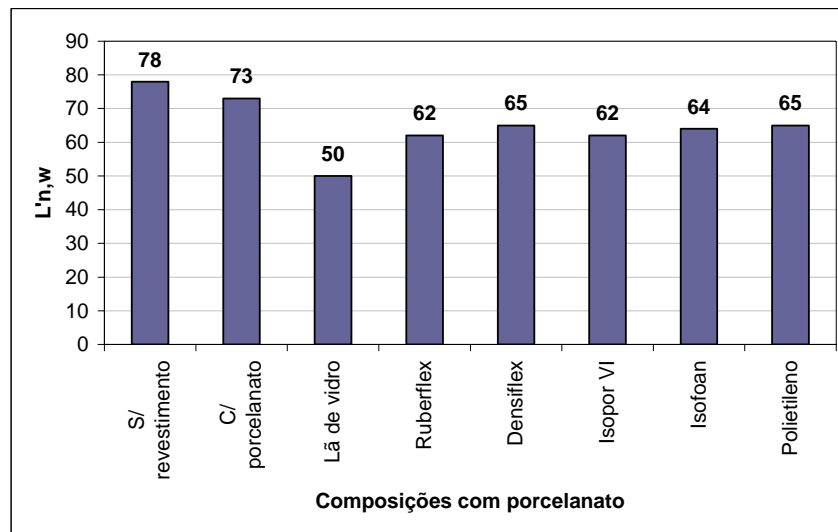


Figura 52 – Gráfico dos $L'_{n,w}$ dos sistemas da parcial A

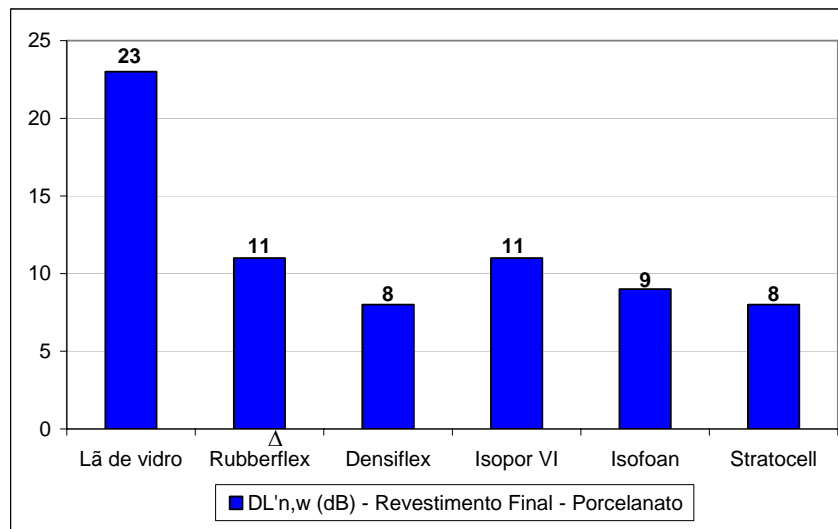
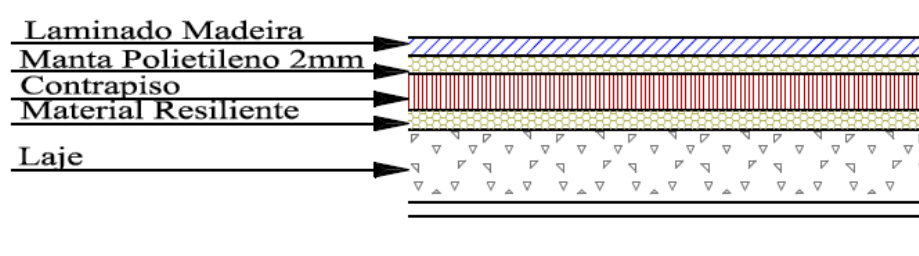


Figura 53 – Gráfico dos $\Delta L'_{n,w}$ dos sistemas da parcial A

4.4 Visualização dos desempenhos acústicos das amostras da parcial B

4.4.1 Quadro 3 – Parcial B: Revestimento Final: Laminado de Madeira



Amostra	Composição	L'n,w
1	Laje de entre-piso sem revestimento (referência)	78 dB
9	Laje de entre-piso+laminado	75 dB
10	Laje de entre-piso+lã-de-vidro+laminado	56 dB
11	Laje de entre-piso+ruberflex+laminado	67 dB
12	Laje de entre-piso+densiflex+laminado	67 dB
13	Laje de entre-piso+isopor VI+laminado	63 dB
14	Laje de entre-piso+isopor VI+laminado	64 dB
15	Laje de entre-piso+polietileno+laminado	67 dB

Quadro 3 – Parcial B: Revestimento Final: Laminado de Madeira

4.4.2 Representação gráfica dos desempenhos das amostras da parcial B

4.4.2.1 Amostra 9 – Laje de entre-piso+laminado de madeira

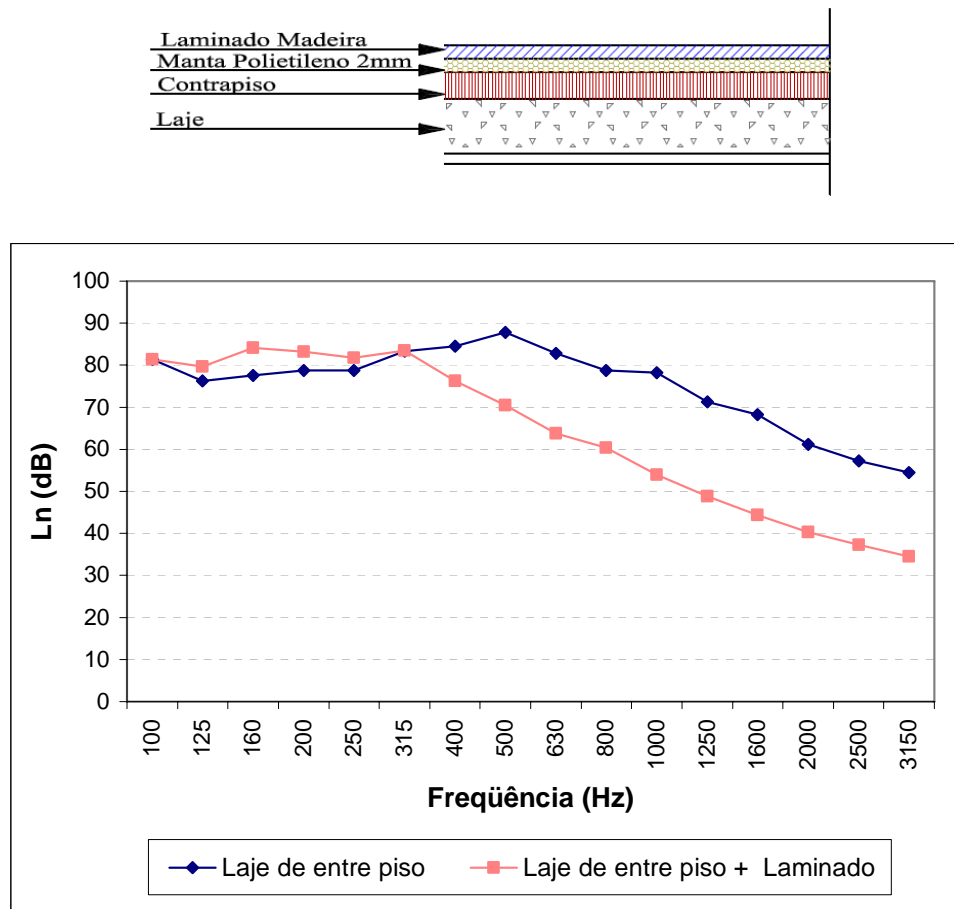


Figura 54 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+laminado de madeira:
 $L'_{n,w} = 75$ dB

Análise do desempenho: Pode-se observar na comparação entre o gráfico do desempenho da laje sem revestimento e o gráfico com a adição do revestimento de laminado executado na forma tradicional que há uma melhora de desempenho no isolamento ao ruído de impacto a partir da frequência de 315 Hz e que o valor do $L'_{n,w} = 75$ dB deste último indica um acréscimo no isolamento ao ruído de impacto $\Delta L'_{n,w}$ de 3 em relação à laje sem revestimento..

4.4.2.2 Amostra 10 – Laje de entre-piso+lã de vidro+laminado

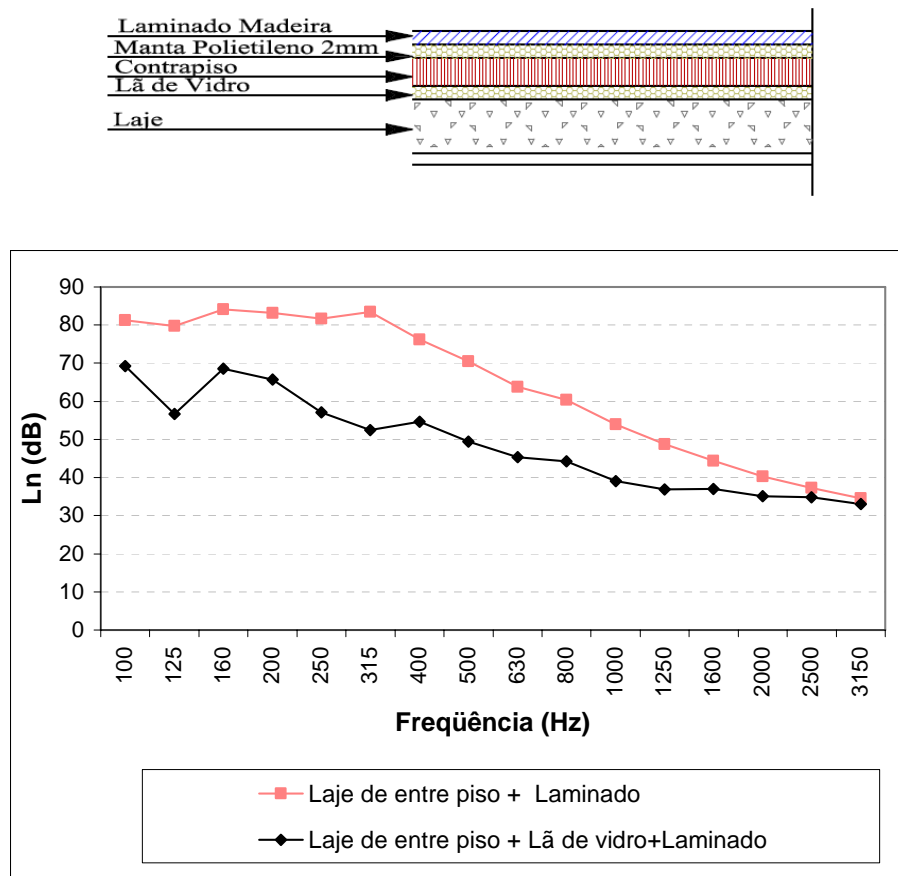


Figura 55 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+lã de vidro+laminado:
 $L'_{n,w} = 56$ dB

Análise do desempenho: O valor do $L'_{n,w}$ de 56 dB com um $\Delta L'_{n,w} = 19$ dB em relação ao sistema convencional, comprova a eficácia da lã de vidro na composição de sistemas de piso flutuante com significativo desempenho na faixa de baixas frequências o que não acontece, normalmente, com os demais materiais. Ressalte-se, no entanto que a taxa de acréscimo no isolamento diminui à medida que aumenta a frequência até anular-se no patamar dos 3150 Hz numa comprovação de que o laminado de madeira melamínico é bastante eficaz como isolante ao ruído de impacto para as altas frequências.

4.4.2.3 Amostra 11 – Laje de entre-piso+ruberflex+laminado

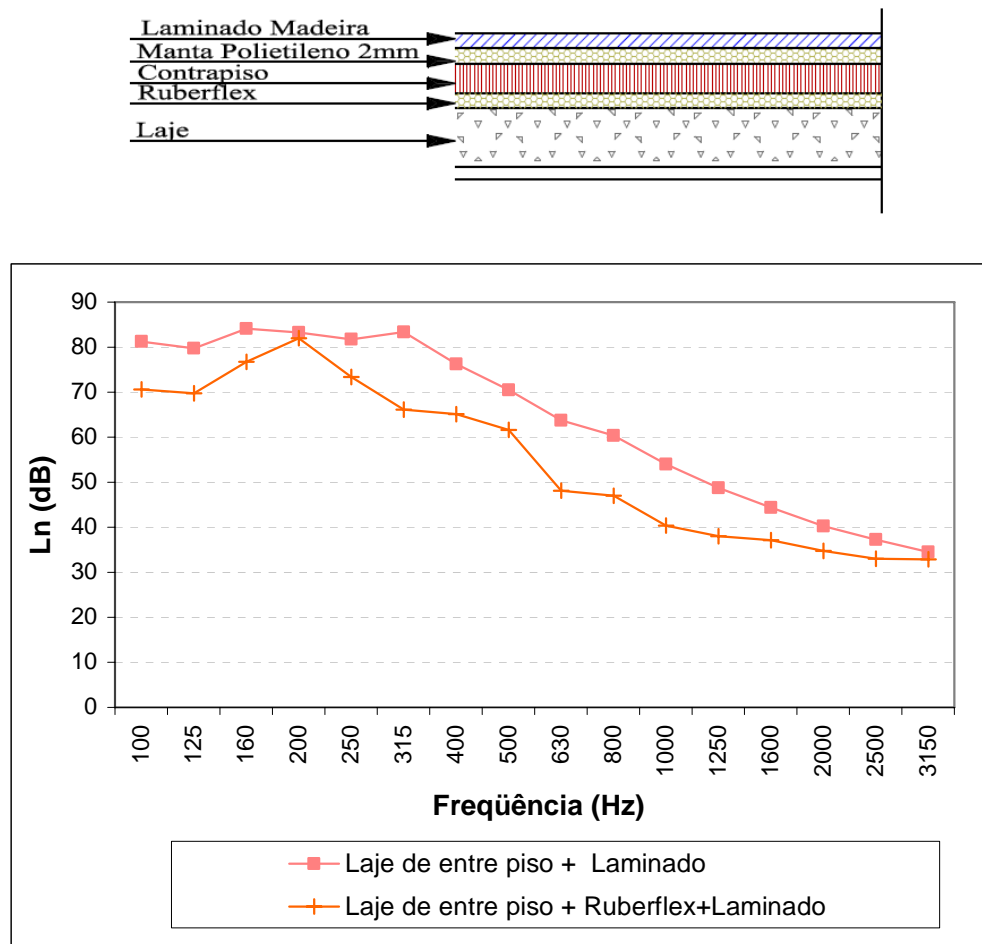


Figura 56 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+ruberflex+laminado: $L'_{n,w} = 67$ dB

Análise do desempenho: O gráfico demonstra que o sistema apresenta uma queda de desempenho ao ruído de impacto na frequência de 200 Hz onde apresenta um valor absoluto igual ao do sistema tradicional.. Entretanto, o sistema montado com o rubberflex, manta de borracha reciclada com espessura de 8,0mm e densidade de 130 kg/m^3 , apresenta melhor desempenho em todas as demais frequências até o patamar de 3150 Hz quando volta a igualar-se ao sistema tradicional. O valor do $L'_{n,w}$ é de 67dB com um $\Delta L'_{n,w} = 8$ dB.

