

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Carlos Henrique Parise

**DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE PISOS
QUANTO AO RUÍDO DE IMPACTO: ANÁLISE DE
SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS**

Porto Alegre
junho 2018

CARLOS HENRIQUE PARISE

**DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE PISOS
QUANTO AO RUÍDO DE IMPACTO: ANÁLISE DE
SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Luciani Somensi Lorenzi

Porto Alegre
junho 2018

CARLOS HENRIQUE PARISE

**DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE PISOS
QUANTO AO RUÍDO DE IMPACTO: ANÁLISE DE
SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.

Porto Alegre, junho de 2018

Profa. Luciani Somensi Lorenzi
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)
Dra. em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof Juan Pablo Raggio Quintas (UFRGS)
Dr. em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof Cristiane Sardin Padilha de Oliveira (UFRGS)
Dra. em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, meu irmão,
meus amigos e colegas que me apoiaram
e que fizeram desta conquista uma realidade.

AGRADECIMENTOS

Deixo, primeiramente, meu agradecimento à Profa. Dra. Luciani Somensi Lorenzi, orientadora deste trabalho, pelo conhecimento repassado, pelo incentivo e pela amizade formada ao longo destes dois semestres.

Agradeço também à Profa. Dra. Cristiane Sardin Padilha por prontamente se interessar e se disponibilizar para ser relatora deste trabalho.

Agradeço a empresa parceira, nas figuras do diretor técnico e do coordenador da qualidade, que além de fornecer o suporte necessário para a pesquisa, também estimulou seu desenvolvimento e se interessou pelos resultados obtidos.

Agradeço eternamente aos meus pais, que muitas vezes abdicaram dos seus sonhos e do seu conforto, por me proporcionarem uma educação de qualidade e garantirem condições para que eu pudesse me dedicar ao curso.

Agradeço ao meu irmão pelo acolhimento sempre que me senti desamparado.

Por fim, agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Escola de Engenharia por terem, não só oferecido um ensino de alto nível, como, também, proporcionado um crescimento pessoal imensurável.

As viagens são os viajantes.
O que vemos não é o que vemos,
senão o que somos.

Fernando Pessoa

RESUMO

O desempenho acústico do sistema de piso em relação aos ruídos de impacto continua sendo um tema bastante discutido no meio acadêmico e, frequentemente, gera dúvidas e discussões entre especialistas da área. Dada a necessidade de soluções e de acesso a informações acerca das mesmas no atual mercado, o campo de estudo da acústica de ruídos de impacto tem uma demanda considerável a ser suprida, não apenas na pesquisa e desenvolvimento de soluções alternativas para atendimento dos requisitos e critérios da NBR 15.575:2013 – “*Edificações Habitacionais – Desempenho*”, mas também na busca por sistemas que atendam níveis superiores de desempenho. O objetivo desse Trabalho de Conclusão de curso é revisar os conceitos referentes à acústica, ao ruído de impacto, e ao isolamento do mesmo. Ainda, apresentar soluções construtivas para melhoria no isolamento, especificando e detalhando a que melhor atenda aos critérios da NBR 15.575:2013.

ABSTRACT

The acoustic performance of flooring systems in regard to impact sound continues to be a widely discussed topic in academia, and often subject of uncertainty among experts. Given the desire for supplementary problem-guided solutions in the current market, the field has a high demand not only for further research toward alternatives to comply with the acoustic performance requirements for impact sound as established by the NBR 15.575:2013 – "Edificações Habitacionais – Desempenho", but also for means to accomplish higher levels of quality. The goal of this term paper was to review the concepts of acoustics, impact sound, including alternatives for its insulation, and finally propose the suitable strategies to ensure compliance with the criteria of NBR 15.575:2013.

Key-words: NBR 15.575:2013; Acoustic Performance of Floors; Floating Floor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Banda audível	25
Figura 2 - Esquema de transmissão de som de sistema absorvedor	30
Figura 3 - Coeficiente de absorção para diferentes tipos de materiais em relação a frequência de incidência da onda	30
Figura 4 - Esquema de transmissão de som de sistema refletor	31
Figura 5 - Metodologia de avaliação de desempenho	34
Figura 6 - Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos	36
Figura 7 - Curvas de igual sensação sonora - isofônicas.....	38
Figura 8 - Curvas de Ponderação A, B, C e D.....	39
Figura 9 - Curva de referência para sons aéreos, em um 1/3 de bandas de oitava	44
Figura 10 - Transmissão do som em laboratório à esquerda; Transmissão do som in loco a direita	46
Figura 11 - Curva de referência para sons de impacto, em 1/3 de banda.....	47
Figura 12 - Curvas de espectro de Ruído Rosa e de Ruído de Tráfego Rodoviário.....	49
Figura 13 – Propagação de ruídos de impacto em edifícios	50
Figura 14 - Transmissão dos Ruídos de Impacto	51
Figura 15 - Curva nível de pressão sonora de impacto padronizado para um sistema de piso sem revestimento	52
Figura 16 - Fator de transmissão de um sistema para um espectro de frequências de excitação	54
Figura 17 - Isolamento de ruído de impacto para tipologia de lajes.....	56
Figura 18 - Curva nível de som de impacto padronizado para um sistema de piso com revestimento/piso flutuante	57
Figura 19 - Esquema de forro falso	57
Figura 20 - Ilustração do revestimento final e a fina camada resiliente	58
Figura 21 - Diferença entre a amplitude da força no piso rígido e no piso flexível.....	59
Figura 22 - Valores de redução do ruído de impacto ponderado.....	60
Figura 23 - Esquema da composição do piso flutuante	62
Figura 24 - Gráfico para obtenção da redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto	68
Figura 25 - Etapas do trabalho.....	71
Figura 26 - Planta de situação do empreendimento.....	71
Figura 27 - Planta baixa da frente do prédio até a junta de dilatação	72
Figura 28 – Planta baixa da frente da junta de dilatação até os fundos do prédio.....	73
Figura 29 - Detalhe com a espessura da laje	74

Figura 30 - Planta arquitetônica, planta baixa de modulação e planta estrutural dos apartamentos de final 03, respectivamente.....	76
Figura 31 - Planta arquitetônica, planta baixa de modulação e planta estrutural dos apartamentos de final 04, respectivamente.....	76
Figura 32 - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado calculado para diferentes tipologias	79
Figura 33 – Detalhe da manta de poliéster com película de polietileno.....	94
Figura 34 – Cômodos das unidades onde está prevista a colocação de manta acústica	95
Figura 35 – Detalhe de projeto com a manta e Representação 3D do encontro da manta acústica	96
Figura 36 - Primeira página da instrução de trabalho.....	97
Figura 37 – Esquema 3D do tratamento de dessolidarização	98
Figura 38 - Ficha de verificação de serviço.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Bandas de terços de oitava por frequência central	27
Quadro 2 - Níveis de desempenho para sistemas de piso.....	37
Quadro 3 - Termo de adaptação em função do tipo de fonte sonora.....	48
Quadro 4 - Classificação das tipologias de sistemas de isolamento de ruído de impacto	56
Quadro 5 - Classificação das tipologias de sistemas de isolamento de ruído de impacto	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de redução ponderada do nível de pressão sonora para materiais elásticos de revestimento	61
Tabela 2 - Nível de pressão sonora de impacto padronizado do pavimento de referência.....	75
Tabela 3 - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado calculado	78
Tabela 4 - Especificações das mantas PE-10 e PE-5.....	83
Tabela 5 - Especificações da manta PET-8	84
Tabela 6 - Especificações da manta PET-5	85
Tabela 7 - Especificações da manta PET-8	85
Tabela 8 - Especificações das PE-10 e PE-5	86
Tabela 9 - Especificações da manta PP-2.....	86
Tabela 10 - Especificações da manta PEX	87
Tabela 11 - Especificações da manta de SRB	87
Tabela 12 - Especificações das mantas PEBD-10 e PEBD-5.....	88
Tabela 13 - Especificações das mantas EE-10 e EE-5	88
Tabela 14 - Especificações da VID-2.8	89
Tabela 15 - Especificações da manta ROC-15	89
Tabela 16 - Espessura e armadura do contrapiso conforme deformação do contrapiso.....	90
Tabela 17 – Valores de isolamento calculados para um contrapiso armado de 5 cm	91
Tabela 18 - Apresentação dos valores calculados para um contrapiso armado de 5 mm e uma laje homogênea de concreto armado de 12 cm	92
Tabela 19 - Manta especificada PET-5 do fabricante C.....	94
Tabela 20 - Comparação entre os valores fornecidos pelos fabricantes e os valores calculados	101
Tabela 21 - Apresentação dos valores informados pelos fabricantes para um contrapiso armado de 5 cm	103

LISTA DE SÍMBOLOS

T – período (s)

f – frequência (Hz)

f_o – frequência central da banda (Hz)

n – número inteiro

λ – comprimento de onda (m)

c – velocidade de propagação do som no meio (m/s)

W_1 – potência sonora no local de incidência (W)

W_2 – potência sonora no local de recepção (W)

z – impedância acústica ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$)

ρ – densidade do meio de propagação (kg/m^3)

E_{abs} – energia total absorvida pela parede ou energia transformada em calor (J)

E_{inc} – energia total que incide sobre a parede (J)

E_{ref} – energia total refletida pela parede (J)

NIS – nível de intensidade sonora (dB)

I – intensidade sonora medida (W/m^2)

I_0 – intensidade sonora de referência (W/m^2)

NPS – nível de pressão sonora (dB)

p_{ef} – pressão sonora eficaz medida (Pa)

p_0 – pressão sonora de referência (Pa)

L_j – nível de pressão sonora medido em cada ponto (dB)

L_{Aeq} – nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (dBA)

f_i – frequência de medição de determinada frequência

L_i – nível de pressão sonora para determinada frequência (dB)

C_i – correção da curva de ponderação A para determinada frequência (dB)

L_{sb} – nível de pressão sonora combinado da fonte do ruído de fundo (dB)

L_c – nível médio de pressão sonora com ruído de fundo corrigido (dB)

L_b – nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB)

T_R – tempo de reverberação do ambiente (s)

V – volume do cômodo (m^3);

S_i – área do material i (m^2);

α_i – coeficiente de absorção do material i;

R – índice de Redução Sonora (dB)

R_w – índice de Redução Sonora Ponderada (dB)

W_i – potência incidente no elemento (W)

W_t – potencia transmitida pelo elemento (W)

A_R – área total de absorção no compartimento receptor (m^2)

S – área de superfície do elemento de compartimentação (m^2)

L_1 – nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (dB)

L_2 – nível médio de pressão sonora no compartimento receptor (dB)

T_0 – tempo de reverberação referência (s)

T – tempo de reverberação do compartimento receptor (s)

D_n – diferença normalizada de nível (dB)

D_{nT} – diferença padronizada de nível (dB)

$D_{nT,w}$ – diferença padronizada de nível ponderada (dB)

L'_i – nível médio de pressão sonora de impacto no compartimento receptor considerando as transmissões marginais (dB)

L'_{nT} – nível de pressão sonora de impacto padronizada (dB)

$L'_{nT,w}$ – nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado (dB)

C – termo de adaptação de espectro de ruído rosa (dB)

C_{tr} – termo de adaptação de espectro de ruído de tráfego urbano (dB)

L_n – nível de pressão sonora de impacto normalizado (dB)

m' – densidade superficial do elemento estrutural (kg/m^2)

Ts – tempo de reverberação estrutural (s)

σ – eficiência da radiação sonora no elemento

$L_{n,w}$ – nível de pressão sonora normalizada ponderada obtido em laboratório (dB)

m'_o – densidade superficial de referência (kg/m^2)

f_0 – frequência de ressonância do sistema (Hz)

ξ_o – amortecimento interno

η – fator de perdas

A – área de contato da força aplicada (m^2)

E – módulo de elasticidade do material (kg/m.s^2)

ΔL_w – redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto padronizada (dB)

s' – rigidez dinâmica aparente do material resiliente (N/m³)

m'_1 – densidade superficial do sistema flutuante (kg/m²)

$f_{1,2}$ – frequência de corte do sistema de pisos flutuante (Hz)

f_1 – frequência de ressonância do sistema de contrapiso e material resiliente (Hz)

s'_t – rigidez dinâmica do material resiliente (N/m³)

s'_a – rigidez dinâmica do ar (N/m³)

s'_n – rigidez dinâmica de um dos componentes da camada resiliente (N/m³)

E_{din} – módulo de elasticidade dinâmico (N/m²)

d_0 – espessura da manta (mm)

$L_{n,r,0,w}$ – nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento referência (dB)

$L_{n,w,eq}$ – nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento calculado (dB)

K – Coeficiente de transmissão do ruído marginal, obtido na tabela abaixo (dB)

$L_{n,r,0}$ – nível de pressão sonora de impacto padronizado do pavimento referência (dB)

ΔL_{wfab} – redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto informada pelo fabricante (dB)

d – deformação da manta (mm)

ΔL_{wcalc} – redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto calculada pelo autor (dB)

LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BNH – Banco Nacional do Desenvolvimento

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEF – Caixa Econômica Federal

CIB – *Internal Council for Research and Innovation in Building and Construction*

ISO – International Organization for Standardization

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 QUESTÕES DE PESQUISA	19
1.2 OBJETIVOS DE PESQUISA	19
1.2.1 Objetivo principal	19
1.2.2 Objetivos secundários	19
1.3 HIPÓTESE	20
1.4 PREMISAS	20
1.5 DELIMITAÇÕES.....	20
1.6 LIMITAÇÕES	21
1.7 DELINEAMENTO.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 SOM E RUÍDO	23
2.2 CONFORTO ACÚSTICO.....	24
2.3 PROPRIEDADES	24
2.3.1 Período	24
2.3.2 Frequência	25
2.3.2.1 Banda Audível	25
2.3.2.2 Filtro de banda	26
2.3.2.3 Bandas de oitava e de 1n de oitava	26
2.3.3 Comprimento de Onda	27
2.4 PROPAGAÇÃO DE ONDAS SONORAS	28
2.4.1 Transmissibilidade	28
2.4.2 Impedância Acústica	28
2.4.3 Absorção Acústica	29
2.4.4 Reflexão Acústica	31
2.4.5 NIS - Nível de Intensidade Sonora	32
2.4.6 NPS - Nível de Pressão Sonora	32
2.5 NBR 15.575:2013 – PARTE 3 – DESEMPENHO ACÚSTICO	33
2.5.1 Um breve histórico do desempenho de edificações no brasil	33
2.5.2 Metodologia de Avaliação de Desempenho	34
2.5.3 Termos e definições segundo a NBR 15.575:2013	35
2.5.3.1 Gerais.....	35
2.5.3.2 Sistemas de pisos	36

2.5.4 Requisitos e critérios segundo a NBR 15.575:2013.....	37
2.6 MEDIÇÃO DE ONDAS SONORAS.....	37
2.6.1 Nível médio de pressão sonora	37
2.6.2 Nível de Pressão Sonora Ponderado	38
2.6.3 L_{Aeq} – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A	40
2.6.4 Correção do ruído de fundo.....	41
2.6.5 Ruído Rosa e Ruído Branco.....	41
2.6.6 Tempo de Reverberação	42
2.6.7 R_w – Índice de Redução Sonora Ponderado	43
2.6.8 $D_{nT, w}$ – Diferença Padronizada de Nível Ponderada.....	45
2.6.9 $L'_{nT, w}$ – Nível de Pressão Sonora de Impacto Padrão Ponderado.....	45
2.6.10 Termos de adaptação de espectros sonoros.....	47
2.7 RUÍDO DE IMPACTO	49
2.7.1 Transmissão	50
2.7.2 Isolamento – Lajes sem revestimento	52
2.7.2.1 Região controlada pela rigidez	53
2.7.2.2 Região controlada pelo amortecimento interno.....	54
2.7.2.3 Região controlada pela massa.....	55
2.7.3 Isolamento – Lajes com revestimento	55
2.7.3.1 Isolamento através de forros falsos	57
2.7.3.2 Isolamento através de revestimentos elásticos/resilientes	58
2.7.3.3 Isolamento através de piso flutuante	62
2.7.3.4 Isolamento através do sistema duplo flutuante.....	69
3 METODO	70
3.1 ETAPAS DA ANÁLISE	70
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO DE ANÁLISE	71
4 ANÁLISE DE PROJETO E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	74
4.1 AVALIAÇÃO DO PROJETO ATUAL.....	74
4.1.1 Plantas do dormitório crítico - Apartamento final 03.....	76
4.1.2 Plantas do dormitório crítico – Apartamento final 04	76
4.1.3 $L'_{nT, w}$ – Cálculo da estimativa	77
4.1.3.1 Características dos materiais	77
4.1.3.2 Dimensões dos cômodos	77
4.1.3.3 Resultados.....	78
4.2 ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO	79

4.2.1 Tipologia de laje.....	79
4.2.2 Espessura de laje.....	79
4.2.3 Forro falso	80
4.2.4 Revestimento flexível.....	80
4.2.5 Contrapiso menos rígido	80
4.2.6 Piso flutuante	81
4.3 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES	81
4.3.1 Camada resiliente	81
4.3.1.1 Fabricante A – Mantas PE-10 e PE-5	83
4.3.1.2 Fabricante B – Manta PET-8	84
4.3.1.3 Fabricante C – Manta PET-5	84
4.3.1.4 Fabricante D – Manta PET-8.....	85
4.3.1.5 Fabricante D – Mantas PE-10 e PE-5	86
4.3.1.6 Fabricante D – Manta PP-2	86
4.3.1.7 Fabricante E – Manta PEX	86
4.3.1.8 Fabricante F – Manta SRB	87
4.3.1.9 Fabricante G – Mantas PEBD-10 e PEBD-5.....	88
4.3.1.10 Fabricante G – Mantas EE-10 e EE-5	88
4.3.1.11 Fabricante H – VID-2.8	89
4.3.1.12 Fabricante H – ROC-15	89
4.3.2 Camada Rígida	90
4.4 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO DAS MANTAS.....	91
4.5 ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL RESILIENTE	93
5 PROJETO E PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO.....	95
5.1 PROJETOS.....	95
5.2 INSTRUÇÃO DE TRABALHO	96
5.3 FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO	98
6 CONCLUSÕES.....	100
6.1 SINTESE DA ESCOLHA	100
6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	104
REFERÊNCIAS	105
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO	112
APÊNDICE B – PROJETO E DETALHAMENTO	136

APÊNDICE C – INSTRUÇÃO DE TRABALHO E FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO	139
---	------------

1 INTRODUÇÃO

A publicação da NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho foi um marco na construção civil brasileira, tendo a mesma provocado mudanças e debates ao longo de toda a cadeia industrial da construção civil: fornecedores, incorporadoras, construtoras, consultores e prestadores de serviço. Dentre as várias diretrizes contidas na referida norma uma, em especial, tem causado alterações significativas em projetos, métodos construtivos e especificações de materiais: os requisitos e critérios de desempenho acústico descritos na norma, que descrevem e delimitam os níveis de desempenho mínimos, intermediários e superiores para os diversos tipos de sistemas construtivos e seus componentes.

O ruído, caracterizado por Costa (2003) como sons indesejáveis, aos quais perturbam a audição dos demais sons e nos prejudicam na execução das tarefas do cotidiano, é apontado pelo mesmo autor como causa de diversas patologias fisiológicas e fisiopsicológicas nos seres humanos. Assim, visando balizar o desempenho de diferentes sistemas construtivos já existentes e viabilizar o surgimento de novos sistemas e novas tecnologias, a NBR 15.575:2013 almeja, com o estabelecimento de requisitos e critérios a garantia de entrega de um produto habitável.

Embora já se tenham passados dez anos da publicação da primeira versão da Norma de Desempenho Brasileira, muitas construtoras, principalmente as emergentes e de pequeno porte, ainda encontram dificuldades no atendimento dos requisitos de desempenho e ainda não assimilaram a dimensão da responsabilidade e riscos que assumem ao não atingir ao menos desempenho mínimo. Em virtude disso, o presente trabalho aborda de maneira simples, mas fundamentada, o desempenho acústico de sistemas de piso e os fatores que alteram sua performance.

Com efeito, cabe ressaltar que, judicialmente, o ônus de eventuais danos materiais ou morais recai sobre o projetista e sobre a construtora, que, em tese, possuem conhecimento técnico para a execução do empreendimento e do projeto. Todavia, por incapacidade ou por negligência, não o demonstraram.

1.1 QUESTÕES DE PESQUISA

A questão de pesquisa que orienta o trabalho é: qual é a solução que pode ser proposta para que os requisitos da NBR 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho, no que se refere a desempenho acústico de sistemas de pisos ao ruídos de impacto, tenham seus critérios mínimos atendidos ou o sistema seja classificado em um nível de desempenho superior ao originalmente previsto.

1.2 OBJETIVOS DE PESQUISA

Os objetivos de pesquisa podem ser classificados em principal e secundário, e são os mesmos são descritos a seguir.

1.2.1 Objetivo principal

O presente trabalho tem como objetivo principal, a partir da análise e avaliação de soluções construtivas de isolamento acústico para sistemas de pisos, a elaboração de um projeto, um procedimento de execução e uma ficha de conferência de execução de serviço para um empreendimento de uma empresa de Porto Alegre, visando atender ao requisito de desempenho acústico quanto ao ruído de impacto, estabelecido na NBR 15:575:2013 – Parte 3.

1.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) compreender o processo de transmissão e propagação de ondas sonoras;
- b) compreender os métodos de isolamento de ruídos de impacto;
- c) compreender requisitos, critérios e parâmetros presentes na NBR 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 3;
- d) calcular os valores de isolamento e compará-los entre si e com os valores fornecidos pelos fabricantes.

1.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho consiste na necessidade de análise e avaliação do desempenho acústico ao ruído de impacto dos sistemas de pisos entregues pela construtora.

1.4 PREMISSAS

O presente trabalho tem como premissas o baixo desempenho acústico das lajes de concreto maciço de 12 cm de espessura, no que se refere a ruídos de impacto, podendo o sistema não atingir o desempenho mínimo sob certas condições e que a execução da solução de isolamento analisada será conforme instruído, atendendo ao desempenho projetado.

1.5 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho delimita-se à análise do desempenho acústico ao ruído de impacto de sistemas de pisos, através do método simplificado que consta na ISO 15712-2:2005. Análise tal realizada em um empreendimento localizado na cidade de Porto Alegre, sendo este uma edificação residencial multifamiliar, projetado e construído em sistema convencional (estruturas em concreto armado, vedações verticais externas e entre unidades em alvenaria de bloco cerâmico, revestimento interno e externo em argamassa de revestimento e esquadrias de alumínio).

Conforme estudo de caso, a análise compreende as lajes entrepisos dos pavimentos tipo (laje maciça) com 12 centímetros de espessura, tendo sua resistência característica do concreto projetada em 25 MPa e sua densidade avaliada em 2300 kg/m³. Já os sistemas de isolamento analisados estão delimitados aos sistemas que possibilitam que o cliente (futuro morador) receba a unidade com a maior liberdade de personalização, sendo que a análise de desempenho dos mesmos ocorre com base nas informações disponíveis em catálogos técnicos e na bibliografia indicada neste trabalho.

Por fim, a avaliação dos resultados foi realizada conforme os critérios da NBR 15.575:2013 – Parte 3.

1.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) desconsiderar os custos e alterações de cronograma envolvendo as soluções avaliadas;
- b) considerar na avaliação e na análise somente o pavimento tipo do empreendimento, excluindo, portanto, a cobertura e demais pavimentos;
- c) a impossibilidade de testar e ensaiar os materiais avaliados;
- d) basear-se em ensaios e propriedades fornecidos pelos fabricantes;
- e) consultar a limitada bibliografia nacional referente ao tema;
- f) acessar de maneira restrita e limitada a bibliografia internacional atualizada, tanto pela dificuldade de localização em território nacional, quanto pelo alto custo dos livros e documentos normativos;
- g) a falta de dados disponíveis no que se refere às propriedades das paredes de alvenaria e divisórias de *drywall* para o cálculo das transmissões marginais;
- h) desconsiderar a análise e avaliação dos componentes considerados quanto aos demais requisitos de desempenho.

1.7 DELINEAMENTO

As etapas descritas a seguir servirão de delineamento para o andamento do trabalho:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) revisão e definição de conceitos envolvendo a transmissão e o isolamento sonoro de ruídos de impacto;
- c) descrição dos requisitos, critérios e parâmetros e definições de desempenho acústico para ruídos de impacto conforme NBR 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho;
- d) análise e avaliação soluções construtivas para isolamento de ruídos de impacto;
- e) proposição de solução construtiva para melhoria no desempenho acústico quanto ao ruído de impacto;
- f) conclusões.

A **pesquisa bibliográfica** foi realizada com base em autores das mais consagradas e prestigiadas correntes de estudo no que se refere a acústica das edificações.

A **revisão e as definições de conceitos envolvendo a transmissão e o isolamento sonoro** são resultado da pesquisa bibliográfica. Serão filtrados os conceitos mais pertinentes em relação ao tema do trabalho de maneira que a leitura fique clara para leitores não familiarizados com o tema, porém que não falte embasamento teórico para o pleno entendimento.

A **descrição dos requisitos, critérios, parâmetros e definições de desempenho acústico para ruídos de impacto conforme NBR 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho** ocorreu de maneira sistemática, em forma de tabelas adaptadas da norma, evidenciando os valores necessários para o atendimento de cada um dos níveis de desempenho.

A **análise e avaliação de projetos e da documentação de execução de serviços** foi realizada a partir da bibliografia, onde foram identificadas possibilidades de melhoria no desempenho acústico nos sistemas de pisos.

Então, **proposição de solução construtiva para melhoria no desempenho acústico quanto ao ruído de impacto** a partir da análise das oportunidades de melhoria encontradas durante a etapa anterior.

Por fim, as **conclusões** trazem as considerações do autor em relação ao processo de análise e avaliação dos sistemas construtivos desenvolvidas ao longo do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para que seja possível entender o isolamento de ruídos de impacto em edificações habitacionais e posteriormente aprimorá-lo, é fundamental a contextualização do fenômeno físico das ondas sonoras e da percepção física e psicológica do ser humano sobre as mesmas. Além disso, a compreensão acerca dos termos, definições, requisitos e critérios de desempenho acústico referentes aos sistemas de pisos baliza e norteia o desenvolvimento de projetos e soluções construtivas. Visto a importância do entendimento desses tópicos para a compreensão dos objetivos e dos resultados deste trabalho, o presente capítulo abordará os principais conceitos pertinentes ao desempenho acústico de pisos a ruídos de impacto.

2.1 SOM E RUÍDO

De acordo com Fernandes (2002), é possível classificar o som como um fenômeno vibratório que resulta da variação da pressão no ar. Ainda, segundo Bistafa (2011), o som pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo.

Embora não haja uma distinção física entre som e ruído, Fernandes (2002) propõe, em uma definição subjetiva, que ruído é toda a **sensação auditiva desagradável e insalubre**, que causa desconforto ao ouvinte. O autor ainda classifica fisicamente o ruído como a resultante da superposição desarmônica de sons provenientes de uma ou várias fontes.

A exposição, ainda que controlada e monitorada, a ruídos urbanos e laborais intensos pode trazer consequências severas no âmbito da saúde. Conforme Antunes (2011), os efeitos podem ser classificados em:

- a) Fisiológicos: lesão dos órgãos auditivos, alterações no ritmo cardíaco e fadiga;
- b) Psicológicos: irritação, stress e incomodidade;

2.2 CONFORTO ACÚSTICO

Segundo Oral et al. (2004 apud CORNACCHIA, 2009), é importante ponderar que, em muitas das situações, a sensação de conforto acústico passa despercebida. No entanto, a sua falta é rapidamente transformada em insatisfação. Nesse sentido, o conceito de conforto acústico sugere uma sensação de bem-estar, tranquilidade e satisfação nos momentos de trabalho e lazer. O mesmo, portanto, deve ser motivo de atenção por parte das construtoras, não só no âmbito judicial e normativo, mas também no quesito satisfação e conforto de seus clientes.

Nesse sentido, Rasmussen (2004) propõe que o conforto acústico pode ser caracterizado pela ausência de ruído e pela qualidade e níveis adequados dos **sons desejáveis**. É, portanto, uma definição parcialmente subjetiva, pois é função da interpretação e avaliação pessoal do indivíduo exposto a determinados sons.