4.4.2.4 Amostra 12 – Laje de entre-piso+densiflex+laminado

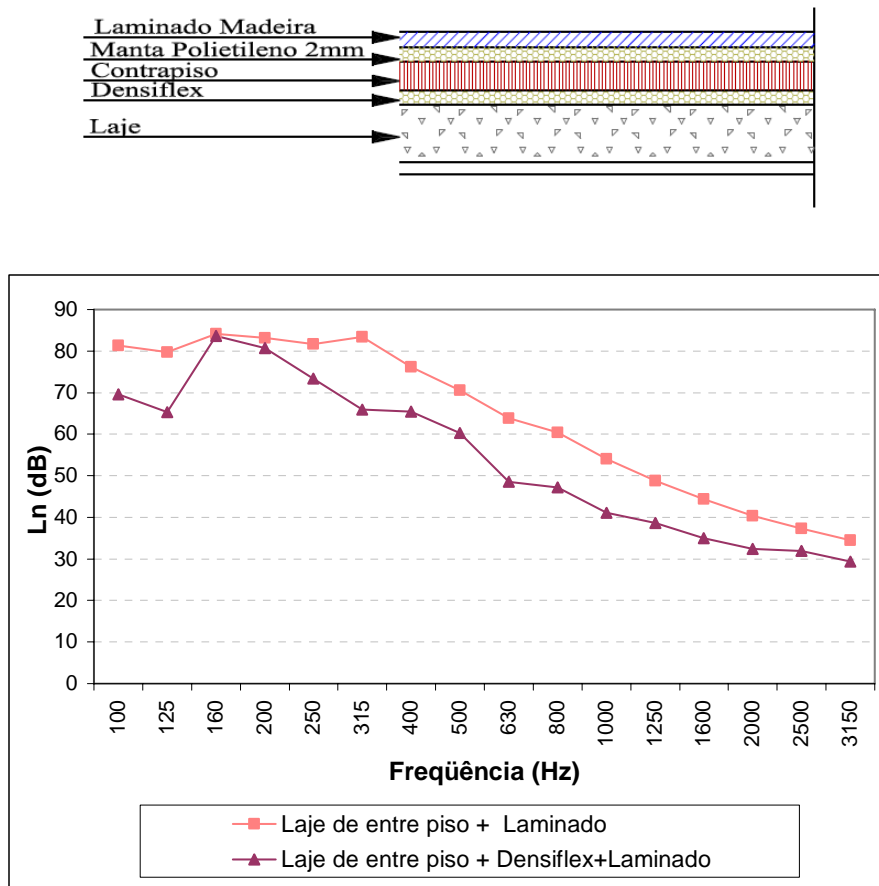


Figura 57 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+densiflex+laminado: $L'n,w = 67$ dB

Análise de desempenho: O densiflex, material de mesma composição química que o rubberflex, mas com a metade da espessura e, portanto com densidade maior – 260 kg/m^3 – demonstrou um desempenho bastante semelhante ao anterior, apresentando, no entanto uma diminuição de desempenho na frequência de 160 Hz, onde não há melhoria em relação ao sistema tradicional. Ressalte-se que na frequência de 3150 Hz, diferentemente dos materiais anteriormente analisados nesta parcial, o densiflex mantém uma melhoria de desempenho. Aparentemente a diminuição da resiliência não teve influência no desempenho absoluto de isolamento ao ruído de impacto – em relação ao rubberflex – que também apresenta um valor de $L'n,w = 67$ dB e um $\Delta L'n,w = 8$ dB em relação ao sistema convencional.

4.4.2.5 Amostra 13 – Laje de entre-piso+isopor VI+laminado

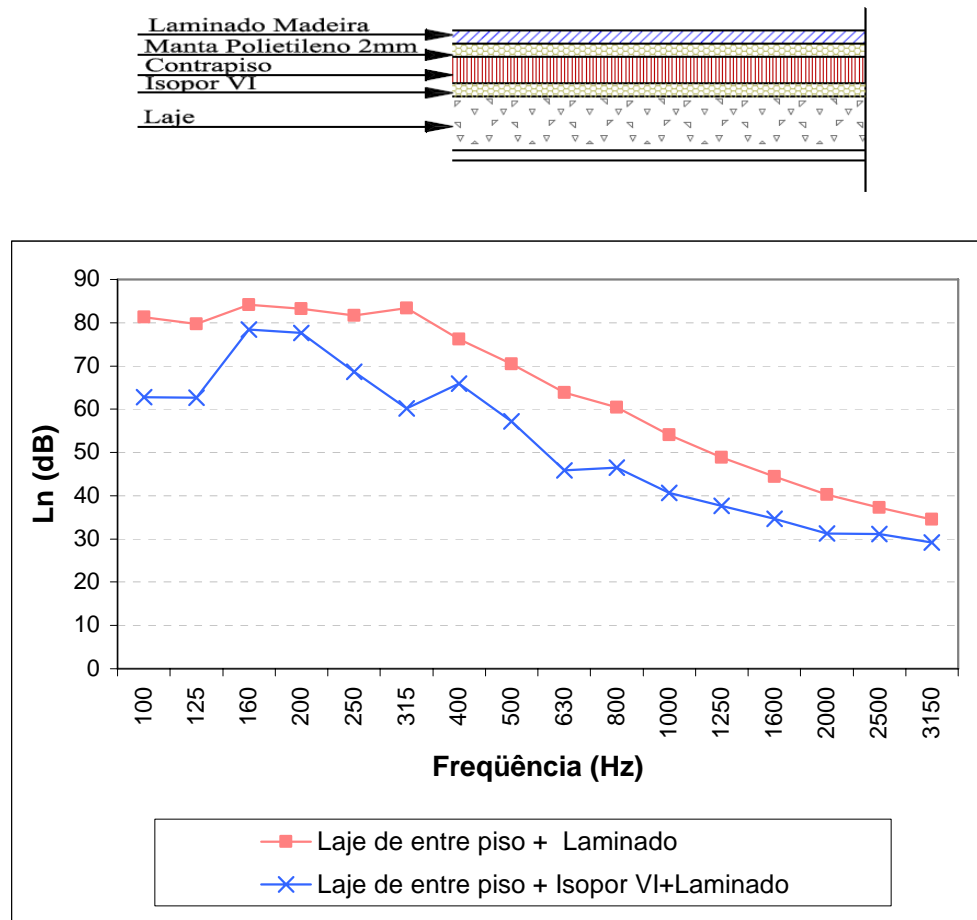


Figura 58 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+isopor VI+laminado: $L'_{n,w} = 63$ dB

Análise de desempenho: O isopor VI, poliestireno expandido, material com densidade aproximada de 27,5 kg por m³, apresenta um melhor desempenho no isolamento ao ruído de impacto, quando comparada com o sistema tradicional, porém percebe-se uma redução neste desempenho entre as frequências de 160 Hz e 200 Hz. O índice $L'_{n,w}$ de 63 dB proporciona, nesta composição uma diferença positiva de isolamento $\Delta L'_{n,w}$ de 12 dB em relação ao sistema de referência.

4.4.2.6 Amostra 14 – Laje de entre-piso+isofoan+laminado

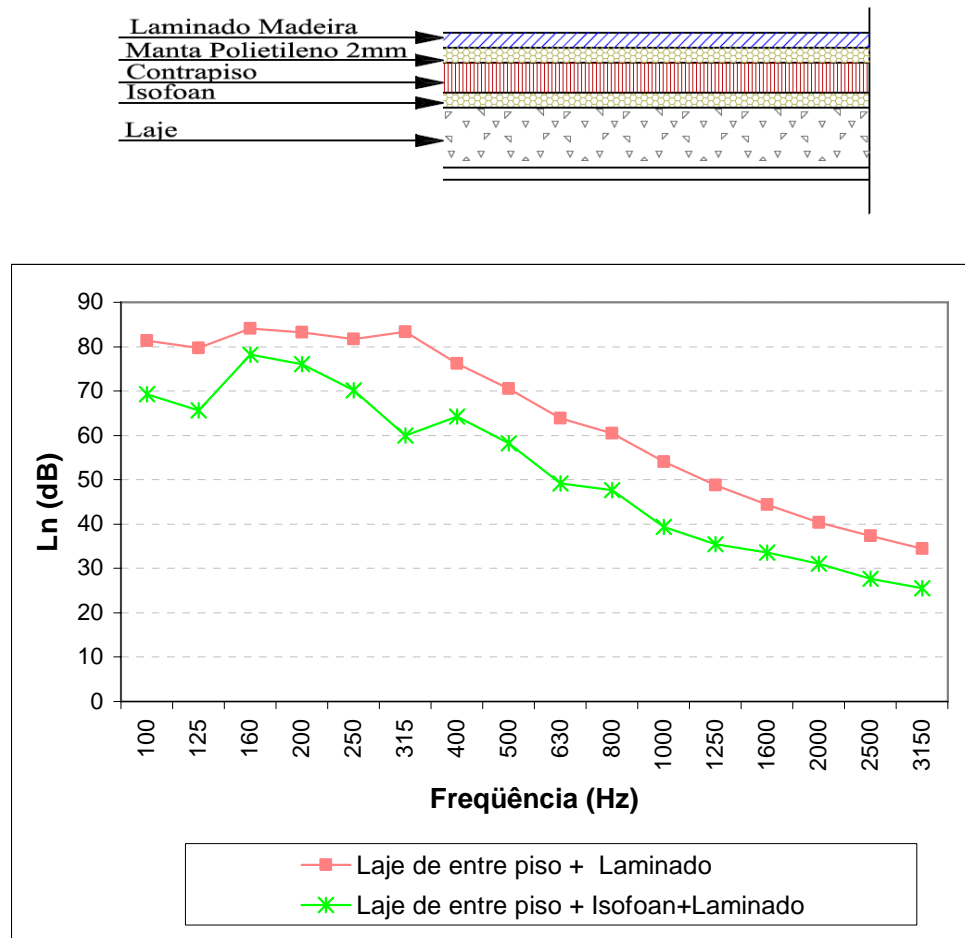


Figura 59 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+isofoan+laminado: $L'_{n,w} = 64$ dB

Análise do desempenho: o isofoan, ou isopor VII, também um poliestireno expandido, com uma densidade de $32,5 \text{ kg/m}^3$, portanto ligeiramente maior do que a densidade do isopor VI, apresenta um desempenho em tudo semelhante ao desempenho daquele, com uma pequena diminuição no desempenho absoluto com o valor de $L'_{n,w}$: 64 dB em consequência justamente da menor resiliência e proporcionando um desempenho melhor $\Delta L'_{n,w}$ de 11 dB em relação ao sistema tradicional.

4.4.2.7 Amostra 15 – Laje de entre-piso+polietileno+laminado

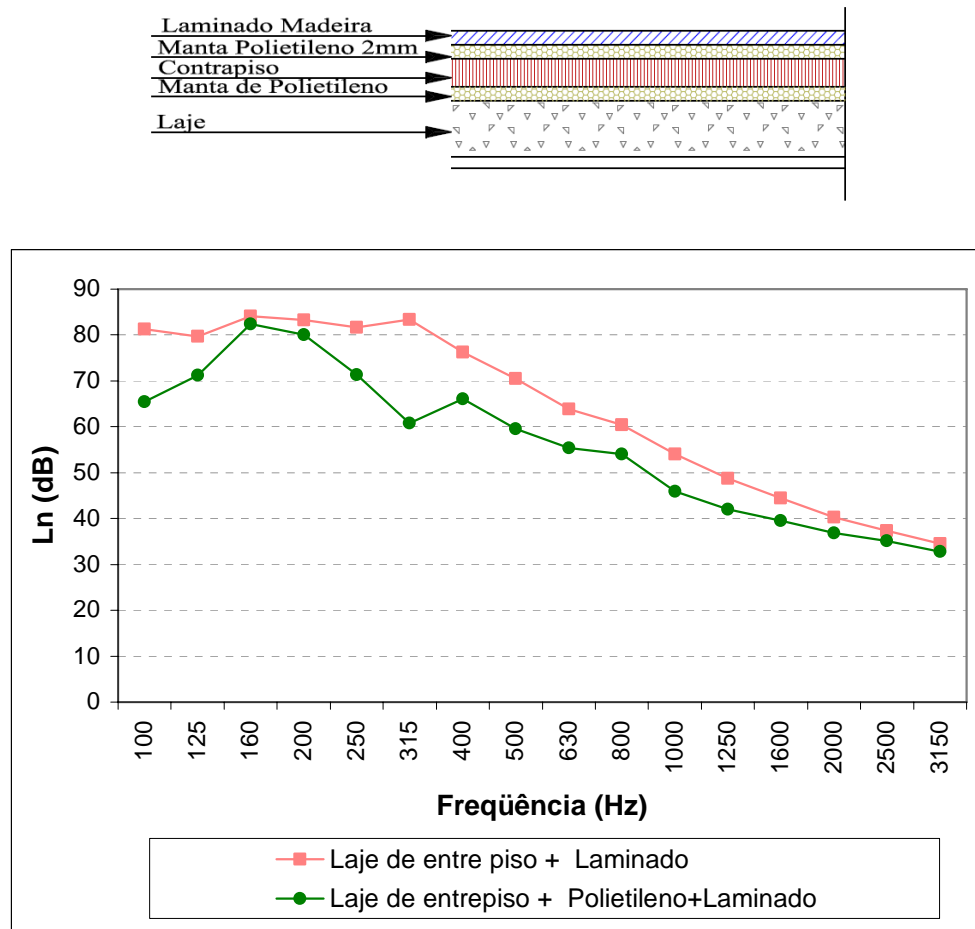


Figura 60 – Gráfico do Nível de ruído de impacto da Laje de entre-piso+polietileno+laminado:
 $L'_{n,w} = 67\text{dB}$

Análise do desempenho: A manta de polietileno estrudado testada no sistema de piso flutuante com o revestimento de laminado de madeira apresenta uma diminuição no desempenho de isolamento ao ruído de impacto na freqüência de 160 Hz quando tem um rendimento praticamente nulo com relação ao sistema de referência. A partir daí apresenta uma melhoria no desempenho, mas diminui também a taxa de aumento deste desempenho a partir dos 315 Hz até voltar a praticamente anular-se nos 3150 Hz, conseqüência do desempenho de isolamento do próprio laminado melamínico de madeira. Com um índice $L'_{n,w}$ de 67 dB proporciona uma diferença positiva de isolamento ao ruído de impacto $\Delta L'_{n,w}$ de 8 dB em relação ao sistema de referência..