2.3 PROPRIEDADES

2.3.1 Período

Em acústica, a definição de período é dada como o intervalo de tempo decorrido, em segundos, para que um ciclo se complete na curva de variação da pressão ambiente com o tempo (BISTAFA, 2011):

$$T = \frac{1}{f} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

T = período (s);

f = frequência (Hz);

2.3.2 Freqüência

A freqüência de determinada onda sonora é definida como o número de ciclos por segundo do movimento vibratório do som (FERNANDES, 2002):

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

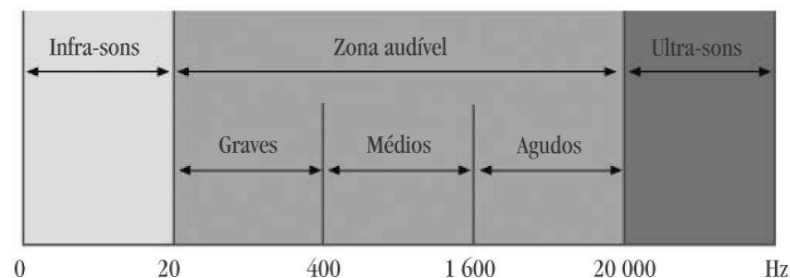
f = freqüência (Hz);

T = período (s);

2.3.2.1 Banda Audível

Também chamada de faixa de áudio (BISTAFA, 2011) e faixa audível de freqüência (FERNANDES, 2002), é o intervalo de freqüências no qual nosso ouvido é capaz de captar e processar ondas sonoras. A banda audível compreende, conforme a Figura 1, ondas sonoras com freqüência entre 20 e 20.000 Hz, para adultos sem perdas auditivas.

Figura 1 - Banda audível



(fonte: PATRÍCIO, 2010)

2.3.2.2 Filtro de banda

Segundo Gerges (2000), filtros de banda fazem com que seja permitida apenas a passagem de ondas com frequências que estejam dentro do seu **intervalo de banda**, podendo ser analógicos ou digitais. Os mesmos são utilizados para a captação de ruídos específicos nos ensaios de acústica.

2.3.2.3 Bandas de oitava e de $\frac{1}{n}$ de oitava

Com o intuito de facilitar as medições de pressão sonora e, por consequência, a análise dos dados obtidos nessas medições, a informação medida é submetida a um tratamento por bandas de frequência (SILVA, 2014). Para então, define-se uma oitava como sendo o intervalo entre frequências cuja relação seja igual a dois, sendo que Bistafa (2011) demonstra que a largura de cada banda de oitava é de aproximadamente 70% da banda central.

Conforme Mateus (2008), pode-se ainda dividir as bandas em $1/n$ de oitava. Dentre as possibilidades, a divisão mais usual é a **1/3 de oitava**. Nesse caso, a largura de banda é aproximadamente 23% da frequência central.

Pode-se deduzir a equação 3 aproximada para o tamanho da largura de banda de $1/n$ de oitava, dada uma **frequência central** de banda:

$$B = 2 f_o \left(\frac{\sqrt[n]{2} - 1}{\sqrt[n]{2} + 1} \right) \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

B = largura da banda de n oitavas (Hz);

f_o = frequência central da banda (Hz);

n = número inteiro que representa a fração de oitava desejada;

Atualmente, conforme a ISO 140 e suas derivações, a frequência referência é 1000 Hz e os ensaios devem ser executados preferivelmente em bandas de 1/3 de oitava, com sua frequência central e seu intervalo de banda expressos no Quadro 1.

Quadro 1 - Bandas de terços de oitava por frequência central

Frequência central (Hz)	Banda de terços de Oitava (Hz)
63	56,2 - 70,8
80	70,8 - 89,1
100	89,1 - 112
125	112 - 141
160	141 - 178
200	178 - 224
250	224 - 282
315	282 - 355
400	355 - 447
500	447 - 562
630	562 - 708
800	708 - 891
1000	891 - 1120
1250	1120 - 1410
1600	1410 - 1780
2000	1780 - 2240
2500	2240 - 2820
3150	2820 - 3550
4000	3550 - 4470
5000	4470 - 5620

(fonte: PATRÍCIO, 2010)

2.3.3 Comprimento de Onda

O comprimento de onda é definido como a distância para que um ciclo se complete na curva pressão sonora *versus* distância. Ainda, a relação entre o comprimento de onda e a frequência é dada pela velocidade da onda no meio de propagação:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

λ = comprimento de onda (m);

f = frequência (Hz);

c = velocidade de propagação de som no meio (m/s);

De acordo com Gerges (2000), para que não ocorra transmissão sonora entre dois ambientes separados por um anteparo, a **espessura** do anteparo deve ser de **3 a 5 vezes** o comprimento da onda que venha a incidir. Utilizando a equação 4, observa-se que as ondas próximas da zona graves audíveis podem ter comprimento de onda superiores a 15 metros.

2.4 PROPAGAÇÃO DE ONDAS SONORAS

2.4.1 Transmissibilidade

Segundo Fernandes (2002), a transmissão pode ser definida como a propagação da onda sonora através de uma superfície. A mesma ocorre, pois, a incidência de ondas em uma superfície causa sua vibração, tornando-a, dessa forma, uma possível fonte sonora. Define-se a transmissibilidade sonora para campo difuso como:

$$\tau = \frac{W_2}{W_1} \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

τ = transmissibilidade;

W_1 = potência sonora no local de incidência (W);

W_2 = potência sonora no local de recepção (W);

2.4.2 Impedância Acústica

Define-se como o produto entre a pressão sonora e a velocidade das partículas e tem seu valor fornecido pela equação 6, válida para locais distantes o suficiente da fonte sonora (BISTAFA, 2011). É, portanto, a **resistência** do meio a passagem da onda sonora.

$$z = \rho \cdot c \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

z = impedância acústica ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$);

ρ = densidade do meio de propagação (kg/m^3);

c = velocidade de propagação do som no meio (m/s);

2.4.3 Absorção Acústica

Fernandes (2002, pág. 30) define absorção como: “... a propriedade de alguns materiais em não permitir que o som seja refletido por uma superfície”. Ou seja, considera tanto o som dissipado quanto o som transmitido, conforme esquematizado na Figura 2. Entretanto, Costa (2003) pondera:

Daí decorre que nos recintos limitados, toda energia que não é refletida, ao menos aparentemente é absorvida, de modo que o coeficiente de absorção que interessa é o enunciado inicialmente (α), o qual toma o nome de coeficiente aparente de absorção e apresenta um significado bastante diferente do coeficiente real de absorção de energia sonora que é transformada em calor.

Bistafa (2011) salienta que o coeficiente de absorção sonora pode ser utilizado tanto para o coeficiente **aparente**, que considera a energia transformada em calor e a transmissão para outro ambiente e o **real**, que leva em consideração apenas a energia transformada em calor:

$$\alpha = \frac{E_{abs}}{E_{inc}} \quad (\text{equação 7})$$

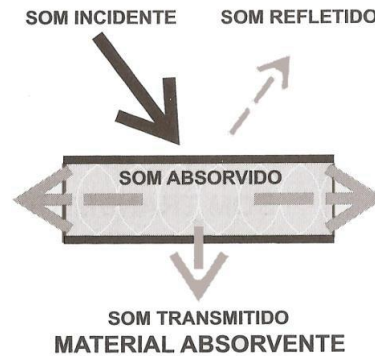
Onde:

α = coeficiente de absorção sonora;

E_{abs} = energia total absorvida pela parede ou energia transformada em calor (J);

E_{inc} = energia total que incide sobre a parede (J);

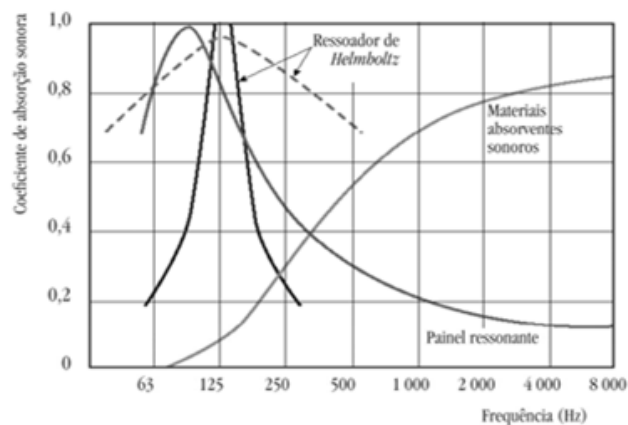
Figura 2 - Esquema de transmissão de som de sistema absorvedor



(fonte: CARVALHO, 2006)

Materiais classificados como **absorventes são fibrosos, porosos ou ainda ressonadores**, do tipo leve e sem características estruturais, tendo sua propriedade fundamental a resistência ao fluxo de ar que, combinados com sua composição, promovem o isolamento sonoro (definido como a parcela de energia sonora que é refletida ou absorvida e transformada em energia térmica pelo anteparo), salienta Bistafa (2011). Esses materiais possuem diferentes coeficientes de absorção sonora, que variam conforme a frequência da onda (o que pode ser observado na Figura 3 e com o ângulo de incidência da mesma, pondera o mesmo autor.

Figura 3 - Coeficiente de absorção para diferentes tipos de materiais em relação a frequência de incidência da onda

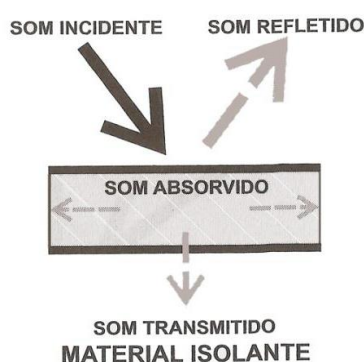


(fonte: MATEUS, 2008)

2.4.4 Reflexão Acústica

O fenômeno da reflexão é definido por Fernandes (2002) e esquematizado na Figura 4 como a interrupção da onda por uma superfície que delimita os meios, fazendo com que a mesma volte ao meio primitivo, porém com sua direção alterada. Pertinentemente, Carvalho (2006) salienta que materiais refletores têm, normalmente, **baixa porosidade e uma densidade superficial mais alta**.

Figura 4 - Esquema de transmissão de som de sistema refletor



(fonte: CARVALHO, 2006)

O coeficiente de reflexão sonora pode ser obtido a partir da equação 8:

$$r = \frac{E_{ref}}{E_{inc}} \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

r = coeficiente de reflexão sonora;

E_{ref} = energia total refletida pela parede (J);

E_{inc} = energia total que incide sobre a parede (J);

Analogamente ao isolamento sonoro provido pelos materiais porosos e fibrosos graças à resistência ao fluxo de ar fornecida pela estrutura e composição, o acréscimo de densidade

superficial em um material reflexivo aumenta a capacidade reflexiva e, conseqüentemente, o isolamento acústico deste material, pondera Bistafa (2011).

2.4.5 NIS - Nível de Intensidade Sonora

Segundo De Marco (1982), a intensidade sonora pode ser definida como a intensidade com que o som chega ao receptor. Além disso, Gerges (2000) explica que a medição da intensidade sonora tem grande utilidade na avaliação de caminhos de vazamento no isolamento de ruídos (*flankings*) em edifícios e na avaliação e verificação da eficácia de cada região do sistema em estudo.

$$NIS = 10 \times \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

NIS = Nível de intensidade sonora (dB);

I = Intensidade sonora medida (W/m²);

I_0 = Intensidade sonora de referência (W/m²);

No entanto, Mateus (2008) salienta que a medição da intensidade sonora ainda tem campos de aplicação limitados a avaliação da **potência sonora de equipamentos** e a caracterização de **campos de vibração**.

2.4.6 NPS - Nível de Pressão Sonora

Dentre as possibilidades de parâmetros que podem ser quantificados para obter correlações entre a sensação sonora do ouvido humano e a energia sonora no ambiente, o parâmetro que melhor representa essa relação é a pressão sonora. De acordo com Bistafa (2011), nível de pressão sonora é a medida física para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons,

tendo seu valor de referência dado por 20 μ Pa (**limiar de audição humana**) e sua equação é dada por:

$$NPS = 20 \times \log \frac{p_{eficaz}}{p_0} \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

NPS = Nível de pressão sonora (dB);

p_{eficaz} = pressão sonora eficaz medida (Pa);

p_0 = pressão sonora de referência (Pa);

A equação 10 segue a **lei de Fechner-Weber**, que descreve relação da sensação humana com estímulos físicos. A mesma revela que a relação entre a magnitude física de um estímulo e a intensidade percebida é **logarítmica**, explica Bistafa (2011).

2.5 NBR 15.575:2013 – PARTE 3 – DESEMPENHO ACÚSTICO

2.5.1 Um breve histórico do desempenho de edificações no Brasil

Segundo Borges (2008), a década de 70 foi um período de crescimento da economia brasileira e, conseqüentemente, do setor da Construção Civil. Para atender a essa nova demanda, foi necessário industrializar e racionalizar o setor da construção. A combinação desses dois fatores alavancou a inovação e o surgimento de novos sistemas construtivos.

Como forma de avaliar o comportamento desses sistemas e da edificação em sua totalidade qualitativa e quantitativamente, entrou em pauta o conceito de desempenho de edificações no Brasil – este foi definido pelo coordenador da comissão do CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*) como:

"A abordagem de desempenho é, primeiramente e acima de tudo, a prática de se pensar em termos de fins e não de meios. A preocupação é com os requisitos que a

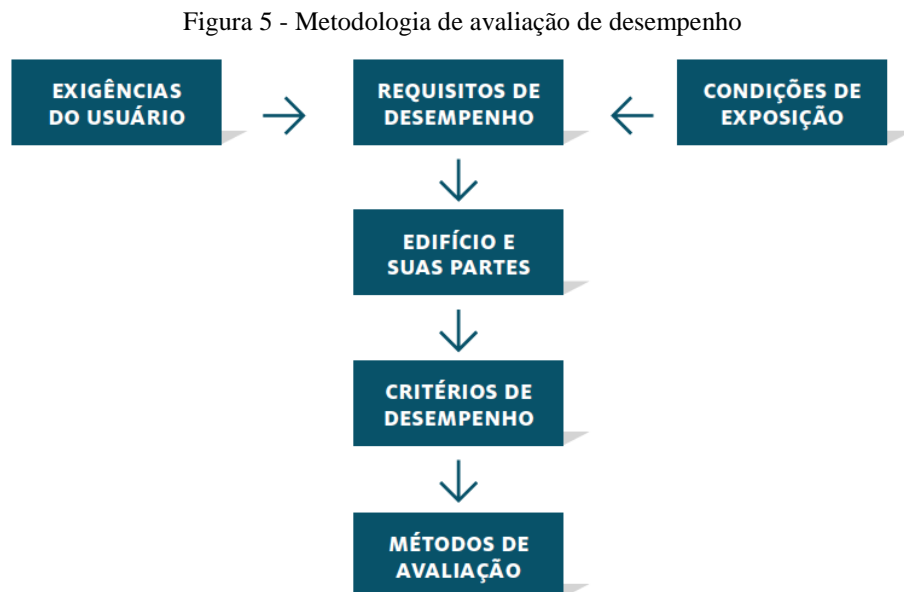
construção deve atender e não com a prescrição de como essa deve ser construída". (GIBSON, 1982 apud BORGES, 2008)

No entanto, somente na década de 80, com os trabalhos desenvolvidos no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e o financiamento do BNH (Banco Nacional da Habitação) e posteriormente da CEF (Caixa Econômica Federal) foram criados os primeiros documentos e normas que levavam em conta o aspecto de desempenho em componentes. Souza (1983), explica que esse atraso em relação à normatização de desempenho acarretou na transferência dos problemas patológicos e custos excessivos de manutenção para o usuário.

Uma posterior revisão dos trabalhos do IPT e a criação da Comissão de Estudos de Projeto da Norma Brasileira de Desempenho culminaram na publicação da então Norma de Desempenho de 2008 e a posterior publicação da revisão de 2013, vigente até hoje.

2.5.2 Metodologia de Avaliação de Desempenho

Segundo Souza (1983), podemos esquematicamente ilustrar a metodologia básica de aplicação do conceito de desempenho à avaliação do edifício e suas partes como mostra a Figura 5:



(fonte: adaptada de SOUZA, 1983)

Onde os Requisitos de Desempenho e os Critérios de Desempenho representam as condições qualitativas e quantitativas, respectivamente, a serem atendidas pela edificação e seus componentes.

2.5.3 Termos e definições segundo a NBR 15.575:2013

A NBR 15:575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho apresenta, na primeira de suas seis partes, definições acerca de termos gerais abordados ao longo da norma. Já em sua terceira parte, são apresentadas e descritas as definições referentes aos sistemas de pisos em específico. Os termos e definições relevantes para o entendimento do presente trabalho estão dispostos a seguir.

2.5.3.1 Gerais

Em se tratando de desempenho de uma maneira geral, cabe ressaltar as seguintes definições estabelecidas na NBR 15.575:2013 para os termos em negrito:

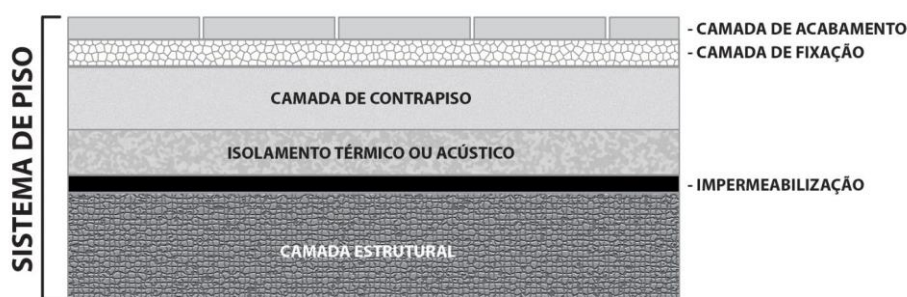
- a) **Desempenho:** Comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas;
- b) **Norma de desempenho:** conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em exigências do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes;
- c) **Sistema:** A maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macrofunção que a define (exemplo: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, coberturas)
- d) **Exigências do usuário:** Conjunto de necessidades do usuário da edificação habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas), de modo a cumprir com suas funções;
- e) **Requisitos de desempenho:** Condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário;
- f) **Critérios de desempenho:** Especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados;

2.5.3.2 Sistemas de pisos

Tratando-se especificadamente de sistemas de pisos:

- a) **Sistema de piso:** Sistema horizontal ou inclinado (Figura 6) composto por um conjunto parcial ou total de camadas (por exemplo, camada estrutural, camada de contrapiso, camada de fixação, camada de acabamento) destinado a cumprir a função de estrutura, vedação e tráfego, conforme os critérios definidos nesta Norma;

Figura 6 - Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos



(fonte: NBR 15.575-3:2013)

- b) **Camada estrutural do sistema de piso:** constitui o elemento resistente às diversas cargas do sistema de pisos
- c) **Impermeabilização:** conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria de fluídos, vapores e umidade.
- d) **Isolamento acústico do sistema de piso:** conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas que tem por finalidade atenuar a passagem de ruídos;
- e) **Camada de contrapiso:** estrato com as funções de regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme de apoio, coesa, aderido ou não e adequada à camada de acabamento, podendo eventualmente servir como camada de embutimento, caimento ou declividade;
- f) **Camada de acabamento do sistema de piso:** composta por um ou mais componentes (por exemplo, laminados, placas cerâmicas, vinílicos, revestimentos têxteis, rochas ornamentais, madeiras, etc.) destinado a revestir a superfície do sistema de piso e cumprir funções de proteção e acabamento estético e funcional;

2.5.4 Requisitos e critérios segundo a NBR 15.575:2013

Os requisitos e critérios de desempenho acústico de sistemas de pisos para ruídos de impacto estão descritos no Quadro 2, onde $L'_{nT,w}$ representa o Nível de Pressão Sonora de Impacto Padrão Ponderado medido no ambiente receptor. Rasmussen (2004) observa que os critérios brasileiros para os referidos sistemas estão notadamente acima da média em relação à países europeus, o que permite que as edificações brasileiras tenham **desempenho acústico inferior** às construções europeias.

Quadro 2 - Níveis de desempenho para sistemas de piso

Ambiente	$L'_{nT,w}$	Nível de Desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80 dB	M
	56 a 65 dB	I
	≤ 55 dB	S

(fonte: NBR 15.575:2013)

Onde o nível de desempenho M representa o desempenho **Mínimo**, I representa o desempenho **Intermediário**, e S representa o desempenho **Superior**.

2.6 MEDIÇÃO DE ONDAS SONORAS

Apesar da NBR 15.575:2013 tratar de apenas um parâmetro de medição de valor único para a caracterização do desempenho acústico de sistemas de pisos – o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado –, existem outros parâmetros de medição e parâmetros necessários, seja para o entendimento, seja para o cálculo desse valor único.

2.6.1 Nível médio de pressão sonora

Mateus (2008) denomina por L_j os valores de nível de pressão sonora encontrados para cada banda de frequência em cada ponto de medição j . A equação 11 fornece o valor do nível médio de pressão sonora para cada banda de frequência:

$$L = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{(L_j/10)} \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

L = Nível médio de pressão sonora (dB);

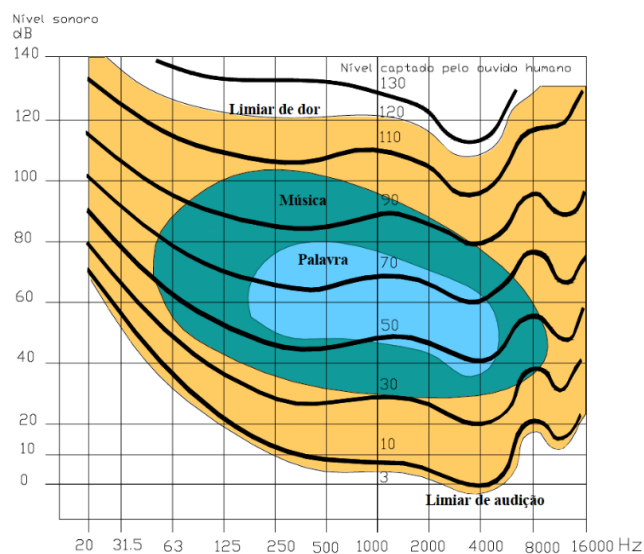
n = número de medições realizadas para tal frequência;

L_j = nível de pressão sonora medido em cada n pontos (dB);

2.6.2 Nível de Pressão Sonora Ponderado

Segundo Silva (2014), a resposta do ouvido humano aos estímulos varia em função da frequência da onda incidente, sendo necessária a utilização de **filtros** nos equipamentos de medição de ruído para que os mesmos representem de forma mais fidedigna, a sensação do ouvido. De acordo com Mateus (2008), o gráfico das curvas isofônicas (Figura 7) – também conhecidas como curvas de Fletcher Munson (1933) – apresenta os diferentes níveis de pressão sonora captados pelo ouvido humano para diferentes frequências e níveis de pressão sonora emitidos pela fonte.

Figura 7 - Curvas de igual sensação sonora - isofônicas

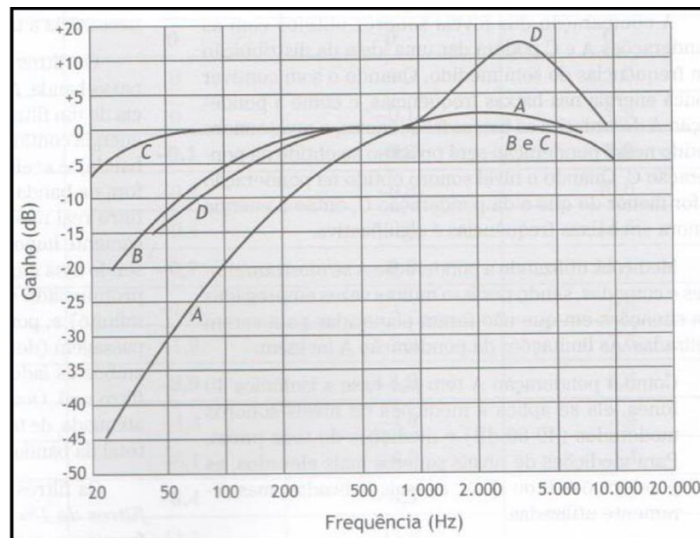


(fonte: MATEUS, 2008)

De maneira a compensar as diferenças de sensibilidade do ouvido humano para as diferentes frequências, recomenda-se utilização da **curva A**, que, segundo Bistafa (2011), atenua os níveis de pressão sonora para as baixas frequências. Por outro lado, Mateus (2008) ressalva que a curva A não traduz a verdadeira sensação do ouvido humano para intensidades mais altas e, para essas intensidades, recomenda-se o uso da Curva C (BISTAFA, 2011).

Os coeficientes para as ponderações A, B, C e D podem ser obtidos no gráfico da Figura 8.

Figura 8 - Curvas de Ponderação A, B, C e D



(fonte: BISTAFA, 2011)

A correção do nível de pressão sonora médio é feita utilizando equação 12:

$$L_A = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{(L_i + C_i)}{10}} \quad (\text{equação 12})$$

Onde:

L_A = Nível de pressão sonora médio ponderado em A, B, C ou D (dB);

n = número de medições realizadas para determinada frequência;

L_j = nível de pressão sonora medida no ponto j em determinada frequência (dB);

C_i = Correção da curva de ponderação A, B, C ou D para determinada frequência (dB);

Vale salientar que as curvas de ponderação não são utilizadas para avaliar o desempenho acústico dos elementos ou do sistema construtivo. Na realidade, as curvas são utilizadas na **avaliação do nível de ruído do ambiente**. Sendo assim, esse trabalho não abordará os requisitos e critérios estabelecidos pela NBR 10152:1987, que trata especificadamente deste assunto.

Cabe a observação de que a NBR 10151:2000 permite que essa fórmula seja utilizada como forma de obtenção do nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A” desde que o aparelho utilizado para medição seja configurado para ser operar em resposta rápida e lido a cada 5s durante o tempo de medição do ensaio.

2.6.3 L_{Aeq} – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A

Bistafa (2011) define nível de pressão sonora equivalente como o nível sonoro estacionário, que se ocorresse durante o intervalo de registro, geraria a mesma energia produzida pelos eventos sonoros registrados. A expressão numérica é dada pela equação 13:

$$L_{Aeq} = 10 \log \sum_{j=1}^n f_i \cdot 10^{\frac{(L_i+C_i)}{10}} \quad (\text{equação 13})$$

Onde:

L_{Aeq} = nível de pressão sonora médio ponderado em A (dB);

f_i = tempo de medição de uma determinada frequência sobre a totalidade de tempo de medições;

n = número de medições de determinada frequência;

L_i = nível de pressão sonora para determinada frequência (dB);

C_i = correção da curva de ponderação A para determinada frequência (dB);

A própria ISO 140-6:1998 aponta que, na prática, medem-se os níveis médios de pressão sonora, o que é permitido, desde que sejam respeitadas certas condições.

2.6.4 Correção do ruído de fundo

De acordo com o que consta na ISO 140-6:1998, deve-se medir a intensidade do ruído de fundo com o intuito de certificar-se de que o mesmo não altere o resultado da medição e subtraí-lo do valor medido conforme a equação 14.

A diferença entre o ruído de fundo e o ruído gerado deve ser pelo menos 6 dB e preferivelmente maior que 10 dB. Caso a diferença for inferior a 6 dB, a mesma determina a subtração 1,3 dB do valor de L.

$$L_c = 10 \log(10^{(L_{sb}/10)} - 10^{(L_b/10)}) \quad (\text{equação 14})$$

Onde:

L_{sb} = nível de pressão sonora combinado do sinal e do ruído de fundo (dB);

L_b = nível de pressão sonora do ruído de fundo (dB);

2.6.5 Ruído Rosa e Ruído Branco

De acordo com Bistafa (2011), o Ruído Rosa, que tem este nome por emitir mais energia nas baixas frequências do espectro – e, portanto, sua associação com a cor vermelha do espectro, decresce 3 dB toda a vez que a frequência é duplicada, ou seja, há um decréscimo de - 3 dB/oitava.

O ruído rosa se reduz com a frequência na exata medida para compensar o aumento das larguras das bandas com a frequência nos filtros com larguras de bandas de porcentagem constante. (BISTAFA, 2011, pág. 105)

Observa-se, de acordo com Taveira (2012), que, no ruído rosa, os sons de baixas frequências são mais altos em relação aos de altas frequências.

Paixão (2002) caracteriza o ruído branco como aquele cuja potência é distribuída uniformemente no espectro de frequências.

O Ruído Branco cresce 3 dB quando a frequência é duplicada (+3 dB/oitava), pois cada vez que a frequência dobra, a largura da banda também dobra, sendo o resultado um aumento de 3 dB ($10 \log 2$) em cada banda sucessiva. (BISTAFA, 2011, pág. 105)

De acordo com Vigran (2008), o Ruído Branco é muito utilizado em ensaios de laboratório e de campo e em sistemas com o intuito de obter as funções de transferências dos mesmos.