4.4.2.8 Representação gráfica do desempenho das amostras da parcial B em conjunto

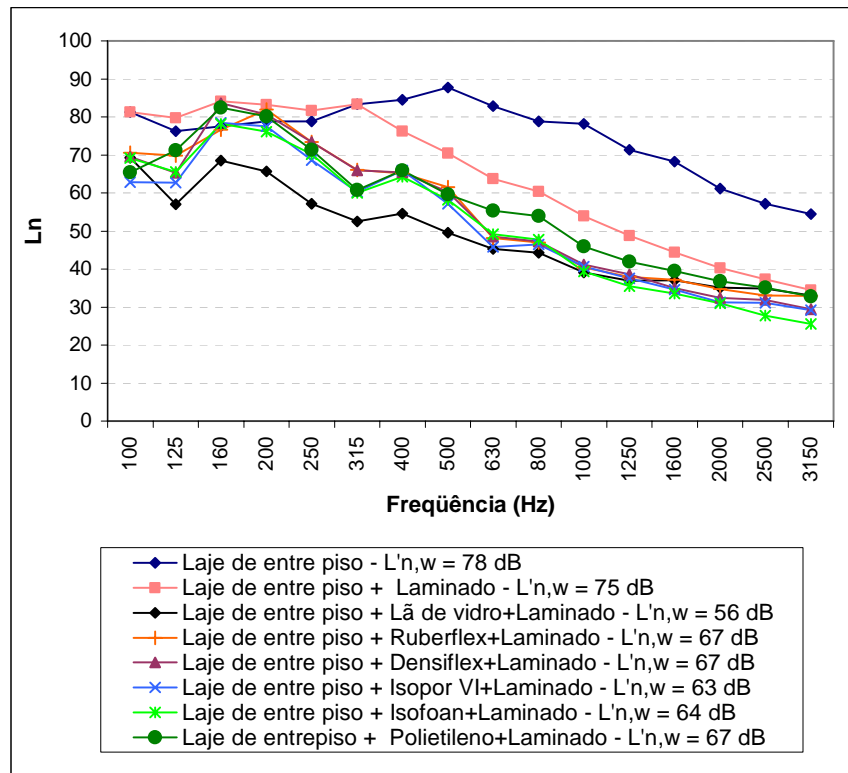


Figura 61 – Nível do ruído de impacto – Representação conjunta da parcial B

Análise dos desempenhos colocados em conjunto: Pela análise dos gráficos de desempenho por freqüência pode-se constatar a melhoria do desempenho ao ruído de impacto, em relação à laje sem revestimento, da colocação do revestimento de laminado de madeira assentado sobre quatro centímetros de argamassa. Esta melhoria se manifesta a partir da freqüência de 315 Hz e se mantém até os 3150 Hz quando novamente se anula e é representada pelo $L'n,w = 75$ dB da laje de entre piso revestido com laminado melamítico de madeira executado da maneira tradicional e que representa um incremento $\Delta L'n,w = 3$ dB (Figura 62). O desempenho do revestimento de laminado de madeira é melhorado pela formação dos diversos sistemas de pisos flutuantes com grande destaque para o sistema formado com a utilização da lã de vidro que mostra na curva de desempenho uma melhoria em todas as freqüências até a freqüência de 3150 Hz quando não apresenta vantagem no desempenho. Os desempenhos dos demais materiais tem desempenho semelhantes em todas as faixas de freqüência, com a apresentação de uma queda de rendimento entre as freqüências de 160 e 200 Hz., quando comparados com o sistema tradicional. Comparando os

índice $L'_{n,w}$ há uma melhoria no isolamento do ruído de impacto $\Delta L'_{n,w}$ que varia entre 8 dB e 19 dB como mostram as Figuras 62 e 63.

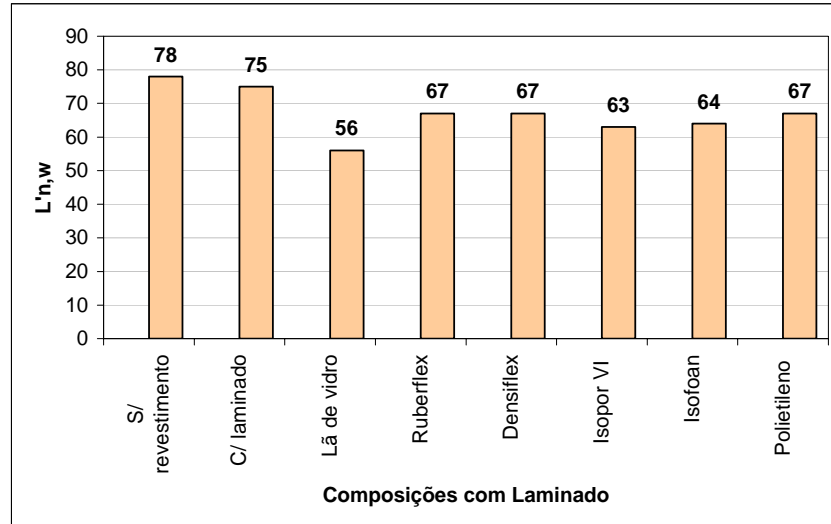


Figura 62 – Gráfico dos $L'_{n,w}$ de cada material do sistema B

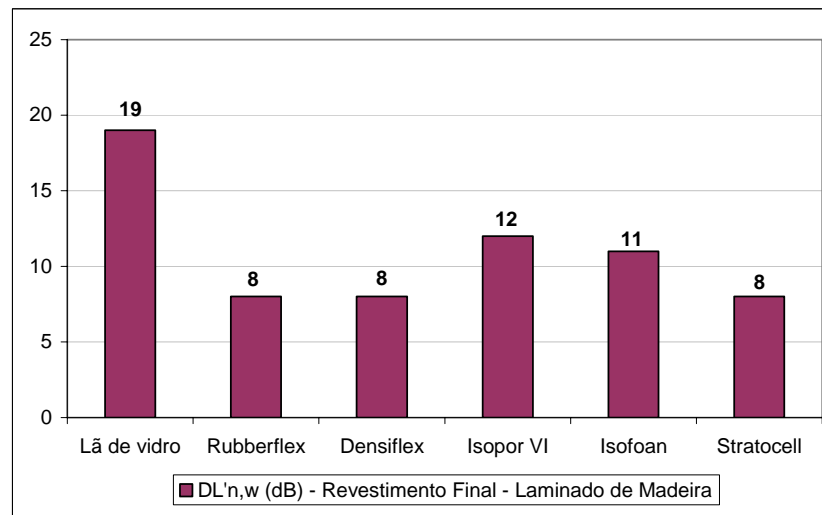


Figura 63 – Gráfico dos $\Delta L'_{n,w}$ dos sistemas da parcial B

4.5. Visualização dos $\Delta L'_{n,w}$ em conjunto das amostras das parciais A e B

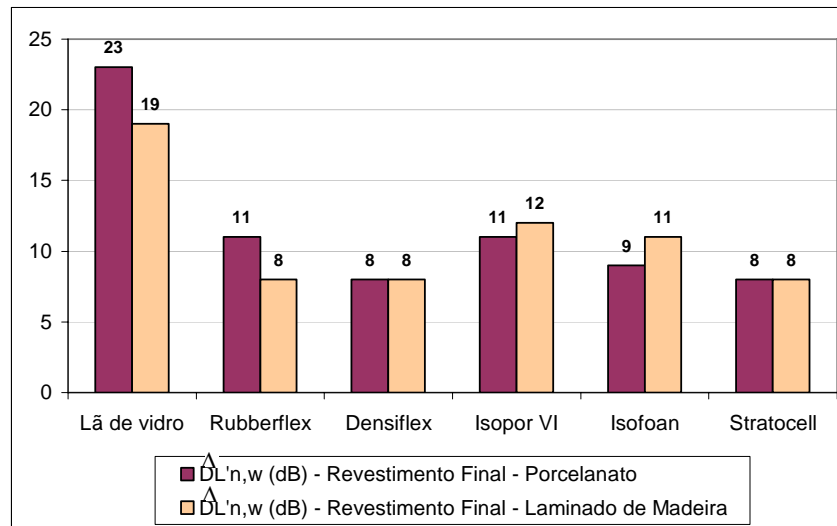


Figura 64 – Representação gráfica conjunta dos $\Delta L'_{n,w}$ dos sistemas A e B

4.6 Desempenho econômico

O Quadro 4 apresenta o valor por m^2 dos materiais utilizados nesta pesquisa.

Nº Ordem	Descrição do Material	Preço ao consumidor p/ m^2
01	Placas de lã de vidro – Optima Piso	R\$ 14,00
02	Manta de borracha reciclada Rubberflex	R\$ 7,31
03	Manta de borracha reciclada Densiflex	R\$ 6,19
04	Placa de poliestireno expandido – Isopor VI	R\$ 9,00
05	Placa de poliestireno expandido - Isofoan	R\$ 14,56
06	Manta de polietileno – Stratocell	R\$ 7,12

Quadro 4 – Valores ao consumidor dos materiais utilizados

4.6.1 Gráfico de desempenho físico-financeiro

O Gráfico da Figura 65 ilustra o desempenho físico-financeiro dos materiais utilizados nesta pesquisa.

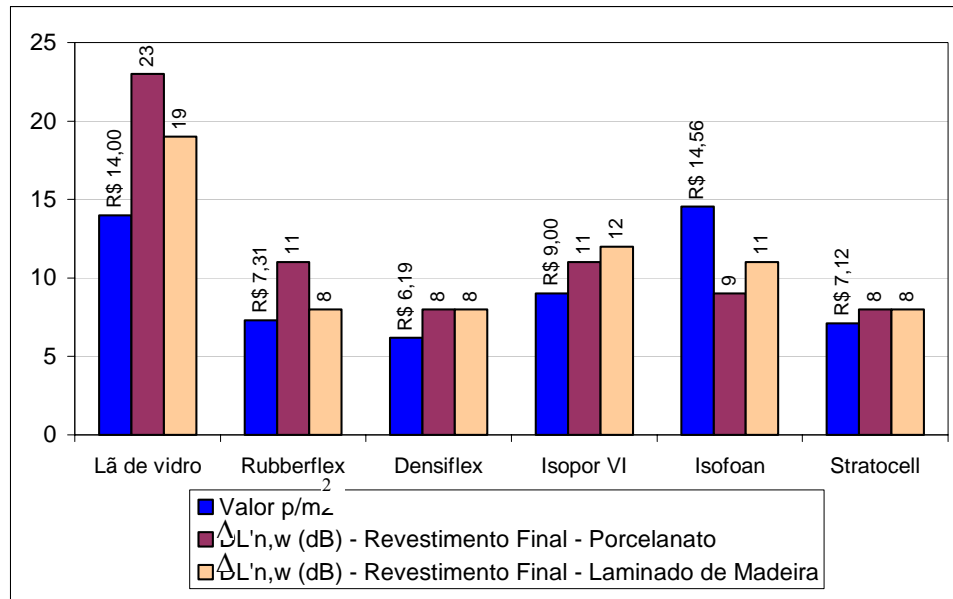


Figura 65 – Gráfico do desempenho físico-financeiro dos materiais

Para a construção do gráfico de desempenho econômico foram utilizados os desempenhos de isolamento acústico ao ruído de impacto de cada material quando usados nos sistemas com o revestimento de porcelanato e com laminado melamínico de madeira. A análise do gráfico revela que a lã de vidro apesar de ser um material não muito barato (é o segundo mais caro) apresenta um desempenho acústico excelente, sobrepunhando os demais materiais por uma boa margem. Enquanto a lã de vidro nos sistemas montados com o porcelanato apresenta um $\Delta L'_{n,w}$ de 23 dB os materiais que mais se aproximam em desempenho são o rubberflex e o isopor VI e que apresentam um $\Delta L'_{n,w}$ na ordem de 11 dB. Nos sistemas montados com laminado destacam-se o isopor VI e o isofoan com $\Delta L'_{n,w}$ de 12 dB e 11 dB respectivamente. Evidentemente, não há possibilidade de estabelecer uma relação direta entre o desempenho físico como isolante e o valor comercial do material, entretanto é possível definir o quando de isolamento é desejado para o sistema que será utilizado e quanto será o seu custo.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÃO

5.1. Considerações finais

Os trabalhos realizados na UFSM por BRONDANI, S. (1999), CONRAD, L. (2002), HAX, S. (2003) e MEDEIROS, P. (2003) que foram utilizados como preciosa orientação, descreveram a viabilidade da solução do problema, que mais insatisfação provoca entre os usuários de imóveis residenciais coletivos, cujo resultado é a redução do nível de pressão sonora de impacto com a utilização de técnicas diversas, dentre elas a dos pisos flutuantes.