Hopkins (2007) salienta que ambos os ruídos podem ser utilizados na geração e medição de ruídos aéreos. No entanto, o mesmo autor alerta que o espectro do nível de pressão sonora medida no cômodo de emissão será influenciado pela resposta do próprio cômodo ao ruído emitido.

Para atender as especificações da ISO 140-6:1998, o sinal é geralmente moldado utilizando um equalizador, pois é exigido que, para o cômodo de emissão, a diferença de nível de pressão sonora entre bandas adjacentes de 1/3 de oitavas consecutivas seja menor que 6 dB.

2.6.6 Tempo de Reverberação

Bistafa (2011) descreve o tempo de reverberação de um ambiente como o intervalo de tempo necessário para que um determinado som tenha um decréscimo de 60 dB no nível de pressão sonora medido após o cessar da emissão do som pela fonte. O tempo de reverberação foi definido por Sabine como:

$$T_R = 0,161 \frac{V}{\sum S_i \cdot \alpha_i} \quad (\text{equação 15})$$

Onde:

T_R = Tempo de reverberação (s);

V = Volume do cômodo (m^3);

S_i = Área de absorção material i (m^2);

α_i = coeficiente de absorção do material i ;

Importante salientar que o tempo de reverberação de determinado ambiente varia conforme a **frequência da onda** sonora que incide sobre tal ambiente, pois o material que caracteriza e limita o local possui diferentes coeficientes de absorção sonora para diferentes frequências de onda incidente e que todos elementos presentes, incluindo pessoas, devem ser considerados no cálculo do tempo de reverberação.

2.6.7 R_w – Índice de Redução Sonora Ponderado

O R – Índice de Redução Sonora (*Sound Reduction Index*) – é definido de acordo com Vigran (2008), como:

$$R = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \quad (\text{equação 16})$$

Onde:

R = Índice de redução sonora (dB);

W_i = potência incidente no elemento (W);

W_t = potência transmitida pelo elemento (W);

De acordo com o mesmo autor, em um laboratório tradicional de ensaios de Índices de Redução Sonora, o índice pode ser obtido, para cada banda de frequência, de acordo com a equação 17 da ISO 140-1995:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A_R} \quad (\text{equação 17})$$

Onde:

L_1 = Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (dB);

L_2 = Nível médio de pressão sonora no compartimento receptor (dB);

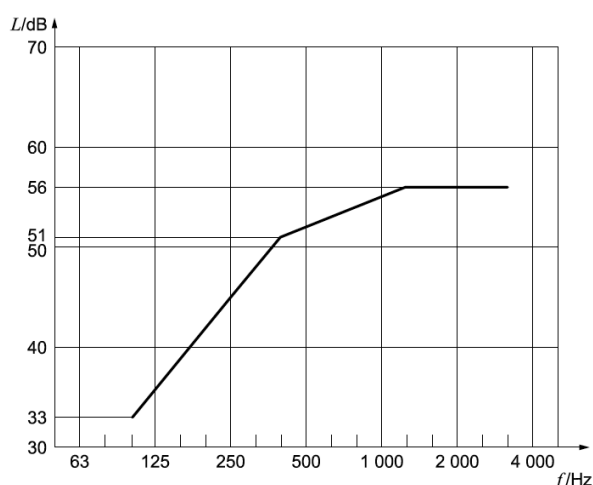
S = Área de superfície do elemento de compartimentação (m^2);

A_R = Área total de absorção no compartimento receptor (m^2);

O valor de R_w – Índice de Redução Sonora Ponderada (*Weighted Sound Reduction Index*) – é um único número obtido a partir da uma curva de referência (Figura 9) para sons aéreos de acordo com a ISO 717-1:2013.

Após o deslocamento da curva de referência, o valor de R_w corresponde ao valor da ordenada da nova curva para a frequência de 500 Hz.

Figura 9 - Curva de referência para sons aéreos, em um 1/3 de bandas de oitava



(fonte: ISO 717-1:2013)

É válido observar que a curva de referência tem valores de isolamento mais elevados para valores mais altos de frequência, pois a curva relaciona o resultado do ensaio com o **desempenho desejável**, favorecendo paredes que tiverem maiores reduções sonoras nas médias e altas frequências.

2.6.8 $D_{nT,w}$ – Diferença Padronizada de Nível Ponderada

A D_{nT} – Diferença Padronizada de Nível (*Standardized Level Difference*) – pode ser traduzida como a diferença de nível, em decibéis, do cômodo receptor e do cômodo emissor, considerando o tempo de reverberação do volume receptor.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (\text{equação 18})$$

Onde:

L_1 = Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (dB);

L_2 = Nível médio de pressão sonora no compartimento receptor (dB);

T = Tempo de reverberação no compartimento receptor (s);

T_0 = Tempo de reverberação referência (s);

Hopkins (2007), observa que a aproximação $T_0 = 0,5$ s é válida, pois, em habitações mobiliadas o tempo de reverberação é razoavelmente independente do volume e da frequência, se aproximando razoavelmente de 0,5 segundos.

O valor de $D_{nT,w}$ – Diferença Padronizada de Nível Ponderada (*Weighted Standardized Level Difference*) – é um único número obtido a partir de uma curva de referência para sons aéreos de acordo com a ISO 717-1:2013, conforme Figura 9.

Após a execução do deslocamento, o valor de índice de $D_{nT,w}$ corresponde ao valor da ordenada da nova curva para a frequência de 500 Hz.

2.6.9 $L'_{nT,w}$ – Nível de Pressão Sonora de Impacto Padrão Ponderado

O L'_{nT} – Nível de pressão sonora de impacto padronizado (*Standardized Impact Sound Pressure Level*) – é obtido através da equação 19, que consta na ISO 140-7:2013, onde a mesma

determina que a caracterização da transmissão sonora deve ser feita em banda de 1/3 de oitava, no espectro de frequências entre 100 e 3150 Hz.

$$L'_{nT} = L'_i - 10 \times \log \frac{T}{T_0} \quad (\text{equação 19})$$

Onde:

L'_{nT} = Nível de pressão sonora de impacto padronizado (dB);

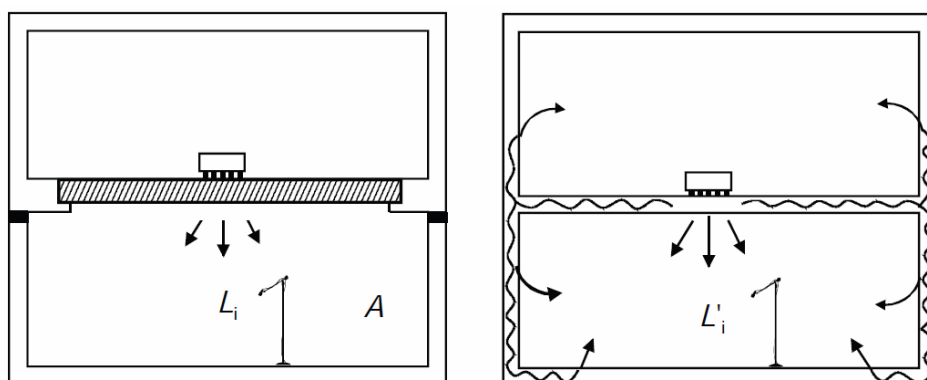
L'_i = Nível médio de pressão sonora de impacto no compartimento receptor considerando as transmissões marginais (dB);

T = Tempo de reverberação no compartimento receptor (s);

T_0 = Tempo de reverberação referência (s);

É possível inferir duas informações acerca da equação 19: A primeira delas é que a comissão responsável pela elaboração e revisão da NBR 15.575:2013, quando não estabeleceu valores mínimos para L_{nT} , estava ciente que o Brasil ainda não possuía estrutura para ensaiar lajes em laboratório. A segunda informação é que o apóstrofo no índice do parâmetro nos valores medidos sinaliza que o valor considera a contribuição de transmissão de sons pelos flancos provenientes da estrutura, transmissão essa esquematizada na Figura 10.

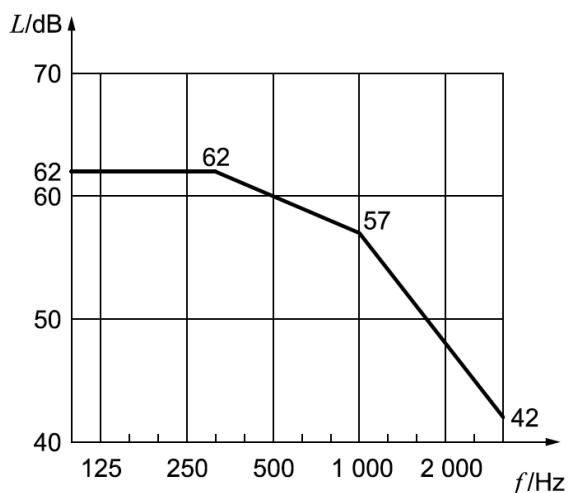
Figura 10 - Transmissão do som em laboratório à esquerda; Transmissão do som in loco a direita



(fonte: adaptado de VIGRAN, 2008)

O valor de $L'_{nT,w}$ – Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado (*Weighted Standardized Impact Sound Pressure Level*) – é um único número obtido a partir de uma curva de ajustamento para sons de impacto de acordo com a ISO 717-2:2013.

Figura 11 - Curva de referência para sons de impacto, em 1/3 de banda



(fonte: ISO 717-2:2013)

Após a execução desse ajuste, o valor de índice de $L'_{nT,w}$ corresponde ao valor da ordenada da curva para a frequência de 500 Hz.

Da mesma forma que ocorre para os níveis de ruído aéreo, a curva do Figura 11 relaciona o desempenho do ensaio com o desempenho desejável de uma laje, considerando a resposta do nosso ouvido aos ruídos em alta frequência. Para tanto, a curva de referência apresenta um decaimento a partir das médias frequências, de maneira que o resultado favoreça lajes em que o nível de pressão sonora de impacto decresça com o aumento da frequência.

2.6.10 Termos de adaptação de espectros sonoros

Com o objetivo de considerar a influência no valor único de isolamento, obtido através da curva de referência, de ondas sonoras com espectros específicos incidentes no objeto, têm-se os termos de adaptação de espectro sonoro C e C_{tr} , que estão relacionados com os tipos de ruído aéreo do Quadro 3, adaptada da ISO 717-1:2013 e devem ser indexados aos índices de isolamento aéreo.

Quadro 3 - Termo de adaptação em função do tipo de fonte sonora

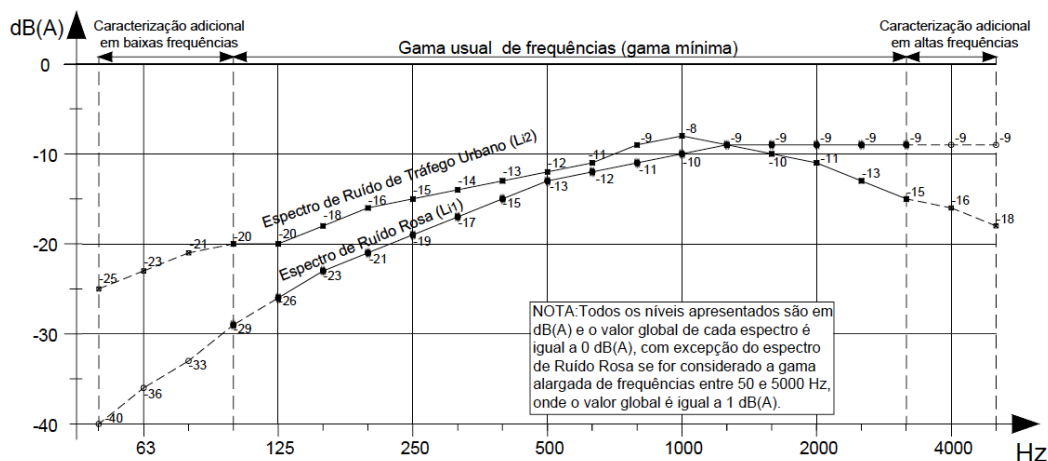
Termo de adaptação de espectro sonoro relevante	Tipo de Ruído
C (Espectro de ruído rosa 1)	Atividades diárias (conversas, música, rádio, TV)
	Crianças brincando
	Tráfego ferroviário a média e alta velocidade
	Avião a jato a curta distância
	Fábricas emitindo ruídos em médias e altas frequências
C_{tr} (Espectro de ruído de tráfego urbano 2)	Tráfego rodoviário urbano
	Ferrovias de baixa velocidade de tráfego
	Aeronaves movidas à hélice
	Avião a jato a longa distância
	Músicas em discotecas
	Fábricas emitindo ruídos em baixas e médias frequências

(fonte: adaptado ISO 717-1:2013)

“Estas correções aplicam-se, de forma mais corrente, aos valores dos índices obtidos em condições de laboratório, onde no processo de ensaio se utiliza um ruído branco, com o objectivo de efectuar a transposição dos valores de índices assim obtidos para aplicações *in situ*,...” (PATRÍCIO, 2009, pág. 10)

A ISO 717-1:2013 fornece a curva de espectros de Ruído Rosa e de Ruído de Tráfego Rodoviário Urbano, ponderados pela malha A, em bandas de 1/3 de oitava, a mesma foi detalhada conforme Figura 12.

Figura 12 - Curvas de espectro de Ruído Rosa e de Ruído de Tráfego Rodoviário



(fonte: MATEUS, 2008)

O procedimento para a obtenção dos termos C e C_{tr} segue o mesmo procedimento descrito para encontrar o valor ponderado dos índices de isolamento sonoro, com o adendo da necessária subtração dos valores encontrados na curva de ponderação em relação ao índice de isolamento sonoro referido. A padronização fica da seguinte forma:

- a) $R_w(C; C_{tr})$ [dB]
- b) $D_{nT,w}(C; C_{tr})$ [dB]
- c) $L'_{nT,w}$ [dB]

Para os casos de ruídos de impacto, tem-se o **termo de adaptação C** , que, segundo Rezende et al. (2014), tem como objetivo a **correção das variações dos tipos de fontes de ruído de impacto**, como por exemplo o ruído gerado pelos **passos de uma pessoa** ou o ruído gerado pelo arrastar de móveis. No entanto, este termo de adaptação não é abordado pela NBR 15.575:2013 e, por consequência, não entra no escopo deste trabalho.

2.7 RUÍDO DE IMPACTO

O presente subcapítulo aborda sistematicamente os processos de transmissão, onde o mesmo elucida os processos de geração, de propagação e reprodução do ruído, e também os processos de isolamento, onde apresenta sistemas construtivos para o isolamento do ruído de impacto.

2.7.1 Transmissão

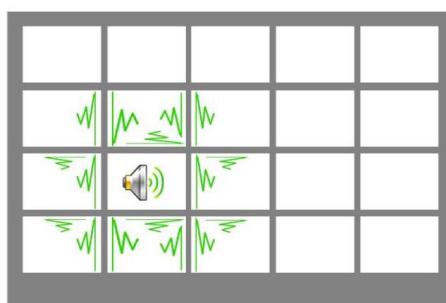
O ruído de impacto é originado por contato ou atrito mecânico entre dois corpos (GERGES, 2000, pág. 224). A propagação desse ruído é, então, exercida pela vibração da estrutura que, devido sua alta densidade e alta rigidez nas ligações, **acelera e altera a velocidade** das ondas sonoras, não permitindo o amortecimento dessa vibração. Dessa forma, possibilita que a propagação da onda ocorra por longas distâncias sem atenuações de grandeza impactante (Figura 13).

Entretanto, altas velocidades de propagação nem sempre se traduzem em alta transmissibilidade. Materiais resilientes e porosos apresentam alta velocidade de propagação, porém os mesmos apresentam baixa transmissibilidade, fato que pode ser explicado pela baixa densidade aparente desses materiais

As fontes ainda podem ser caracterizadas de acordo com Mateus (2015) como:

- a) Fontes estáticas: normalmente provocam vibrações periódicas, como é o caso dos sistemas de bombas hidráulicas, exaustão mecânica, ar condicionado, etc.;
- b) Fontes de impacto: provocam um estímulo de curta duração, repetitivo e não periódico, como é o caso do bater de portas, queda de objetos, passos.

Figura 13 – Propagação de ruídos de impacto em edifícios



(fonte: PATRÍCIO, 2010 apud SILVA 2014)

Segundo Cornacchia, (2009 apud TAVEIRA, 2012), dada uma fonte de impacto e a transmissão da onda pela estrutura, o ruído pode ser gerado quando um anteparo com flexibilidade à vibração é excitado pela onda proveniente dessa fonte. Gerges (2000) ainda aponta que, a energia sonora gerada pela fonte procura as trajetórias mais fáceis de propagação, bem como elementos de fácil dissipação da energia, como por exemplo elementos em estado de

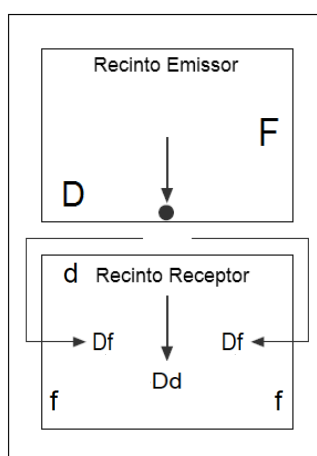
ressonância, ou seja, elementos cuja frequência de ressonância é igual a frequência da onda incidente.

Além disso, a transmissão do ruído de impacto ocorre por praticamente todo o espectro de frequências, incluindo, portanto, a **frequência crítica dos elementos de compartimentação**, frequência essa tal que as ondas sonoras não são atenuadas, ou seja, são transmitidas como se não houvesse isolamento sonoro.

Segundo Galante (2010), a **transmissão marginal** dessas ondas sonoras é feita de forma independente para cada elemento do sistema de vedação vertical no compartimento receptor. Essa transmissão marginal depende do tipo de ligação entre os elementos de vedação vertical e horizontal, do tempo de reverberação estrutural desses elementos e da geometria do ambiente.

Ao analisar uma situação simplificada na Figura 14, de dois cômodos dispostos na vertical, pode-se identificar as vias de propagação da onda e o elemento de transmissão do ruído.

Figura 14 - Transmissão dos Ruídos de Impacto



(fonte: adaptado de FERREIRA, 2007)

Onde:

- F : refere-se a todos os elementos de compartimentação adjacentes no cômodo de emissão do ruído;
- f : refere-se a todos os elementos de compartimentação adjacentes no cômodo de incidência do ruído;
- D : refere-se ao elemento de compartimentação em estudo, no cômodo de emissão de ruído;

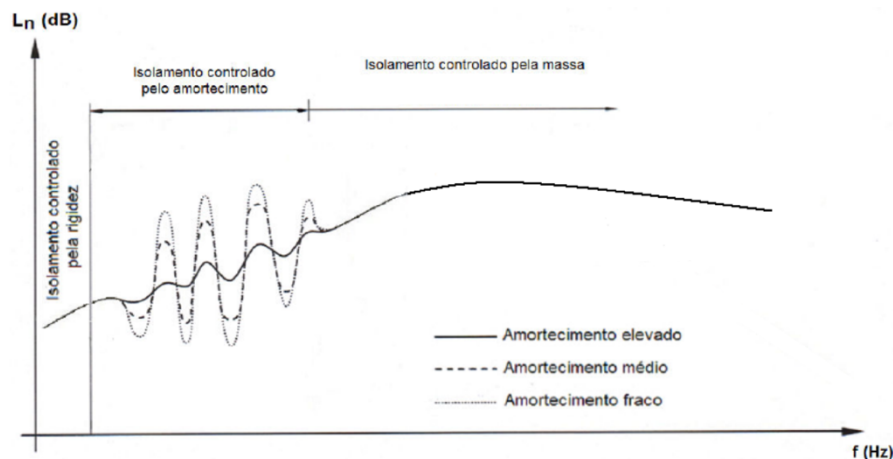
- d) d : refere-se ao elemento de compartimentação em estudo, no cômodo de incidência de ruído;
- e) D_d : transmissão direta pelo elemento de compartimentação em estudo;
- f) D_f : transmissão marginal, que percorre o elemento de compartimentação em estudo e os elementos de compartimentação adjacentes;

2.7.2 Isolamento – Lajes sem revestimento

Méndez (1994) salienta que o estudo do isolamento ao ruído de impacto é muito importante, pois, mesmo que os níveis de pressão sonora não sejam elevados, os ruídos de impacto causam grande desconforto acústico ao ser humano.

A curva do nível de pressão sonora de impacto normalizado pode ser dividida em diferentes regiões dentro do espectro de frequência, nas quais o isolamento dessas regiões é controlado por determinadas características do elemento de compartimentação, dentre os quais: a **rigidez do elemento**, o **amortecimento interno** do material e a **massa superficial**, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Curva nível de pressão sonora de impacto padronizado para um sistema de piso sem revestimento



(fonte: adaptado GALANTE, 2010)

A ISO 15712-2:2005 fornece equação 20 para a determinação analítica do nível de pressão sonora de impacto normalizado de uma laje de concreto armado, com densidade de 2300 kg/m^3 e velocidade do som de 3500 m/s .

$$L_n = 155 - 30 \log m' + 10 \log T_s + 10 \log \sigma + 10 \log \left(\frac{f}{1000} \right) \quad (\text{equação 20})$$

Onde:

L_n = nível de pressão sonora de impacto padronizado (dB);

m' = densidade superficial do elemento (kg/m^2);

T_s = tempo de reverberação estrutural (s);

σ = eficiência da radiação sonora no elemento;

f = frequência da onda incidente (Hz).

Após sucessivas aplicações da curva de ponderação, obteve-se a equação 21, apresentada na ISO 15712-2:2005, para o valor ponderado de isolamento acústico, dependendo exclusivamente da densidade superficial do elemento, desde que seja de concreto homogêneo:

$$L_{n,w} = 164 - 35 \log \left(\frac{m'}{m_o} \right) \quad (\text{equação 21})$$

Onde:

$L_{n,w}$ = nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB);

m' = densidade superficial do elemento estrutural (kg/m^2);

m_o = densidade superficial de referência (kg/m^2).

2.7.2.1 Região controlada pela rigidez

Patrício (2005), alerta que o aumento do vão entre os apoios da laje, mantendo a espessura, causa uma diminuição da rigidez e uma possível vibração sob impactos de menor intensidade.

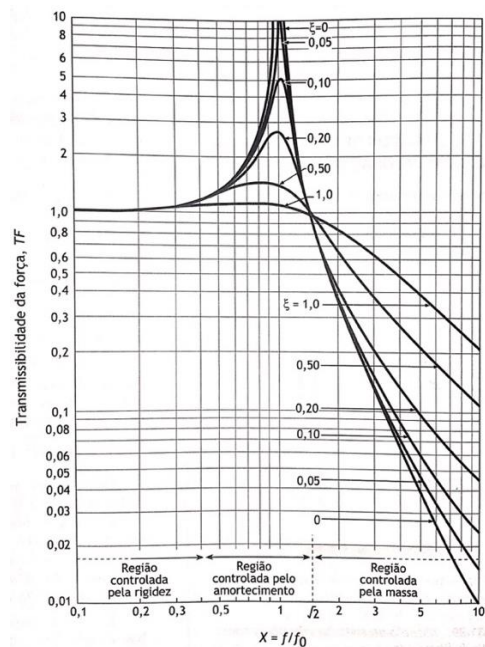
Entretanto, tendo em vista a curva de ponderação A, que **ameniza** os níveis de pressão sonora de impacto para as baixas frequências ao considerar a sensibilidade do ouvido humano, a região controlada pela rigidez tem pouca ou nenhuma influência sobre o conforto acústico. Essa premissa é verdadeira desde que a frequência de ressonância não alcance valores significativos.

2.7.2.2 Região controlada pelo amortecimento interno

Segundo Patrício (2005), os ruídos de impacto podem ter um caráter muito “incomodativo”, uma vez que o amortecimento interno dos materiais empregados nas edificações habitacionais, tem coeficiente de amortecimento interno bastante reduzido, da ordem de 0,5 a 1%. O concreto, segundo Hopinks (2007), possui coeficiente de amortecimento interno máximo de 0,5%.

O fator transmissão para um sistema com um grau de liberdade depende do **amortecimento do interno do conjunto** (ξ) e da relação entre a **frequência de ressonância do sistema** (f_0) e a **frequência de excitação** (f) de acordo com a Figura 16.

Figura 16 - Fator de transmissão de um sistema para um espectro de frequências de excitação



(fonte: BISTAFA, 2011)

Sousa (2008) salienta o papel fundamental do amortecimento interno no isolamento acústico de ruídos de impacto, que permite a **dissipação da energia mecânica em forma de calor** e tem

forte influência no isolamento de ruídos em médias frequências e nas frequências de ressonância. No entanto, Hopinks (2007) ressalva que o coeficiente de amortecimento interno é de difícil quantificação, uma vez que varia com o tipo de onda, a temperatura, umidade, densidade e etc. O mesmo autor observa que o amortecimento interno é parte do **fator de perdas** (η), que pode ser calculado conforme a ISO 15712-2:2005 para cada frequência incidente.

2.7.2.3 Região controlada pela massa

Em se tratando de lajes de concreto homogêneas, é possível obter uma melhora o isolamento a ruídos de impacto aumentando a **espessura**, e, conseqüentemente, a massa superficial das lajes. Para cada centímetro de espessura adicional, ocorre um aumento de 1 dB no isolamento, conforme pode ser observado na equação 21. No entanto, Bistafa (2011) sustenta que essa é uma alternativa praticamente inviável, uma vez que sua adoção elevaria o carregamento das vigas, aumentando significativamente o custo da obra.

2.7.3 Isolamento – Lajes com revestimento

Santos (2012) classifica o isolamento ao ruído de impacto entre lajes como o conjunto de medidas construtivas com a intenção de interromper ou diminuir o fluxo de energia sonora de um ambiente para o outro, utilizando o sistema de piso como ponto de partida, a partir de uma fonte de impacto.

Os revestimentos de piso, ou seja, os sistemas de complemento a laje de suporte de carga, podem contribuir de forma significativa para a atenuação dos ruídos de impacto (Figura 17). Para tanto, podemos classificar esses revestimentos em **resilientes/elásticos e flutuantes**. (PATRÍCIO, 2005).

Figura 17 - Isolamento de ruído de impacto para tipologia de lajes



(fonte: adaptado de SANCHO, 1982)

Uma classificação das tipologias de sistemas de isolamento de ruído de impacto mais interessante e visual é apresentada por Mateus (2015) e foi adaptada pelo autor no Quadro 4.

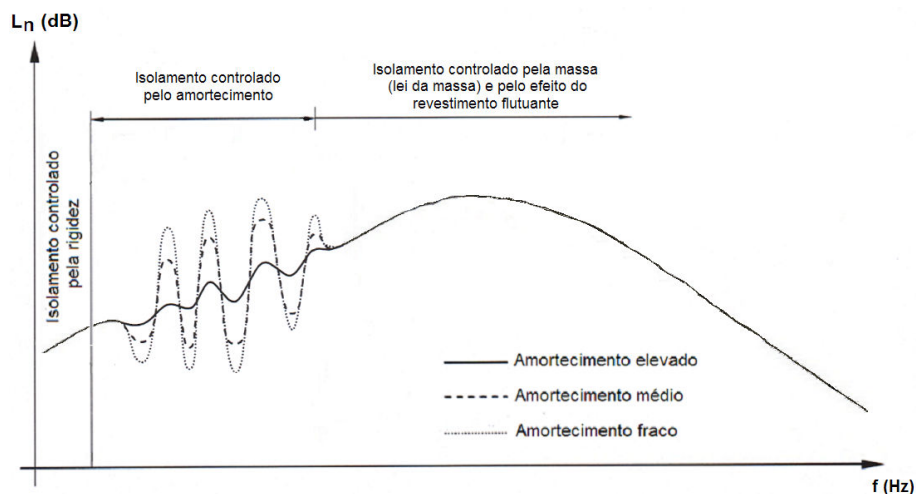
Observa-se, como resultado do revestimento do piso, seja revestimento de piso resiliente ou piso flutuante, uma diferença na curva do nível de pressão sonora de impacto (Figura 18), principalmente no espectro das altas frequências, onde a solução de revestimento de piso apresenta ótimos resultados em comparação à laje de concreto convencional sem revestimento.