Não há a menor dúvida de que a tecnologia construtiva utilizada atualmente não deixa outro caminho que não a simples redução do incômodo, pois que a eliminação total das vibrações que dão origem ao ruído ainda não está ao alcance dos projetistas e construtores.

Outro fator de dificuldade para os profissionais da construção civil era a falta de parâmetros que definisse limites e estabelecesse níveis de desempenho para habitações coletivas que funcionasse como orientação na elaboração de projetos e execuções de obra. Esta deficiência está sendo sanada pelo projeto de norma 02.136.01-001/3, cuja Parte 3: Requisito para os sistemas de pisos internos, em seu item 12, estabelece as condições mínimas exigidas para o desempenho acústico de lajes estruturais.

A técnica já consagrada do piso flutuante e que consiste na elaboração de “sanduíches”, onde as partes mais rígidas constituídas pela laje de entre-piso e o revestimento final estão entrepostas por uma camada de material resiliente foi testada nos ensaios de laboratório através da comparação entre os desempenhos de cada um dos materiais, confirma que é possível a redução da transmissão dos níveis de pressão sonora de ruído de impacto.

A filosofia que norteia os estudos científicos voltados para a solução dos efeitos nocivos do ruído de impacto tem levado a indústria a desenvolver produtos com características que satisfaçam as exigências do mercado. Esta situação ensejou a realização do presente trabalho.

5.2. Desempenho físico dos materiais

Os testes laboratoriais realizados apresentaram resultados absolutamente pertinentes e permitem concluir que os revestimentos de porcelanato e laminado melamínico de madeira tiveram comportamentos distintos:

- o revestimento de porcelanato tem desempenho negativo apenas para frequências abaixo dos 115 Hz apresentando desempenho positivo em todo o restante do espectro de frequência com a melhoria total de isolamento representada por um $\Delta L'_{n,w}$ de 5 dB em relação à laje sem revestimento, significando 1 dB para cada centímetro de aumento da espessura..
- o revestimento de laminado melamínico de madeira tem desempenho negativo para frequências abaixo de 315Hz, apresentando desempenho positivo em todo o restante do espectro de frequência com a melhoria total de isolamento representada por um $\Delta L'_{n,w}$ de 3 dB. O gráfico de desempenho do laminado de madeira mostra que para as frequências acima de 315 Hz o laminado de madeira é mais eficaz do que o porcelanato.

A representação gráfica conjunta dos sistemas da parcial A (sistemas de pisos flutuantes montados com o revestimento de porcelanato) Figura 51, mostra que:

- o sistema montado com a lã de vidro tem o melhor desempenho em todas as frequências.
- fica bem configurado um decréscimo de desempenho de todos os materiais, exceto a lã de vidro no isolamento ao ruído de impacto na frequência de 250 Hz.
- acima da frequência de 250 Hz há uma semelhança de desempenho dos demais materiais.

O gráfico dos desempenhos absolutos, representando os $L'_{n,w}$ de cada material (Figura 52) e o gráfico dos $\Delta L'_{n,w}$ (Figura 53) representado o incremento positivo no desempenho quanto ao isolamento do ruído de impacto de cada material dos sistemas da parcial A, em relação ao desempenho do revestimento de porcelanato executado no sistema tradicional, mostra que:

- o sistema montado com a lã de vidro tem o melhor desempenho absoluto com $L'_{n,w} = 50$ dB e com um $\Delta L'_{n,w} = 23$ dB em relação ao sistema construtivo tradicional.

- os sistemas montados com os demais materiais resilientes têm desempenhos com $\Delta L'_{n,w}$ variando entre 8dB e 11 dB, também considerando o sistema construtivo tradicional.
- com $L'_{n,w} = 62$ dB e com $\Delta L'_{n,w} = 11$ dB estão o rubberflex e o isopor VI.
- com $L'_{n,w} = 64$ dB e com $\Delta L'_{n,w} = 9$ dB está o isofoan,
- finalmente nos sistemas da parcial A com $L'_{n,w} = 65$ dB e com $\Delta L'_{n,w} = 8$ dB estão o densiflex e o stratocell.

Este escalonamento decrescente estabelece uma hierarquização considerando o desempenho físico absoluto quanto ao isolamento ao ruído de impacto dos materiais nos sistemas representados pela parcial A.

A representação gráfica conjunta dos sistemas da parcial B (sistemas de pisos flutuantes montados com o revestimento de laminado de madeira melamínico) Figura 61, mostra que:

- o sistema montado com a lã de vidro mantém melhor desempenho em relação aos outros materiais em todas as frequências.
- fica bem configurado um decréscimo de desempenho de todos os materiais, exceto a lã de vidro, no isolamento ao ruído de impacto entre as frequências de 160 Hz e 200 Hz.
- acima da frequência de 200 Hz há uma semelhança nos desempenhos dos demais materiais..
- na frequência de 3150 Hz, todos os materiais, inclusive a lã de vidro, tendem a igualar o seu desempenho ao desempenho do laminado melamínico de madeira instalado da maneira convencional, comprovando que por si só, o laminado melamínico de madeira tem um desempenho satisfatório para as altas frequências.

O gráfico dos desempenhos absolutos, representando os $L'_{n,w}$ de cada material (Figura 62) e o gráfico dos $\Delta L'_{n,w}$ (Figura 63), representando o incremento positivo no desempenho quanto ao isolamento do ruído de impacto de cada material dos sistemas da parcial B, em relação ao desempenho do revestimento de laminado melamínico de madeira executado no sistema tradicional, mostra que:

- o sistema montado com a lã de vidro tem o melhor desempenho absoluto com $L'_{n,w} = 56$ dB e com um $\Delta L'_{n,w} = 19$ dB, quando comparado com o sistema tradicional do revestimento com laminado melamínico de madeira.
- os sistemas montados com os demais materiais resilientes têm desempenhos absolutos com o $\Delta L'_{n,w}$ variando entre 8 e 12 dB quando comparados com o revestimento do laminado melamínico de madeira executado no sistema tradicional:
 - com $L'_{n,w} = 63$ dB e com $\Delta L'_{n,w} = 12$ dB está o isopor VI.
 - com $L'_{n,w} = 64$ dB e com $\Delta L'_{n,w} = 11$ dB está o isofoan.
 - com $L'_{n,w} = 67$ dB e com $\Delta L'_{n,w} = 8$ dB estão o rubberflex, o densiflex e o stratocell.

Este escalonamento decrescente estabelece uma hierarquia no desempenho físico dos materiais nos sistemas representados pela parcial B.

Finalmente a representação conjunta dos $\Delta L'_{n,w}$ (fig.64) dos sistemas das parciais A e B comprova que:

- a lã de vidro é o mais eficaz dentre os materiais resilientes com o melhor rendimento absoluto – $L'_{n,w}$ – e com o melhor desempenho de isolamento ao ruído de impacto em todas as frequências. Há uma melhoria de 4 dB no desempenho acústico absoluto da lã de vidro quando usada com o porcelanato em relação a sua utilização com o laminado melamínico de madeira.
- os demais materiais têm desempenhos semelhantes como mostram os gráficos de desempenho conjunto de cada sistema e os gráficos de desempenhos individuais absolutos $L'_{n,w}$ e $\Delta L'_{n,w}$.
- há uma melhoria de 3 dB no desempenho acústico absoluto do rubberflex quando utilizado com o porcelanato em relação a sua utilização com o laminado melamínico de madeira.
- há uma melhoria de 1 dB para o isopor VI e de dois dB para o isofoan no desempenho acústico absoluto isofoan quando utilizados com o porcelanato em relação a sua utilização com o laminado melamínico de madeira.
- os materiais de mesma composição química (grupo das mantas de borracha e grupo dos isopores) têm gráfico de desempenho por frequência semelhantes com pequenas variações.
 - quando utilizados com o porcelanato o densiflex e o stratocell apresentaram o desempenho menos vantajoso, com um $\Delta L'_{n,w} = 8$ dB em relação ao sistema tradicional.

- quando utilizados com o laminado melamínico de madeira o rubberflex, o densiflex e o stratocell apresentaram o desempenho menos vantajoso, com um $\Delta L'_{n,w} = 8$ dB em relação ao sistema tradicional.

5.3 Desempenho físico-financeiro

Finalmente quanto à viabilidade econômica e desempenho pode-se estabelecer uma relação entre o custo do material, o seu desempenho absoluto específico..

Considerando a disponibilidade de recursos e os diferentes desempenhos dos materiais analisados pode-se estabelecer uma relação escalonada hierarquicamente de custo/desempenho com as seguintes condições:

- com disponibilidade de R\$6,19 (1)
 - para um $L'_{n,w}$ de 65 dB é possível usar o densiflex com revestimento de porcelanato. Para atingir este desempenho utilizando o laminado melamínico de madeira há necessidade de aumentar a espessura da laje em dois centímetros.
- com disponibilidade de R\$7,35
 - para um $L'_{n,w}$ 65 dB é possível usar o densiflex – já utilizado em (1) – e o stratocell com revestimento de porcelanato. Para atingir este desempenho utilizando o densiflex com o laminado melamínico de madeira há necessidade de aumentar a espessura da laje em dois centímetros.
 - para um $L'_{n,w}$ de 62 dB é possível utilizar o rubberflex com revestimento de porcelanato. Para atingir este desempenho utilizando o rubberflex com o laminado melamínico de madeira é necessário aumentar a espessura da laje em cinco centímetros.
- com disponibilidade de R\$9,00:
 - podem-se utilizar as opções anteriores com as respectivas restrições e ainda:
 - para um $L'_{n,w}$ de 62 dB é possível utilizar o isopor VI com revestimento de porcelanato.
 - para um $L'_{n,w}$ de 63 dB é possível utilizar o isopor VI com o laminado de madeira.
- finalmente com disponibilidade de R\$14,00:
 - podem-se utilizar todas as opções anteriores com as restrições e vantagens.
 - para um $L'_{n,w}$ de 50 dB pode-se utilizar a lâ de vidro com revestimento de porcelanato.

- para um $L'_{n,w}$ de 56 dB pode-se utilizar a lâ de vidro com revestimento de laminado melamínico de madeira.

Desta maneira está definida uma hierarquia no aspecto físico financeiro com relação à utilização dos diversos materiais resilientes testados com os dois tipos de revestimentos: o porcelanato e o laminado melamínico de madeira.

5.4. Sugestões para futuros trabalhos de pesquisa

- Estudo do desempenho acústico ao ruído de impacto dos diversos tipos de lajes estruturais existentes no mercado.
- Estudo do desempenho acústico ao ruído de impacto “in situ” dos diversos materiais testados neste trabalho

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKKERMAN, S. **Pisos Flutuantes para a redução do nível de ruídos** In: I Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – XVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 6. 1996, Petrópolis, **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 1996, 280 p.

ARCH-TEC – Edificações e Tecnologia do Conforto Ambiental e Impermeabilizações Ltda.– **Acústica Arquitetônica**. Disponível em: <http://www.arch-tec.com.br> – Acesso em 04Set2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/CB 02 – Comitê Brasileiro de Construção Civil. **CE 02.136.01** – Desempenho de Edificações. Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 3: Pisos Internos. Rio de Janeiro, Brasil, 2004, 18p.

BRONDANI, S. A. **Pisos flutuantes: análise da performance acústica para ruídos de impacto**. Santa Maria: UFSM, 1999, 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

FERREIRA, A. **Avaliação do conforto acústico em salas de aula – Estudo de caso na Universidade Federal do Paraná** - Curitiba 2006 - Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br> – Acesso em 18Fev2008.

CONRAD, L. S. **Estudo comparativo entre diversos revestimentos para pisos quanto ao isolamento do ruído de impacto**. Santa Maria, 2002, 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

GERGES, S.N.Y. **Ruído: Fundamentos e controle**. Florianópolis: S.N.Y. Gerges, 1992, 600 p.

GERRETSEN, E. **Alternative rating of impact sound insulation**. Delft, Netherlands - TNO Institute Of Applied Physics. In: INTER-NOISE 94, 8.,1994, Yokohama, Japan, p.1433-1438.

HAX, S. P. **Estudo do potencial dos resíduos de E.V.A. no isolamento de ruído de impacto nas edificações**. Santa Maria, 2002, 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Acoustic – rating of sound insulation in buildings elements – Part 2 : Impact Sound insulation. **ISO 717-2**. Genève, 1996. 14 p.

_____. Acoustics – measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part VI : Laboratory measurements of impact sound insulation of floor. **ISO 140/VI**. Genève, 1978, 6 p.

_____. Acoustics – measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part VIII : Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor covering on a standard floor. **ISO 140/VIII**. Genève, 1978, 8 p.

JAGENÄS, A., KROPP, W. **Sound insulation of Parquet floors** Gothenburg, Sweden – Department of Applied Acoustics, Chalmers University of Technology. In: INTER-NOISE 94, 8., 1994, Yokohama, Japan, p.1449-14526

LEODORO, M.P. – Nova Escola Abril Online, Ed. 03/99. Disponível em: <[http:// www.novaescola.abril.com.br](http://www.novaescola.abril.com.br)>– Acesso em 28Ago 2007.

DE MARCO, C.S. **Elementos de Acústica Arquitetônica** – São Paulo: Livraria Nobel S.A. 1990.