Quadro 4 - Classificação das tipologias de sistemas de isolamento de ruído de impacto

Denominação	Esquema representativo	Exemplos	Material Resiliente	Legenda
Revestimento de Piso Resiliente		Piso vinílico, borrachas ou carpetes	Abaixo do revestimento	Revestimento final de piso
Piso Flutuante		Mantas acústicas, lã de rocha	Abaixo do contrapiso	Underlay Underscreed
Sistema Duplo Flutuante		Piso vinílico com manta acústica	Abaixo do revestimento e abaixo do contrapiso	Contrapiso Laje estrutural

(fonte: adaptado de MATEUS, 2015)

Figura 18 - Curva nível de som de impacto padronizado para um sistema de piso com revestimento/piso flutuante



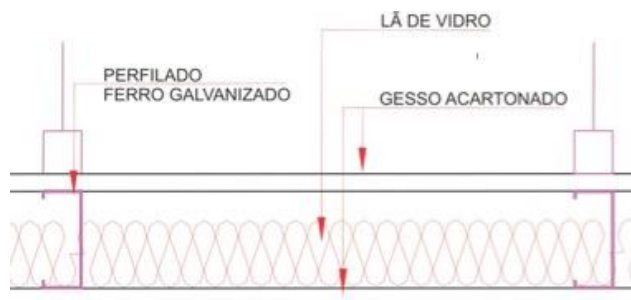
(fonte: adaptado de FERREIRA, 2007)

2.7.3.1 Isolamento através de forros falsos

Dado que um consumidor relate problemas envolvendo o ruído de impacto proveniente do andar superior, a solução mais prática e que acarreta em menos transtornos aos envolvidos seria agir no ambiente de recepção. Essa prática, no entanto, alerta Santos (2012), é a menos eficiente, pois não bloqueia a transferência das vibrações das lajes para as paredes, que transmitem os **ruídos marginais** (*flankings*).

As soluções utilizando forros falsos (Figura 19) não serão abordadas neste trabalho dada sua baixa eficiência, sua necessidade de combinação com outros elementos para que se obtenham resultados satisfatórios e seu caráter de solução pós-entrega para o cliente.

Figura 19 - Esquema de forro falso



(fonte: adaptado de FERREIRA, 2007)

2.7.3.2 Isolamento através de revestimentos elásticos/resilientes

Por definição, resiliência é a propriedade do material de absorver energia quando deformado elasticamente e liberá-la quando descarregado. No descarregamento, parte da energia não é restituída e sim, transformada em calor pelo atrito interno proveniente do amortecimento do material resiliente. (BISTAFA, 2011). Um material considerado resiliente possui um alto limite de elasticidade e um baixo módulo de elasticidade, podendo deformar e recuperar sua forma original.

Sanches (1982 apud PEDROSO, 2007) aponta que as respostas sonoras de pisos resilientes, como por exemplo o da Figura 20, e pisos duros são diferentes. Enquanto o primeiro produz sons em baixas frequências, o segundo produz sons em frequências mais altas.

Figura 20 - Ilustração do revestimento final e a fina camada resiliente

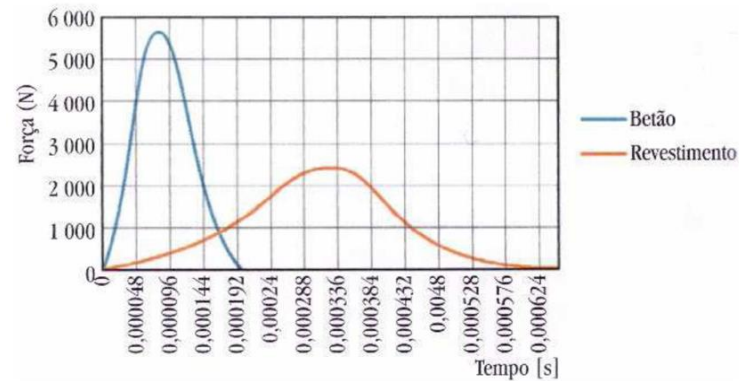


(fonte: KLIPPEL FILHO et al. 2017)

Fisicamente, Méndez (1994) explica que dada uma **quantidade de movimento** impactada no piso, a variação da mesma, do seu valor até zero, é o **impulso**. Sendo que o impulso é a integral da força em relação ao tempo, temos que, em um piso resiliente, para uma mesma quantidade de movimento aplicada pelo impacto, a amplitude da força será menor e, conseqüentemente, o ruído e a vibração gerados serão menores.

Na Figura 21, Patrício (2005) apresenta a diferença da amplitude da força comparando um pavimento rígido com um pavimento flexível. O autor ainda alerta que a redistribuição da força aplicada no tempo aumenta muito a amplitude de força nas baixas frequências, pois um tempo maior de aplicação significa um comprimento de onda maior.

Figura 21 - Diferença entre a amplitude da força no piso rígido e no piso flexível



(fonte: PATRÍCIO, 2005)

Amarilla (1990 apud MÉNDEZ, 1994) define o isolamento de um revestimento resiliente ou elástico como:

$$\Delta L_n = 20 \log \frac{1 - n \frac{f}{f_0}}{\cos(n \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{f}{f_0})} \quad (\text{equação 22})$$

Onde:

ΔL_n = redução do nível de pressão sonora de impacto padronizado (dB);

n = número de ressonância;

f = frequência de onda que incide sobre o sistema (Hz);

f_0 = frequência de ressonância do sistema (Hz);

Onde o valor da frequência de ressonância do sistema é dado pela equação 23:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{m} \cdot \frac{E}{t}} \quad (\text{equação 23})$$

Onde:

f_0 = frequência de ressonância do sistema (Hz);

A = área de contato da força aplicada (m^2);

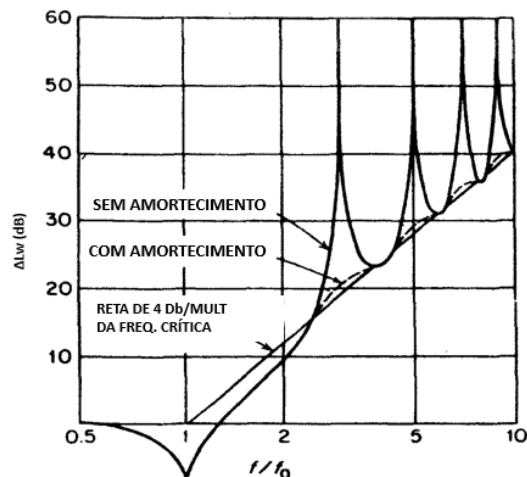
m = massa do elemento de impacto (kg);

E = módulo de elasticidade do material de revestimento ($kg/m.s^2$);

t = espessura total do sistema (m);

Complementarmente, Mateus (2015) observa que para uma melhor eficácia no isolamento a ruídos de impacto, a **frequência de ressonância do pavimento** deve ser a mais baixa possível, de maneira a garantir que seja inferior à frequência de solicitação. É possível visualizar na Figura 22 a influência da frequência de ressonância no isolamento.

Figura 22 - Valores de redução do ruído de impacto ponderado



(fonte: MÉNDEZ, 1994)

Hopkins (2008) explica esse comportamento oscilatório ponderando que o amortecimento interno do sistema não está sendo considerado, pois ele é, na maioria das vezes, desconhecido e é influenciável por diversas variáveis, como já foi dito anteriormente. Além disso, salienta que isso não configura uma negligência na análise, pois se parte do princípio de que o sistema não entrará em ressonância. Dessa forma, não será necessário a atuação do amortecimento interno do material resiliente para conter a vibração, ressalva.

No entanto, Rocha (2012) alerta que, é necessário dar certa **estabilidade ao revestimento**, uma vez que o mesmo suportará cargas permanentes e acidentais, exigindo certa rigidez do sistema.

Rigidez essa, que, para alcançar valores satisfatórios de isolamento, é incompatível com as solicitações de carga comuns a sistemas de piso no dia a dia.

Relacionando esta análise com a *Tapping Machine*, utilizada nos ensaios de isolamento ao ruído de impacto, tem-se que, na prática, segundo Hopkins (2007), os materiais têm mais de uma curva de incremento no isolamento sonoro.

Os testes de diversos materiais de revestimento macios e elásticos para diversos materiais demonstraram que os melhores resultados de isolamento são obtidos com a aplicação de carpetes (Tabela 1) e que seu isolamento aumenta conforme aumenta a espessura do mesmo, conforme demonstram os autores Santos (2012) e Conrad (2002). Hopkins (2007) adverte, no entanto, que nem sempre a relação entre espessura e desempenho de isolamento sonoro é linear.

Tabela 1 - Valores de redução ponderada do nível de pressão sonora para materiais elásticos de revestimento

Revestimento de piso	ΔL_w
Borracha	2,5 a 13,9
Sintéticos	1,3 a 3,0
Carpetes	7,6 a 27,7
Carpetes com base isolante	33 a 39,1
Laminado de madeira flutuante	11,0
Laminado de madeira flutuante com tapetes	22,4 a 30,2

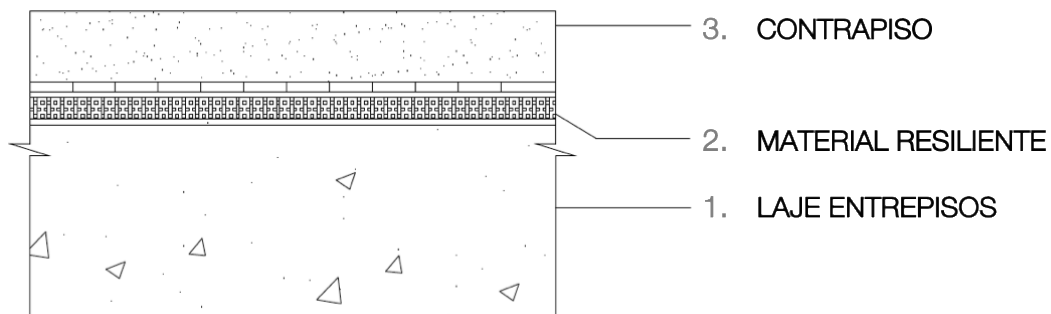
(fonte: adaptado de CONRAD, 2002 apud PEREYRON, 2008)

Bistafa (2011) recomenda para isolantes de impactos, no caso de máquinas, que a frequência de ressonância do sistema seja, no mínimo, quatro vezes e, preferivelmente, dez vezes inferior a frequência de excitação do sistema, pois a razão entre a amplitude da onda resultante e a força efetiva de excitação (transmissibilidade de impacto) é inferior a um para essas frequências, resultando em ondas com intensidades menores.

2.7.3.3 Isolamento através de piso flutuante

Dentre todas as soluções apresentadas, a que apresenta melhor desempenho e maior durabilidade é a solução de pisos flutuantes (SANTOS, 2012). A solução consiste na inserção de um material resiliente, geralmente manta ou lã, entre a laje estrutural e o contrapiso (Figura 23), explica Bistafa (2011). O mesmo autor ressalta que a eficácia desse sistema depende da **completa isolamento do contrapiso**, não só da laje estrutural, mas também do sistema de vedação vertical, portas e demais elementos.

Figura 23 - Esquema da composição do piso flutuante



(fonte: KLIPPEL FILHO et al. 2017)

Embora muito eficiente, é altamente dependente da qualidade da execução do serviço. Seu desempenho pode ser facilmente comprometido quando ligações rígidas entre o piso e demais elementos são constituídas, pondera Hopkins (2008).

Para Cremer et al. (1973) a **redução do nível de pressão sonora de impacto padronizado** é dada pela equação 24, considerando o modelo de placas infinitas.

$$\Delta L_n = 40 \log \frac{f}{f_1} \quad (\text{equação 24})$$

Onde:

ΔL_n = redução do nível de pressão sonora de impacto padronizado (dB);

f = frequência de excitação do sistema (Hz);

f_1 = frequência de ressonância do sistema (Hz).

A equação 24 descreve o comportamento da curva de isolamento com boa precisão no intervalo de frequências entre a frequência de ressonância e quatro vezes o seu valor. Para as demais frequências, a fórmula acaba sobrestimando a redução do nível de pressão sonora de impacto.

A **frequência de ressonância** é descrita como a frequência cuja amplitude da velocidade de vibração medida com o acelerômetro é máxima, sendo que, para o sistema de pisos flutuantes, a mesma pode ser calculada por (BISTAFA, 2011):

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'_1}} \quad (\text{equação 25})$$

Onde:

f_1 = frequência de ressonância do sistema (Hz);

s' = rigidez dinâmica aparente do material resiliente (N/m³);

m'_1 = densidade superficial do sistema flutuante (kg/m²).

E o valor da **frequência de corte**, de acordo com Hopkins (2007), onde ocorre a ampliação da transmissão do ruído de impacto é dada por:

$$f_{1,2} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{s' \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'} \right)} \quad (\text{equação 26})$$

Onde:

$f_{1,2}$ = frequência de corte do sistema (Hz);

s' = rigidez dinâmica aparente do material resiliente (N/m³);

m'_1 = massa por unidade de superfície de piso flutuante (kg/m³);

m' = massa por unidade de superfície da laje de estruturação (kg/m^3).

Dessa forma, Ferreira (2007) salienta que a frequência de corte deve ser tão baixa quanto o possível, pois abaixo da frequência de corte não há atenuação alguma, embora reconheça que as soluções construtivas atuais não atendem plenamente esse requisito.

A ISO 9052-1 define a metodologia de ensaio para a obtenção da **rigidez dinâmica** de um material, fornecendo:

$$s' = (2\pi f_1)^2 m_1' \quad (\text{equação 27})$$

Onde:

s' = rigidez dinâmica aparente do material resiliente (N/m^3);

m_1' = massa por unidade de superfície de piso flutuante (kg/m^3);

f_1 = frequência de ressonância do sistema (Hz).

Bistafa (2011), salienta que em materiais porosos, parte do valor da rigidez dinâmica provém da camada de ar. Hopkins (2008) pontua que para lãs minerais essa participação pode variar de 25% a 250% do total e é dada pela equação 28:

$$s' = s'_t + s'_a \quad (\text{equação 28})$$

Onde:

s' = rigidez dinâmica aparente do material resiliente (N/m^3);

s'_t = rigidez dinâmica do material resiliente (N/m^3);

s'_a = rigidez do ar (N/m^3).