MEDEIROS, P.R.S. **Forros em Gesso Acartonado: Combinações de Utilização e Desempenho como Isolantes Acústicos para Ruído de Impacto**. Santa Maria, 2003, 199 f. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Maria – RS, 2003.

MÉNDEZ, A.; STORNINI, A. J.; SALAZAR, E. B. et al. – **Acustica arquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1995, 238 p.

PAIXÃO, D. – **Instrumentos e normas técnicas para ensaios acústicos**. Santa Maria 2004 – Universidade Federal de Santa Maria – RS.

PUJOLLE, J. – **La Pratique de L'isolatio Acoustique des Batiments**. Paris: Editions du Moniteur, 1978, 573 p.

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

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

SOUZA, L. et al. – **BÊ-A-BÀ da Acústica Arquitetônica**. Bauru, SP, 2003 – Câmara Brasileira do Livro, SP.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses**. 6 ed. Revista e ampliada. Santa Maria: UFSM, 2006. 67 p.

WAKI, T., JIN, R. **The presente situation and the points have to be improved of the floor impact sound insulation property of floor finish materials both in China and Japan**. Osaka,

Japan – General Building Research Corporation. Beijing, China – China Building Technology Development Centre. In: INTER-NOISE 94, 8., 1994, Yokohama, Japan, p.1453-1456

WARNOCK, A.C.C. **Effect of floor size on impact sound levels**. Ottawa, Canada – National Research Council Canada. In: INTER-NOISE 94, 8., 1994, Yokohama, Japan, p.1427-1432

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fichas para ensaio de Ruído de Impacto

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 1 – Laje de entre-piso		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:	Espessura: 12,0cm	
	Dimensões / Área de teste:		x
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 20°C	Umidade relativa: 70%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/out/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln_t	Ln
100	80,0	74,1	81,3
125	76,9	69,1	76,3
160	78,1	70,4	77,5
200	80,6	71,7	78,8
250	79,8	71,6	78,8
315	84,5	76,2	83,3
400	85,5	77,4	84,5
500	89,1	80,7	87,8
630	83,8	75,7	82,8
800	79,8	71,7	78,8
1000	78,7	71,1	78,2
1250	71,7	64,2	71,3
1600	68,2	61,2	68,3
2000	60,6	54,1	61,2
2500	56,0	50,0	57,2
3150	52,8	47,3	54,4
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 2 – Laje de entre-piso + Porcelanato		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 17,0cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 20°C	Umidade relativa: 70%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/out/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	83,1	78,2	85,4
125	72,7	65,0	72,1
160	76,8	69,1	76,2
200	78,4	71,1	78,3
250	74,9	67,0	74,1
315	78,9	70,9	78,1
400	78,2	70,2	77,3
500	74,9	66,7	73,8
630	75,2	67,4	74,5
800	73,1	66,9	74,0
1000	69,6	62,0	69,1
1250	68,4	61,0	68,1
1600	64,3	57,5	64,7
2000	54,8	48,2	55,3
2500	46,0	40,0	47,1
3150	39,9	34,4	41,5
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 3 – Laje de entre-piso + Lã de vidro + Porcelanato		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 18,5cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 20°C	Umidade relativa: 70%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/out/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	62,4	57,5	64,7
125	55,0	47,3	54,4
160	50,4	42,7	49,8
200	54,7	47,4	54,6
250	58,7	50,5	57,6
315	57,1	49,1	56,3
400	54,9	46,9	54,0
500	46,7	38,5	45,6
630	46,5	38,4	45,5
800	44,5	38,3	45,4
1000	45,4	37,8	44,9
1250	44,2	36,8	43,9
1600	35,8	29,0	36,2
2000	31,1	24,5	31,6
2500	24,2	18,2	25,3
3150	17,0	11,5	18,6
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 4 – Laje de entre-piso + Ruberflex + Porcelanato		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 17,8cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 20°C	Umidade relativa: 70%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/out/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	66,2	60,4	67,6
125	60,5	53,1	60,3
160	68,2	59,9	67,0
200	71,4	63,4	70,5
250	74,7	66,6	73,7
315	70,0	61,7	68,9
400	65,2	57,5	64,6
500	62,5	54,3	61,4
630	61,4	53,3	60,4
800	60,3	52,4	59,5
1000	58,5	50,8	57,9
1250	57,3	49,9	57,0
1600	51,0	44,1	51,3
2000	42,3	36,0	43,1
2500	31,8	25,8	33,0
3150	27,7	22,2	29,3
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 5 – Laje de entre-piso + Densiflex + Porcelanato		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 17,4cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 21°C	Umidade relativa: 70%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/out/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	65,2	59,4	66,6
125	62,0	54,6	61,8
160	68,8	60,5	67,6
200	76,5	68,5	75,6
250	74,5	66,4	73,5
315	73,9	65,6	72,8
400	69,0	61,3	68,4
500	65,1	56,9	64,0
630	64,5	56,0	63,1
800	63,0	55,1	62,2
1000	60,4	52,7	59,8
1250	60,9	53,5	60,6
1600	56,5	49,6	56,8
2000	43,7	37,4	44,5
2500	36,5	30,5	37,7
3150	29,7	24,2	31,3
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 6 – Laje de entre-piso + Isopor VI + Porcelanato		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:	Espessura: 19,5cm	
	Dimensões / Área de teste:		x
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 21°C	Umidade relativa: 70%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/out/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	68,7	62,9	70,1
125	62,1	54,7	61,9
160	68,5	60,2	67,3
200	65,5	57,5	64,6
250	74,5	66,4	73,5
315	67,3	59,0	66,2
400	65,6	57,9	65,0
500	60,5	52,3	59,4
630	59,9	51,8	59,9
800	59,2	51,3	58,4
1000	59,4	51,7	58,8
1250	59,7	52,3	59,4
1600	50,7	43,8	51,0
2000	45,9	39,6	46,7
2500	35,7	29,7	36,9
3150	28,1	22,6	29,7
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 7 – Laje de entre-piso + Isofoan + Porcelanato		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 19,5cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 21°C	Umidade relativa: 70%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/out/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	68,0	62,2	69,4
125	60,4	53,0	60,2
160	71,6	63,3	70,4
200	68,0	60,0	67,1
250	76,6	68,5	75,6
315	68,7	60,4	67,6
400	67,8	60,1	67,2
500	62,0	53,8	60,9
630	61,7	53,9	60,7
800	61,3	53,8	60,5
1000	61,1	53,4	60,5
1250	61,0	53,6	60,7
1600	50,6	43,7	50,9
2000	46,1	39,8	46,9
2500	38,2	32,2	39,4
3150	30,0	24,5	31,6
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 8 – Laje de entre-piso + Polietileno + Porcelanato		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 17,5cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 21°C	Umidade relativa: 70%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/out/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	72,4	65,0	72,1
125	71,1	61,7	68,7
160	68,2	59,9	66,9
200	68,5	59,2	66,2
250	79,4	69,6	76,6
315	71,8	61,2	68,3
400	70,9	60,8	67,9
500	63,6	53,2	60,2
630	75,6	65,5	72,6
800	58,9	48,8	55,8
1000	62,0	52,4	59,4
1250	62,9	53,2	60,2
1600	51,6	42,9	49,9
2000	43,0	34,4	41,5
2500	33,7	25,5	32,5
3150	28,0	19,9	27,0
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 9 – Laje de entre-piso + Laminado de Madeira		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:	Espessura: 16,7cm	
	Dimensões / Área de teste:		x
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 24,9°C	Umidade relativa: 67%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/dez/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	79,0	74,1	81,3
125	80,3	72,6	79,7
160	84,7	77,0	84,1
200	83,3	76,0	83,2
250	82,5	74,6	81,7
315	84,2	76,2	83,4
400	77,1	69,1	76,2
500	71,6	63,4	70,5
630	64,5	56,7	63,8
800	59,5	53,3	60,4
1000	54,5	46,9	54,0
1250	49,1	41,7	48,8
1600	44,0	37,2	44,4
2000	39,8	33,2	40,3
2500	36,2	30,2	37,3
3150	32,9	27,4	34,5
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RÚIDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 10 – Laje de entre-piso + Lã de vidro + Laminado de Madeira		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 16,85cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 24,9°C	Umidade relativa: 67%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/dez/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Lnt	Ln
100	67,0	62,1	69,3
125	57,0	49,6	56,7
160	69,1	61,4	68,5
200	65,8	58,4	65,7
250	57,9	50,0	57,1
315	53,3	45,3	52,5
400	55,5	47,5	54,6
500	50,5	42,4	49,5
630	46,0	38,2	45,3
800	43,0	37,2	44,3
1000	40,2	32,6	39,1
1250	37,2	29,8	36,9
1600	36,6	29,8	37,0
2000	34,6	28,0	35,1
2500	33,7	27,7	34,8
3150	31,4	25,9	33,0
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 11 – Laje de entre-piso + Ruberflex + Laminado de Madeira		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 17,5cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 25°C	Umidade relativa: 67%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/dez/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	69,2	63,4	70,6
125	70,0	62,6	69,8
160	77,9	69,6	76,7
200	82,9	74,9	82,0
250	74,4	66,3	73,4
315	67,2	58,9	66,1
400	65,7	58,0	65,1
500	62,7	54,5	61,6
630	49,2	41,0	48,1
800	47,8	39,9	47,0
1000	41,0	33,3	40,4
1250	38,3	30,9	38,0
1600	36,8	29,9	37,1
2000	33,9	27,6	34,7
2500	31,8	25,8	33,0
3150	31,8	25,8	32,9
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 12 – Laje de entre-piso + Densiflex + Laminado de Madeira		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 17,1cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 25°C	Umidade relativa: 67%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/dez/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	68,2	62,4	69,6
125	65,5	58,3	65,3
160	84,8	76,5	83,6
200	81,6	73,6	80,7
250	74,4	66,3	73,4
315	67,0	58,7	65,9
400	66,0	58,3	65,4
500	61,4	53,2	60,3
630	49,6	41,4	48,5
800	48,0	40,1	47,2
1000	41,7	34,0	41,1
1250	38,9	31,5	38,6
1600	34,7	27,8	35,0
2000	31,6	25,3	32,4
2500	30,7	24,7	31,9
3150	27,8	22,3	29,4
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 13 – Laje de entre-piso + Isopor VI + Laminado de Madeira		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 19,2cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 25°C	Umidade relativa: 67%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/dez/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	61,4	55,6	62,8
125	62,9	55,5	62,7
160	79,6	71,3	78,4
200	78,5	70,5	77,6
250	69,5	61,5	68,6
315	61,3	53,0	60,2
400	66,5	58,8	65,9
500	58,3	50,1	57,2
630	46,9	38,7	45,8
800	47,3	39,4	46,5
1000	41,2	33,5	40,6
1250	37,9	30,5	37,6
1600	34,3	27,4	34,6
2000	30,4	24,1	31,2
2500	29,9	23,9	31,1
3150	27,6	22,1	29,2
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 14 – Laje de entre-piso + Isofoan + Laminado de Madeira		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 19,2cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 25°C	Umidade relativa: 67%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/dez/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	67,8	62,0	69,2
125	65,0	58,4	65,6
160	79,4	71,1	78,2
200	77,0	69,0	76,1
250	71,2	63,1	70,2
315	61,1	52,8	60,0
400	64,8	57,1	64,2
500	59,3	51,1	58,2
630	50,2	42,0	49,1
800	48,5	40,6	47,7
1000	39,9	32,2	39,3
1250	25,8	28,4	35,5
1600	33,3	26,4	33,6
2000	30,2	23,9	31,0
2500	26,5	20,5	27,7
3150	23,9	18,4	25,5
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

FICHA PARA ENSAIO DE RUÍDO DE IMPACTO

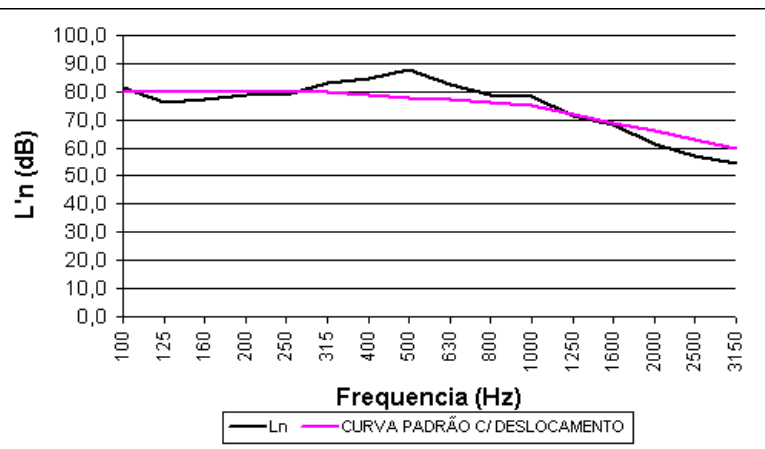
Dados do objeto de teste:	Descrição do objeto de teste: Amostra 15 – Laje de entre-piso + Polietileno + Laminado de Madeira		
	Dimensões modulares: 1,00m x 1,00m		
	Número de módulos:		Espessura: 17,2cm
	Dimensões / Área de teste:		x =
Dados ambientais:	Temperatura ambiente: 25°C	Umidade relativa: 67%	
Responsável pelo ensaio: Miguel Angelo Pedroso		Data: 05/dez/2006	
Dados do ensaio:			
Freq. (Hz)	L	Ln	Ln
100	65,7	58,3	65,4
125	73,6	64,2	71,2
160	83,7	75,4	82,4
200	82,4	73,1	80,1
250	74,0	64,3	71,3
315	64,3	53,7	60,8
400	69,0	58,9	66,0
500	63,0	52,6	59,6
630	58,0	48,3	55,4
800	57,1	47,0	54,0
1000	48,5	38,9	45,9
1250	44,7	35,0	42,0
1600	41,2	32,5	39,5
2000	38,3	29,7	36,8
2500	36,3	28,1	35,1
3150	33,8	25,7	32,8
INDEX			

OBSERVAÇÕES:

APÊNDICE B – Tratamento matemático segundo a ISO 717-2 e gráficos com perfil deslizante

Amostra 1 - Laje de entre-piso

FREQUENCIA	Ln
100	81,3
125	76,3
160	77,5
200	78,8
250	78,8
315	83,3
400	84,5
500	87,8
630	82,8
800	78,8
1000	78,2
1250	71,3
1600	68,3
2000	61,2
2500	57,2
3150	54,4
Incremento =	118
Diferença =	31,7
Obs.: Diferença Max <ou= 32	



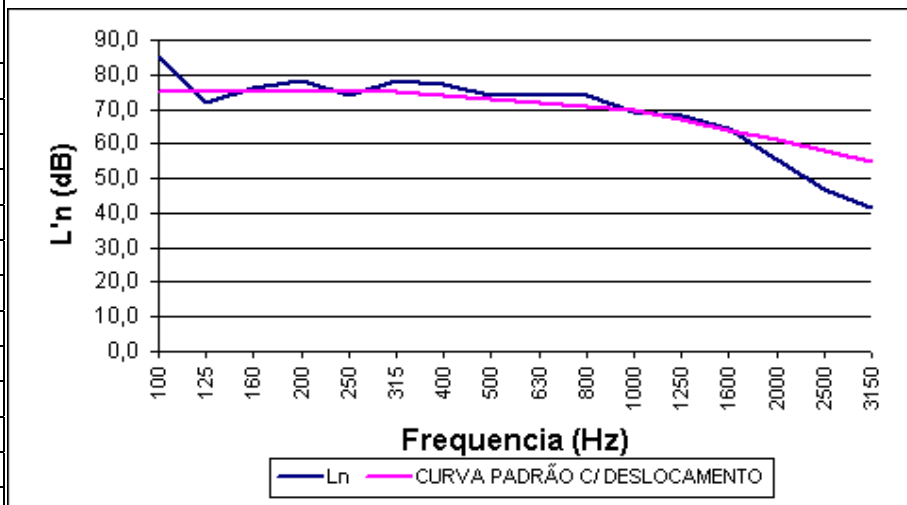
Rw =

78

Laje de 12 cm

Amostra 2 – Laje de entre-piso + Porcelanato

FREQUENCIA	Ln
100	85,4
125	72,1
160	76,2
200	78,3
250	74,1
315	78,1
400	77,3
500	73,8
630	74,5
800	74,0
1000	69,1
1250	68,1
1600	64,7
2000	55,3
2500	47,1
3150	41,5
Incremento =	113 <input type="text"/>
Diferença =	29,4
Obs.: Diferença Max <ou= 32	



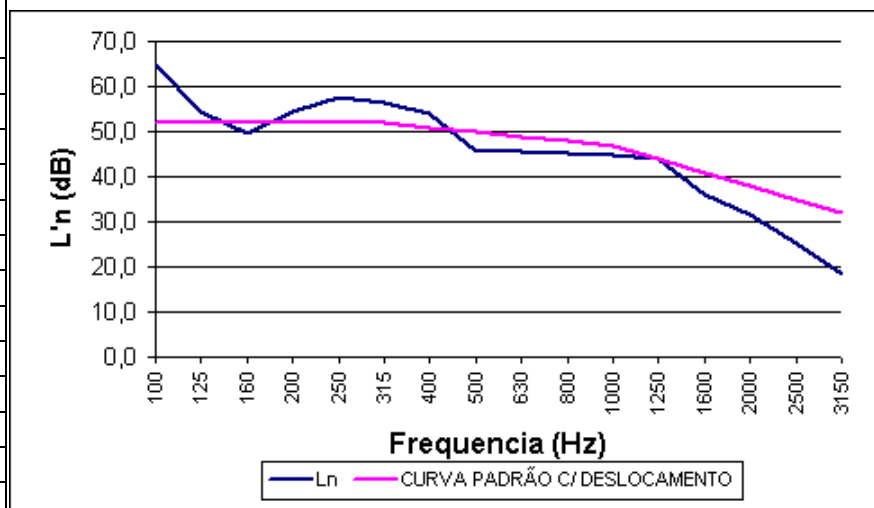
Rw =

73

Laje+porcelanato

Amostra 3 – Laje de entre-piso + Lã de vidro + Porcelanato

FREQUENCIA	Ln
100	64,7
125	54,4
160	49,8
200	54,6
250	57,6
315	56,3
400	54,0
500	45,6
630	45,5
800	45,4
1000	44,9
1250	43,9
1600	36,2
2000	31,6
2500	25,3
3150	18,6
Incremento =	90
Diferença =	30,6
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

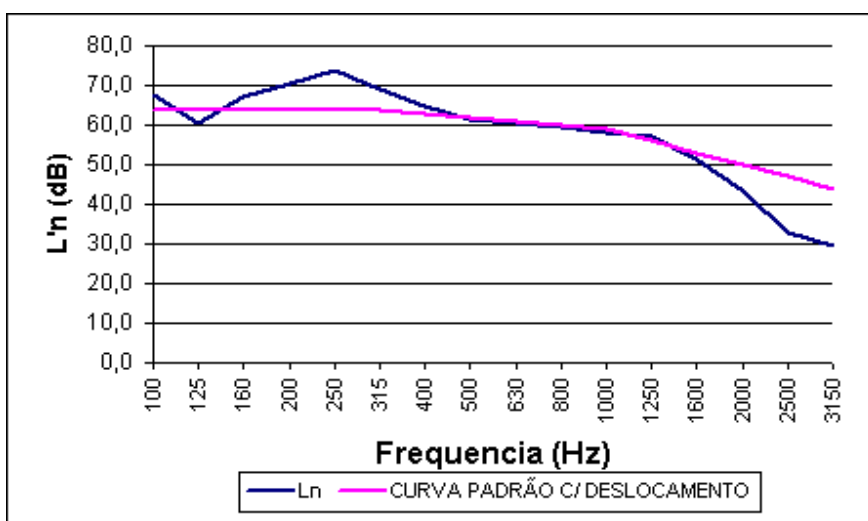


$$R_w = 50$$

Laje+lã de vidro+porcelanato

Amostra 4 – Laje de entre-piso + Ruberflex + Porcelanato

FREQUENCIA	Ln
100	67,6
125	60,3
160	67,0
200	70,5
250	73,7
315	68,9
400	64,6
500	61,4
630	60,4
800	59,5
1000	57,9
1250	57,0
1600	51,3
2000	43,1
2500	33,0
3150	29,3
Incremento =	102 <input type="text"/>
Diferença =	30,3
Obs.: Diferença Max <ou= 32	



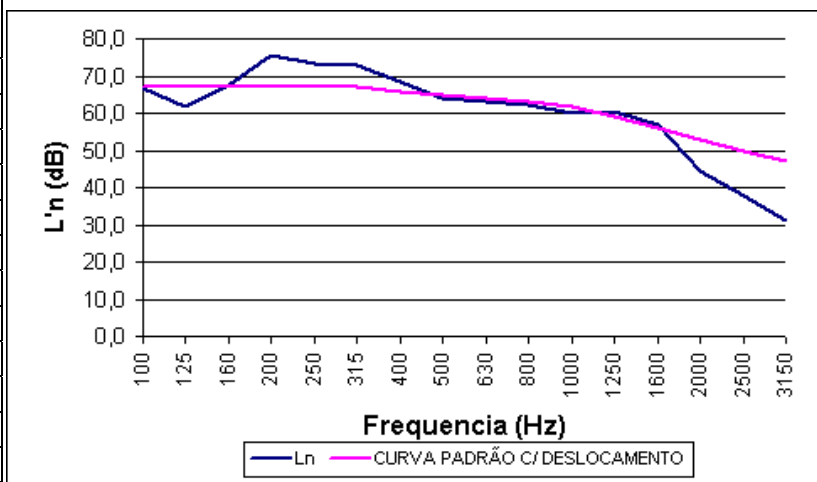
Rw =

62

Laje+ruberflex+porcelanato

Amostra 5 – Laje de entre-piso + Densiflex + Porcelanato

FREQUENCIA	Ln
100	66,6
125	61,8
160	67,6
200	75,6
250	73,5
315	72,8
400	68,4
500	64,0
630	63,1
800	62,2
1000	59,8
1250	60,6
1600	56,8
2000	44,5
2500	37,7
3150	31,3
Incremento =	105 <input type="text"/>
Diferença =	26,3
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

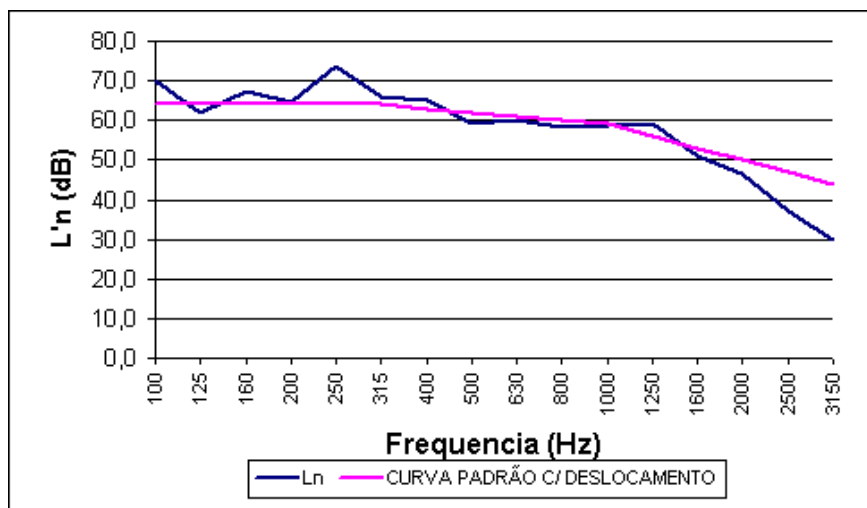


$$R_w = 65$$

Laje+densiflex+porcelanato

Amostra 6 – Laje de entre-piso + Isopor VI + Porcelanato

FREQUENCIA	Ln
100	70,1
125	61,9
160	67,3
200	64,6
250	73,5
315	66,2
400	65,0
500	59,4
630	59,9
800	58,4
1000	58,8
1250	59,4
1600	51,0
2000	46,7
2500	36,9
3150	29,7
Incremento =	102 <input type="text"/>
Diferença =	27,1
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

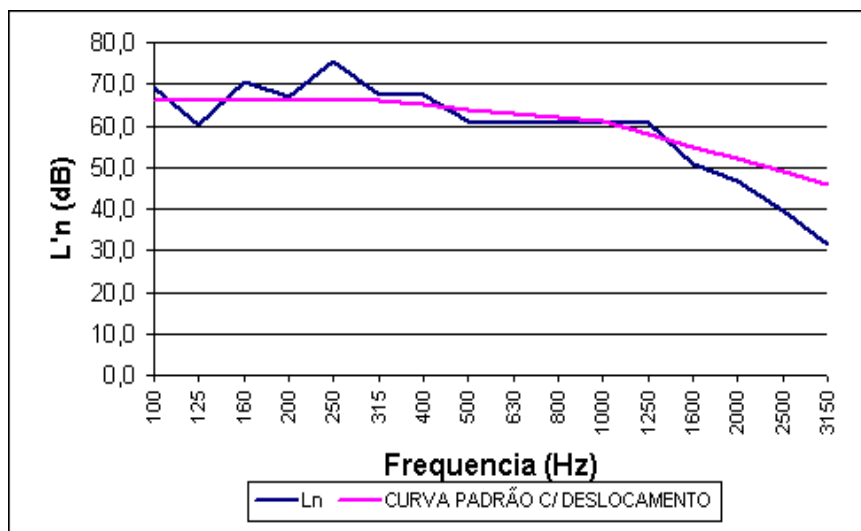


$$R_w = 62$$

Laje+Isopor VI+porcelanato

Amostra 7 – Laje de entre-piso + Isofoan + Porcelanato

FREQUENCIA	Ln
100	69,4
125	60,2
160	70,4
200	67,1
250	75,6
315	67,6
400	67,2
500	60,9
630	60,7
800	60,5
1000	60,5
1250	60,7
1600	50,9
2000	46,9
2500	39,4
3150	31,6
Incremento =	104 <input type="text"/>
Diferença =	25
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

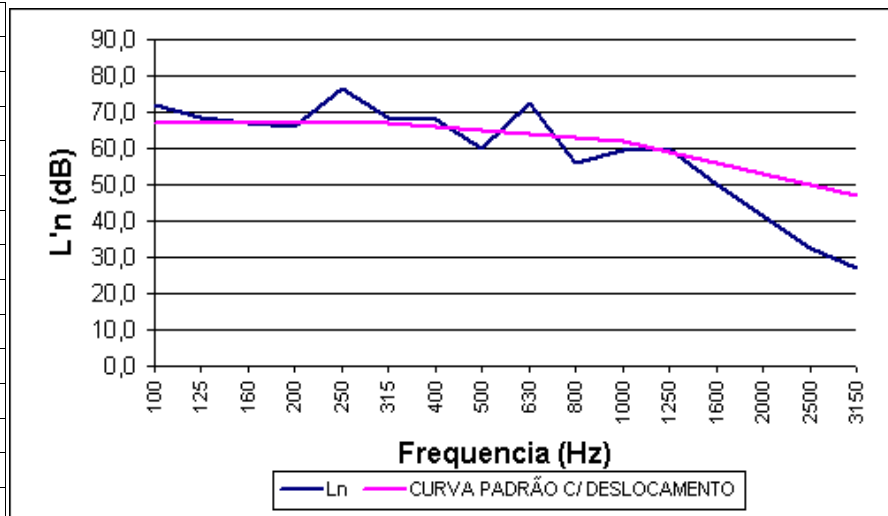


$$R_w = \mathbf{64}$$

Laje+Isofoan+porcelanato

Amostra 8 – Laje de entre-piso + Polietileno + Porcelanato

FREQUENCIA	Ln
100	72,1
125	68,7
160	66,9
200	66,2
250	76,6
315	68,3
400	67,9
500	60,2
630	72,6
800	55,8
1000	59,4
1250	60,2
1600	49,9
2000	41,5
2500	32,5
3150	27,0
Incremento =	105 <input type="text"/>
Diferença =	29,4
Obs.: Diferença Max <ou= 32	



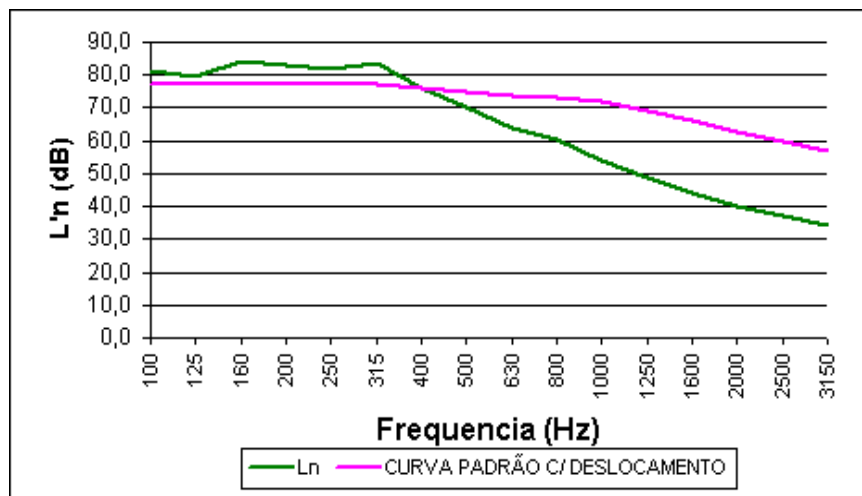
Rw =

65

Laje+polietileno+porcelanato

Amostra 9 – Laje de entre-piso + Laminado de madeira

FREQUENCIA	Ln
100	81,3
125	79,7
160	84,1
200	83,2
250	81,7
315	83,4
400	76,2
500	70,5
630	63,8
800	60,4
1000	54,0
1250	48,8
1600	44,4
2000	40,3
2500	37,3
3150	34,5
Incremento =	115 <input type="text"/>
Diferença =	31,6
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

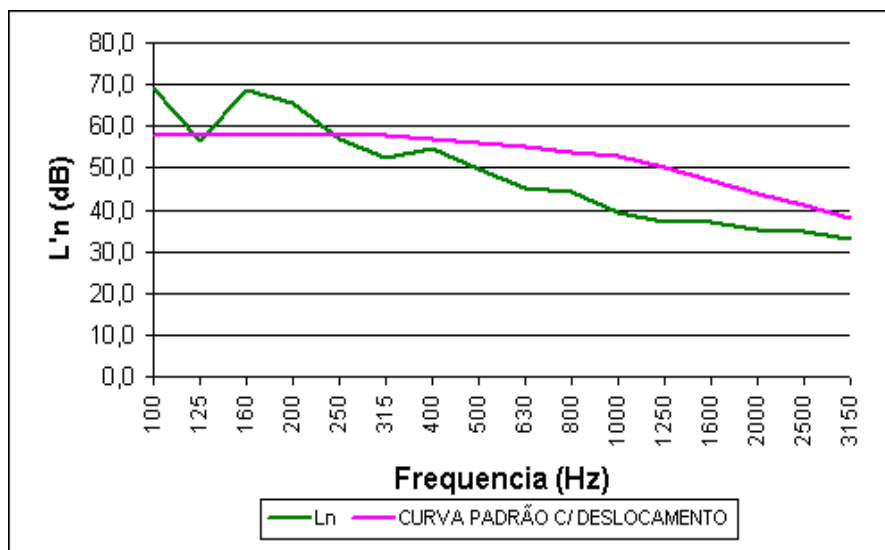


$$R_w = 75$$

Laje+Laminado de madeira

Amostra 10 – Laje de entre-piso + Lã de vidro +Laminado de madeira

FREQUENCIA	Ln
100	69,3
125	56,7
160	68,5
200	65,7
250	57,1
315	52,5
400	54,6
500	49,5
630	45,3
800	44,3
1000	39,1
1250	36,9
1600	37,0
2000	35,1
2500	34,8
3150	33,0
Incremento =	96
Diferença =	29,5
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

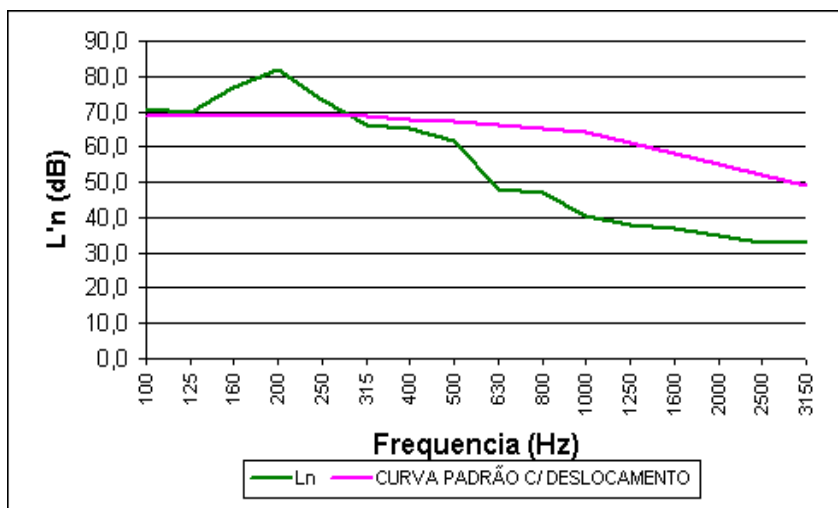


$$R_w = 56$$

Laje+lã de vidro+laminado de madeira

Amostra 11 – Laje de entre-piso + Ruberflex +Laminado de madeira

FREQUENCIA	Ln
100	70,6
125	69,8
160	76,7
200	82,0
250	73,4
315	66,1
400	65,1
500	61,6
630	48,1
800	47,0
1000	40,4
1250	38,0
1600	37,1
2000	34,7
2500	33,0
3150	32,9
Incremento =	107 <input type="text"/>
Diferença =	27,5
Obs.: Diferença Max <ou= 32	



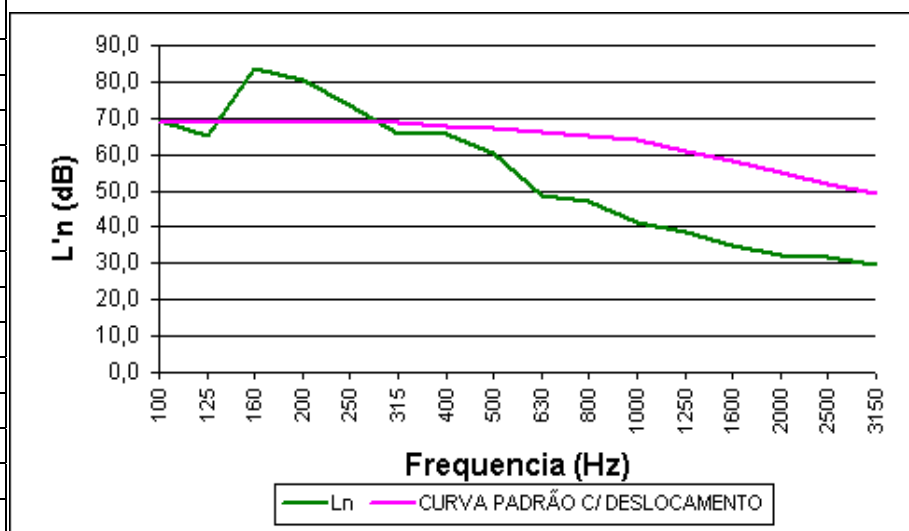
Rw =

67

Laje+ruberflex+laminado de madeira

Amostra 12 – Laje de entre-piso + Densiflex +Laminado de madeira

FREQUENCIA	Ln
100	69,6
125	65,3
160	83,6
200	80,7
250	73,4
315	65,9
400	65,4
500	60,3
630	48,5
800	47,2
1000	41,1
1250	38,6
1600	35,0
2000	32,4
2500	31,9
3150	29,4
Incremento =	107
Diferença =	31,3
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

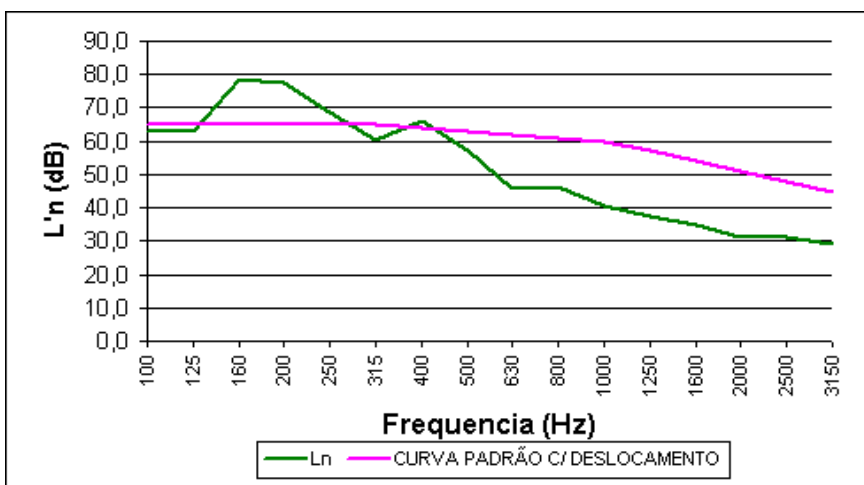


$$R_w = 67$$

Laje+densiflex+laminado de madeira

Amostra 13 – Laje de entre-piso + Isopor VI +Laminado de madeira

FREQUENCIA	Ln
100	62,8
125	62,7
160	78,4
200	77,6
250	68,6
315	60,2
400	65,9
500	57,2
630	45,8
800	46,5
1000	40,6
1250	37,6
1600	34,6
2000	31,2
2500	31,1
3150	29,2
Incremento =	103 <input type="text"/>
Diferença =	31,5
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

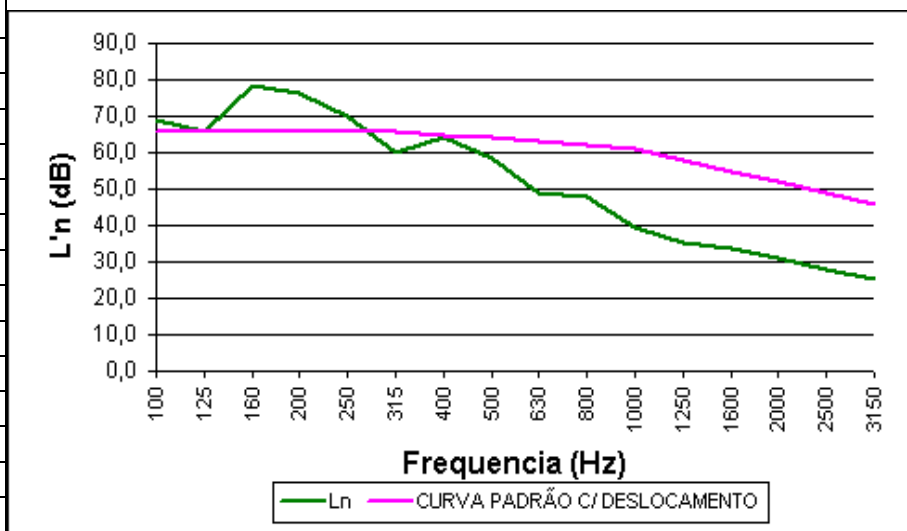


$$R_w = 63$$

Laje+Isopor VI+Laminado Madeira

Amostra 14 – Laje de entre-piso + Isofoan +Laminado de madeira

FREQUENCIA	Ln
100	69,2
125	65,6
160	78,2
200	76,1
250	70,2
315	60,0
400	64,2
500	58,2
630	49,1
800	47,7
1000	39,3
1250	35,5
1600	33,6
2000	31,0
2500	27,7
3150	25,5
Incremento =	104 <input type="text"/>
Diferença =	29,7
Obs.: Diferença Max <ou= 32	

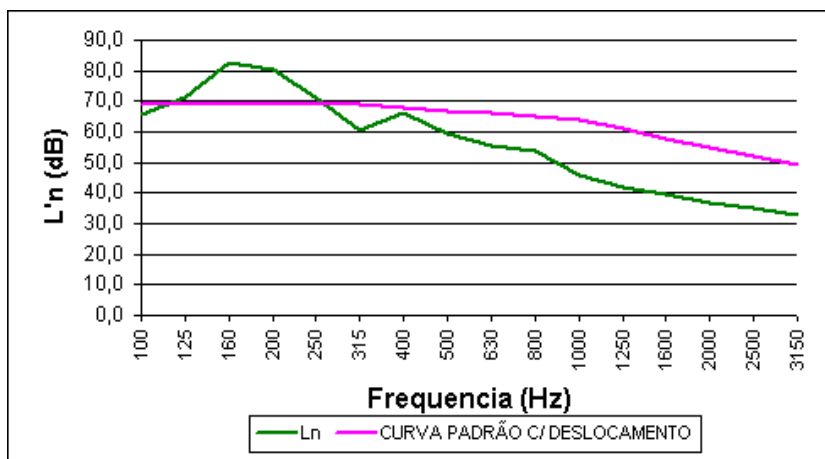


$$R_w = 64$$

Laje+Isofoan+laminado de madeira

Amostra 15 – Laje de entre-piso + Polietileno + Laminado de madeira

FREQUENCIA	Ln
100	65,4
125	71,2
160	82,4
200	80,1
250	71,3
315	60,8
400	66,0
500	59,6
630	55,4
800	54,0
1000	45,9
1250	42,0
1600	39,5
2000	36,8
2500	35,1
3150	32,8
Incremento =	107 <input type="text"/>
Diferença =	29
Obs.: Diferença Max <ou= 32	



$$R_w = 67$$

Laje+Polietileno+Laminado de madeira

APÊNDICE C – Tratamento matemático segundo a ISO 717-2 – Planilhas de cálculos

Amostra 1 - Laje de entre-piso

REQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	80	1,3
125	62	80	-3,7
160	62	80	-2,5
200	62	80	-1,2
250	62	80	-1,2
315	62	80	3,3
400	61	79	5,5
500	60	78	9,8
630	59	77	5,8
800	58	76	2,8
1000	57	75	3,2
1250	54	72	-0,7
1600	51	69	-0,7
2000	48	66	-4,8
2500	45	63	-5,8
3150	42	60	-5,6

INCREMENTO= 118 SOMA DOS POSITIVOS= 31,7

MÁXIMO POSITIVO= 9,8

Rw= 78

Amostra 2 - Laje de entre-piso+Porcelanato

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	75	10,4
125	62	75	-2,9
160	62	75	1,2
200	62	75	3,3
250	62	75	-0,9
315	62	75	3,1
400	61	74	3,3
500	60	73	0,8
630	59	72	2,5
800	58	71	3
1000	57	70	-0,9
1250	54	67	1,1
1600	51	64	0,7
2000	48	61	-5,7
2500	45	58	-10,9
3150	42	55	-13,5

INCREMENTO= 113 SOMA DOS POSITIVOS= 29,4
MÁXIMO POSITIVO= 10,4
Rw= 73

Amostra 3 - Laje de entre-piso+Lã de vidro+Porcelanato

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	52	12,7
125	62	52	2,4
160	62	52	-2,2
200	62	52	2,6
250	62	52	5,6
315	62	52	4,3
400	61	51	3
500	60	50	-4,4
630	59	49	-3,5
800	58	48	-2,6
1000	57	47	-2,1
1250	54	44	-0,1
1600	51	41	-4,8
2000	48	38	-6,4
2500	45	35	-9,7
3150	42	32	-13,4

INCREMENTO= 90 SOMA DOS POSITIVOS= 30,6
MÁXIMO POSITIVO= 12,7
Rw= 50

Amostra 4 - Laje de entre-piso+Ruberflex+Porcelanato

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	64	3,6
125	62	64	-3,7
160	62	64	3
200	62	64	6,5
250	62	64	9,7
315	62	64	4,9
400	61	63	1,6
500	60	62	-0,6
630	59	61	-0,6
800	58	60	-0,5
1000	57	59	-1,1
1250	54	56	1
1600	51	53	-1,7
2000	48	50	-6,9
2500	45	47	-14
3150	42	44	-14,7

INCREMENTO= 102 SOMA DOS POSITIVOS= 30,3
MÁXIMO POSITIVO= 9,7
Rw= 62

Amostra 5 - Laje de entre-piso+Densiflex+Porcelanato

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	67	-0,4
125	62	67	-5,2
160	62	67	0,6
200	62	67	8,6
250	62	67	6,5
315	62	67	5,8
400	61	66	2,4
500	60	65	-1
630	59	64	-0,9
800	58	63	-0,8
1000	57	62	-2,2
1250	54	59	1,6
1600	51	56	0,8
2000	48	53	-8,5
2500	45	50	-12,3
3150	42	47	-15,7

INCREMENTO= 105 SOMA DOS POSITIVOS= 26,3
MÁXIMO POSITIVO= 8,6
Rw= 65

Amostra 6 - Laje de entre-piso+Isopor VI+Porcelanato

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	64	6,1
125	62	64	-2,1
160	62	64	3,3
200	62	64	0,6
250	62	64	9,5
315	62	64	2,2
400	61	63	2
500	60	62	-2,6
630	59	61	-1,1
800	58	60	-1,6
1000	57	59	-0,2
1250	54	56	3,4
1600	51	53	-2
2000	48	50	-3,3
2500	45	47	-10,1
3150	42	44	-14,3

INCREMENTO= 102 SOMA DOS POSITIVOS= 27,1
MÁXIMO POSITIVO= 9,5
Rw= 62

Amostra 7 - Laje de entre-piso+Isofoan+Porcelanato

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	66	3,4
125	62	66	-5,8
160	62	66	4,4
200	62	66	1,1
250	62	66	9,6
315	62	66	1,6
400	61	65	2,2
500	60	64	-3,1
630	59	63	-2,3
800	58	62	-1,5
1000	57	61	-0,5
1250	54	58	2,7
1600	51	55	-4,1
2000	48	52	-5,1
2500	45	49	-9,6
3150	42	46	-14,4

INCREMENTO= 104 SOMA DOS POSITIVOS= 25
MÁXIMO POSITIVO= 9,6
Rw= 64

Amostra 8 - Laje de entre-piso+Polietileno+Porcelanato

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	67	5,1
125	62	67	1,7
160	62	67	-0,1
200	62	67	-0,8
250	62	67	9,6
315	62	67	1,3
400	61	66	1,9
500	60	65	-4,8
630	59	64	8,6
800	58	63	-7,2
1000	57	62	-2,6
1250	54	59	1,2
1600	51	56	-6,1
2000	48	53	-11,5
2500	45	50	-17,5
3150	42	47	-20

INCREMENTO= 105 SOMA DOS POSITIVOS= 29,4
MÁXIMO POSITIVO= 9,6
Rw= 65

Amostra 9 - Laje de entre-piso+Laminado de madeira

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	77	4,3
125	62	77	2,7
160	62	77	7,1
200	62	77	6,2
250	62	77	4,7
315	62	77	6,4
400	61	76	0,2
500	60	75	-4,5
630	59	74	-10,2
800	58	73	-12,6
1000	57	72	-18
1250	54	69	-20,2
1600	51	66	-21,6
2000	48	63	-22,7
2500	45	60	-22,7
3150	42	57	-22,5

INCREMENTO= 115 SOMA DOS POSITIVOS= 31,6
MÁXIMO POSITIVO= 7,1
Rw= 75

Amostra 10 - Laje de entre-piso+Lã de vidro+Laminado de madeira

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	58	11,3
125	62	58	-1,3
160	62	58	10,5
200	62	58	7,7
250	62	58	-0,9
315	62	58	-5,5
400	61	57	-2,4
500	60	56	-6,5
630	59	55	-9,7
800	58	54	-9,7
1000	57	53	-13,9
1250	54	50	-13,1
1600	51	47	-10
2000	48	44	-8,9
2500	45	41	-6,2
3150	42	38	-5

INCREMENTO= 96 SOMA DOS POSITIVOS= 29,5
MÁXIMO POSITIVO= 11,3
Rw= 56

Amostra 11 - Laje de entre-piso+Ruberflex+Laminado de madeira

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	69	1,6
125	62	69	0,8
160	62	69	7,7
200	62	69	13
250	62	69	4,4
315	62	69	-2,9
400	61	68	-2,9
500	60	67	-5,4
630	59	66	-17,9
800	58	65	-18
1000	57	64	-23,6
1250	54	61	-23
1600	51	58	-20,9
2000	48	55	-20,3
2500	45	52	-19
3150	42	49	-16,1

INCREMENTO= 107 SOMA DOS POSITIVOS= 27,5
MÁXIMO POSITIVO= 13
Rw= 67

Amostra 12 - Laje de entre-piso+Densiflex+Laminado de madeira

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	69	0,6
125	62	69	-3,7
160	62	69	14,6
200	62	69	11,7
250	62	69	4,4
315	62	69	-3,1
400	61	68	-2,6
500	60	67	-6,7
630	59	66	-17,5
800	58	65	-17,8
1000	57	64	-22,9
1250	54	61	-22,4
1600	51	58	-23
2000	48	55	-22,6
2500	45	52	-20,1
3150	42	49	-19,6

INCREMENTO= 107 SOMA DOS POSITIVOS= 31,3
MÁXIMO POSITIVO= 14,6
Rw= 67

Amostra 13 - Laje de entre-piso+Isopor VI+Laminado de madeira

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	65	-2,2
125	62	65	-2,3
160	62	65	13,4
200	62	65	12,6
250	62	65	3,6
315	62	65	-4,8
400	61	64	1,9
500	60	63	-5,8
630	59	62	-16,2
800	58	61	-14,5
1000	57	60	-19,4
1250	54	57	-19,4
1600	51	54	-19,4
2000	48	51	-19,8
2500	45	48	-16,9
3150	42	45	-15,8

INCREMENTO= 103 SOMA DOS POSITIVOS= 31,5
MÁXIMO POSITIVO= 13,4
Rw= 63

Amostra 14 - Laje de entre-piso+Isofoan+Laminado de madeira

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	66	3,2
125	62	66	-0,4
160	62	66	12,2
200	62	66	10,1
250	62	66	4,2
315	62	66	-6
400	61	65	-0,8
500	60	64	-5,8
630	59	63	-13,9
800	58	62	-14,3
1000	57	61	-21,7
1250	54	58	-22,5
1600	51	55	-21,4
2000	48	52	-21
2500	45	49	-21,3
3150	42	46	-20,5

INCREMENTO= 104 SOMA DOS POSITIVOS= 29,7
MÁXIMO POSITIVO= 12,2
Rw= 64

Amostra 15 - Laje de entre-piso+Polietileno+Laminado de madeira

FREQUENCIA	CURVA PADRÃO	CURVA PADRÃO C/ DESLOCAMENTO	DIFERENÇA
100	62	69	-3,6
125	62	69	2,2
160	62	69	13,4
200	62	69	11,1
250	62	69	2,3
315	62	69	-8,2
400	61	68	-2
500	60	67	-7,4
630	59	66	-10,6
800	58	65	-11
1000	57	64	-18,1
1250	54	61	-19
1600	51	58	-18,5
2000	48	55	-18,2
2500	45	52	-16,9
3150	42	49	-16,2

INCREMENTO= 107 SOMA DOS POSITIVOS= 29
MÁXIMO POSITIVO= 13,4
Rw= 67

APÊNDICE D – Tabela dos Ln encontrados nos ensaios

Porcelanato

Freq. (Hz)	Ln (dB)							
	AM 01	AM 02	AM 03	AM 04	AM 05	AM 06	AM 07	AM 08
100	81,3	85,4	64,7	67,6	66,6	70,1	69,4	72,1
125	76,3	72,1	54,4	60,3	61,8	61,9	60,2	68,7
160	77,5	76,2	49,8	67,0	67,6	67,3	70,4	66,9
200	78,8	78,3	54,6	70,5	75,6	64,6	67,1	66,2
250	78,8	74,1	57,6	73,7	73,5	73,5	75,6	76,6
315	83,3	78,1	56,3	68,9	72,8	66,2	67,6	68,3
400	84,5	77,3	54,0	64,6	68,4	65,0	67,2	67,9
500	87,8	73,8	45,6	61,4	64,0	59,4	60,9	60,2
630	82,8	74,5	45,5	60,4	63,1	59,9	60,7	72,6
800	78,8	74,0	45,4	59,5	62,2	58,4	60,5	55,8
1000	78,2	69,1	44,9	57,9	59,8	58,8	60,5	59,4
1250	71,3	68,1	43,9	57,0	60,6	59,4	60,7	60,2
1600	68,3	64,7	36,2	51,3	56,8	51,0	50,9	49,9
2000	61,2	55,3	31,6	43,1	44,5	46,7	46,9	41,5
2500	57,2	47,1	25,3	33,0	37,7	36,9	39,4	32,5
3150	54,4	41,5	18,6	29,3	31,3	29,7	31,6	27,0

AM 01 – Laje de entre piso

AM 02 – Laje de entre piso+porcelanato

AM 03 – Laje de entre piso+ Lã de vidro+porcelanato

AM 04 – Laje de entre piso+Ruberflex+porcelanato

AM 05 – Laje de entre piso+Densiflex+porcelanato

AM 06 – Laje de entre piso+Isopor VI+porcelanato

AM 07 – Laje de entre piso+Isofoan+porcelanato

AM 08 – Laje de entre piso+Polietileno+porcelanato

Laminado de madeira

Freq. (Hz)	Ln (dB)							
	AM 01	AM 09	AM 10	AM 11	AM 12	AM 13	AM 14	AM 15
100	81,3	81,3	69,3	70,6	69,6	62,8	69,2	65,4
125	76,3	79,7	56,7	69,8	65,3	62,7	65,6	71,2
160	77,5	84,1	68,5	76,7	83,6	78,4	78,2	82,4
200	78,8	83,2	65,7	82,0	80,7	77,6	76,1	80,1
250	78,8	81,7	57,1	73,4	73,4	68,6	70,2	71,3
315	83,3	83,4	52,5	66,1	65,9	60,2	60,0	60,8
400	84,5	76,2	54,6	65,1	65,4	65,9	64,2	66,0
500	87,8	70,5	49,5	61,6	60,3	57,2	58,2	59,6
630	82,8	63,8	45,3	48,1	48,5	45,8	49,1	55,4
800	78,8	60,4	44,3	47,0	47,2	46,5	47,7	54,0
1000	78,2	54,0	39,1	40,4	41,1	40,6	39,3	45,9
1250	71,3	48,8	36,9	38,0	38,6	37,6	35,5	42,0
1600	68,3	44,4	37,0	37,1	35,0	34,6	33,6	39,5
2000	61,2	40,3	35,1	34,7	32,4	31,2	31,0	36,8
2500	57,2	37,3	34,8	33,0	31,9	31,1	27,7	35,1
3150	54,4	34,5	33,0	32,9	29,4	29,2	25,5	32,8

AM 01 – Laje de entre piso

AM 09 – Laje de entre piso+laminado de madeira

AM 10 – Laje de entre piso+ Lã de vidro+ laminado de madeira

AM 11 – Laje de entre piso+Ruberflex+ laminado de madeira

AM 12 – Laje de entre piso+Densiflex+ laminado de madeira

AM 13 – Laje de entre piso+Isopor VI+ laminado de madeira

AM 14 – Laje de entre piso+Isofoan+ laminado de madeira

AM 15 – Laje de entre piso+Polietileno+ laminado de madeira