Hopkins (2007) fornece a equação 29 para o cálculo da **rigidez dinâmica equivalente** de um sistema com diferentes espessuras ou diferentes tipos de materiais.

$$s'_1 = \left(\sum_{n=1}^N \frac{1}{s'_n} \right)^{-1} \quad (\text{equação 29})$$

Onde:

s'_1 = rigidez dinâmica aparente da composição de material resiliente (N/m³);

s'_n = rigidez dinâmica de um dos componentes da camada resiliente (N/m³).

O **módulo de elasticidade dinâmico** é dado pela equação 30, onde Bistafa (2011) salienta que o mesmo varia linearmente com a carga estática.

$$E_{din} = s'_t \cdot d \quad (\text{equação 30})$$

Onde:

E_{din} = módulo de elasticidade dinâmico (N/m²);

s'_t = rigidez dinâmica do material resiliente (N/m³);

d = espessura da manta (m).

Por outro lado, Hopkins (2008) alerta que, na prática, tanto o contrapiso quanto a laje não se encaixam no modelo de placas infinitas e que para altas frequências a camada de material resiliente não atua mais como um sistema simples de mola e amortecedor. Ainda, autor pondera que no espectro das altas frequências, os poros do concreto acabam formando pontes acústicas, que acabam diminuindo o isolamento acústico.

Assim, a ISO 15712-2:2005 descreve equação 31 para a **redução do nível de pressão sonora de impacto normalizada**:

$$\Delta L_n = 30 \log \frac{f}{f_1} \quad (\text{equação 31})$$

Onde:

ΔL_n = redução do nível de pressão sonora de impacto padronizado (dB);

f = frequência de excitação (Hz);

f_1 = frequência de ressonância do sistema de contrapiso e material resiliente (Hz);

O valor único do índice de redução de uma manta pode ser obtido em laboratório, de acordo com a ISO 717-2:2013 pela equação:

$$\Delta L_w = L_{n,r,0,w} - L_{n,w} \quad (\text{equação 32})$$

Onde:

ΔL_w = redução do nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB);

$L_{n,r,0,w}$ = nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento referência (dB);

$L_{n,w}$ = nível de pressão sonora de impacto normal ponderado com manta obtido em laboratório (dB).

Ou ainda, de acordo com a ISO 15712-2:2005, pode-se aproximar o valor por:

$$\Delta L_w = L_{n,w,eq} - L'_{n,w} + K \quad (\text{equação 33})$$

Onde:

ΔL_w = redução do nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB);

$L_{n,w,eq}$ = nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento calculado (equação 21) (dB);

$L'_{n,w}$ = nível de pressão sonora de impacto ponderado do pavimento calculado com a manta (dB);

K = coeficiente de transmissão do ruído marginal (obtido no Quadro 5) (dB).

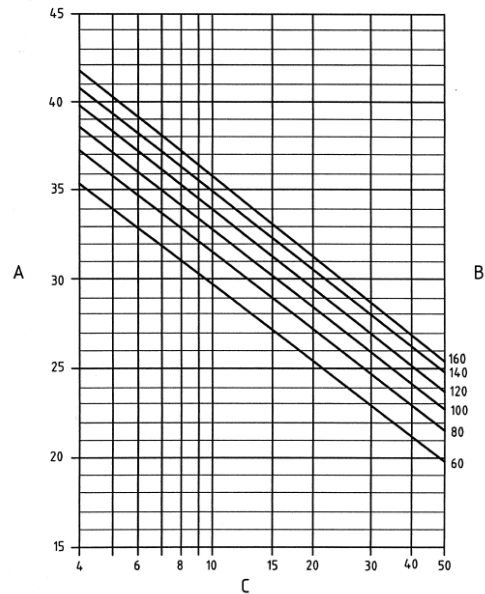
Quadro 5 - Classificação das tipologias de sistemas de isolamento de ruído de impacto

m' piso de sustentação [kg/m ²]	m' paredes laterais médias [kg/m ²]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

(fonte: Adaptado ISO 15712-2:2005)

A bibliografia brasileira, nesse sentido, é muito limitada. A ISO 15712-2:2005 traz o seguinte ábaco (Figura 24), onde é possível relacionar o valor da redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto com a massa superficial do contrapiso e a rigidez dinâmica do material resiliente.

Figura 24 - Gráfico para obtenção da redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto



(fonte: ISO 15712-2:2005)

Onde:

A = redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto (dB);

B = massa por unidade de área do contrapiso (kg/m^2);

C = rigidez dinâmica do material resiliente (N/m^2).

Analicamente, o valor de redução do índice de pressão sonora ponderado pode ser obtido por:

$$\Delta L_w = 18 - 15 \log \frac{m_1'}{s'} \quad (\text{equação 34})$$

Onde:

ΔL_w = redução do nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB);

m_1' = massa por unidade de superfície de piso flutuante (kg/m^3);

s' = rigidez dinâmica aparente do material resiliente (N/m^3);

A equação 35 expressa o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) através do método simplificado da ISO 15712-2:2005, que permite que o tempo de reverberação seja considerado através do volume do ambiente receptor, conforme o último termo da equação.

$$L'_{nT,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K - 10 \log \frac{V}{30} \quad (\text{equação 35})$$

Onde:

$L'_{nT,w}$ = nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento calculado com a manta (dB);

$L_{n,w,eq}$ = nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado do pavimento calculado (equação 21) (dB);

ΔL_w = redução do nível de pressão sonora de impacto ponderado (dB);

K = coeficiente de transmissão do ruído marginal, obtido na tabela abaixo (dB);

V = volume do ambiente receptor (m^3);

2.7.3.4 Isolamento através do sistema duplo flutuante

Na escassez de análises mais detalhadas Carvalho (2008 apud MATEUS, 2015) propôs as seguintes fórmulas, bastante simplificadas, para determinar o acréscimo de isolamento sonoro:

$$\Delta L_w (\text{acrescentar ao piso flut.}) = (\Delta L_w (\text{revest. elásticos resilientes}) - 12) / 2 \quad (\text{equação 36})$$

Importante pontuar que só haverá um acréscimo no isolamento se o isolamento do revestimento elástico/flutuante for maior que 12 dB. Mateus (2015), pondera que os ensaios realizados para o sistema duplo flutuante não foram animadores, tendo o sistema alcançado valores de isolamento iguais ou pouco maiores se comparados com o sistema de piso flutuante simples.

3 METODO

3.1 ETAPAS DA ANÁLISE

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso com as etapas de trabalho definidas na Figura 25, onde, primeiramente, revisou-se os **conceitos mais relevantes** da acústica para o pleno entendimento do tema do trabalho. Posteriormente, foram **analisados projetos e sistemas construtivos** de um empreendimento atualmente em construção. Da mesma forma, foram analisadas e avaliadas soluções construtivas de isolamento de ruídos de impacto. A partir dessa análise, foi proposta solução construtiva, com o objetivo de atender ao requisito de desempenho acústico de ruído de impacto e, conseqüentemente, proporcionar um maior conforto para o morador.

O ponto de partida para revisão bibliográfica foi a **definição do sistema de piso** que teria seu desempenho acústico estudado, levando em consideração a tipologia dos sistemas já em execução no empreendimento. Com a definição do sistema construtivo e da tipologia empregada, foram **abordados e elucidados conceitos** referentes ao som e ao ruído e, também, definidos parâmetros no que se refere a medição das ondas sonoras nos meios de interesse.

Em seguida, foram listados e exemplificados os **meios de transmissão e os métodos de isolamento**, concentrando-se nos sistemas e tipologias adotados pela empresa, e nas soluções construtivas que pudessem melhorar o desempenho acústico dos referidos sistemas.

Com a consolidação da revisão bibliográfica, definiu-se uma sequência para a análise dos projetos, considerando a estrutura, as vedações e os revestimentos. Em seguida, foram **calculados os valores de nível de pressão sonora** de impacto de projeto, com base no método simplificado da ISO 15712:2005 para a laje de projeto. Após, foram calculados os valores de redução do nível de pressão sonora para cada configuração de sistema, considerando um único contrapiso.

Por fim, foi proposta solução visando o atendimento do requisito de desempenho acústico dos sistemas de pisos flutuante, mantendo as possibilidades de personalização do produto final entregue ao cliente. Ainda, com a escolha da solução de isolamento, elaborou-se um projeto,

uma instrução de trabalho e uma ficha de verificação de serviço e, ainda, foram comparados os resultados obtidos através dos cálculos e os resultados fornecidos pelos fabricantes. Nesse sentido, buscou-se na bibliografia adaptações, modificações e procedimentos exequíveis e que não fossem restritivas.

Figura 25 - Etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO DE ANÁLISE

O terreno do empreendimento (Figura 26) encontra-se localizado na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, na Avenida João Pessoa, próximo ao entroncamento Avenida Bento Gonçalves.

Figura 26 - Planta de situação do empreendimento

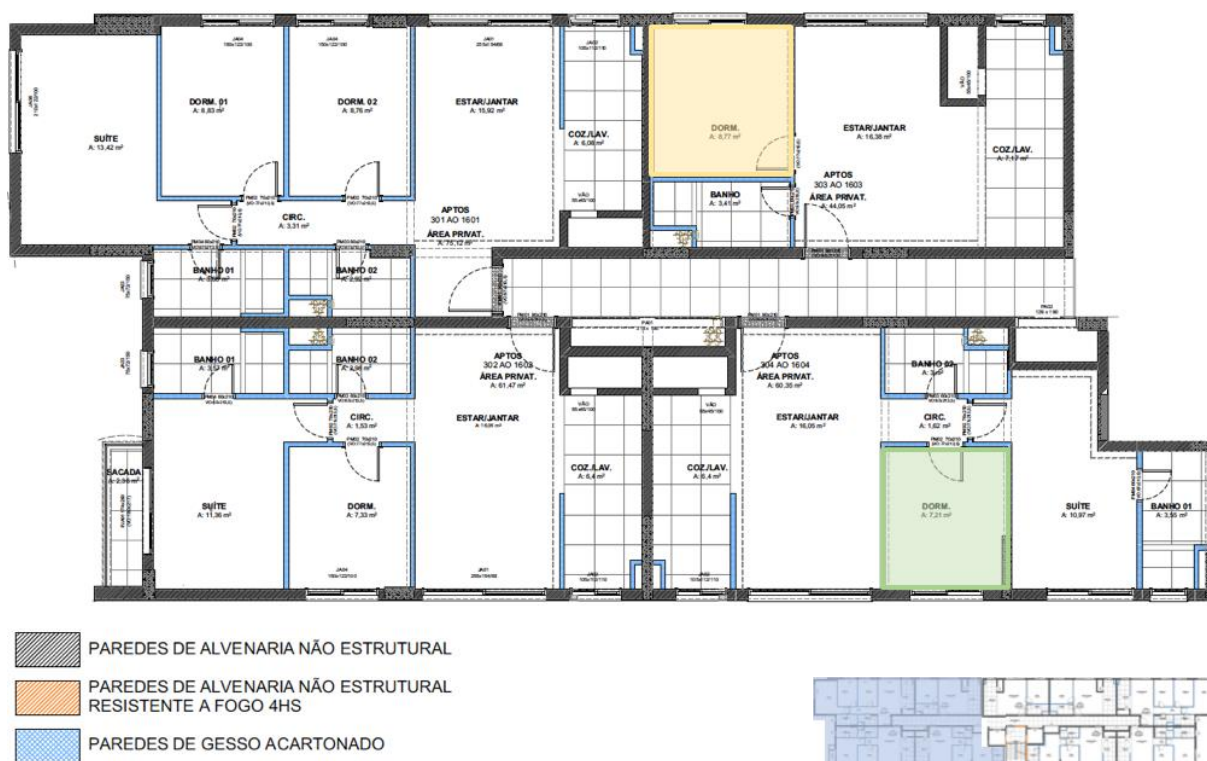


(fonte: elaborado pelo autor)

O empreendimento consiste em uma edificação residencial multifamiliar, com térreo, 15 pavimentos, cobertura e volume superior. Estão contidas nesses 15 pavimentos 151 economias residenciais, totalizando uma área privativa de apartamentos de 6295,35 m².

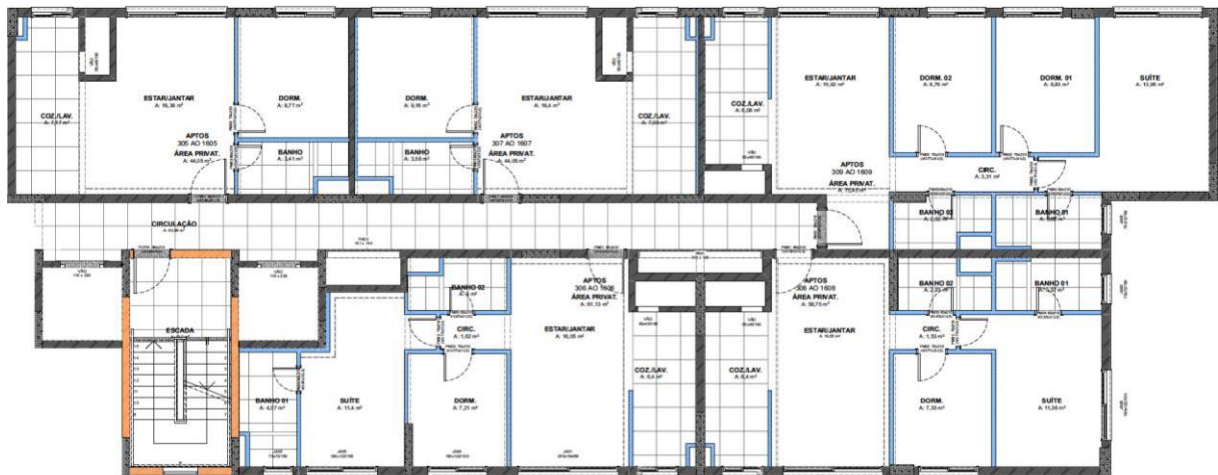
A divisão das unidades no pavimento tipo ocorre conforme a Figura 27 e a Figura 28 – onde o pavimento tipo foi separado na junta de dilatação para melhor visualização – sendo que cada pavimento possui 9 unidades autônomas.




Figura 27 - Planta baixa da frente do prédio até a junta de dilatação



(fonte: adaptado de IDEIA1, 2016)

Figura 28 – Planta baixa da frente da junta de dilatação até os fundos do prédio



-  PAREDES DE ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL
-  PAREDES DE ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL RESISTENTE A FOGO 4HS
-  PAREDES DE GESSO ACARTONADO



(fonte: adaptado de IDEIA1, 2016)

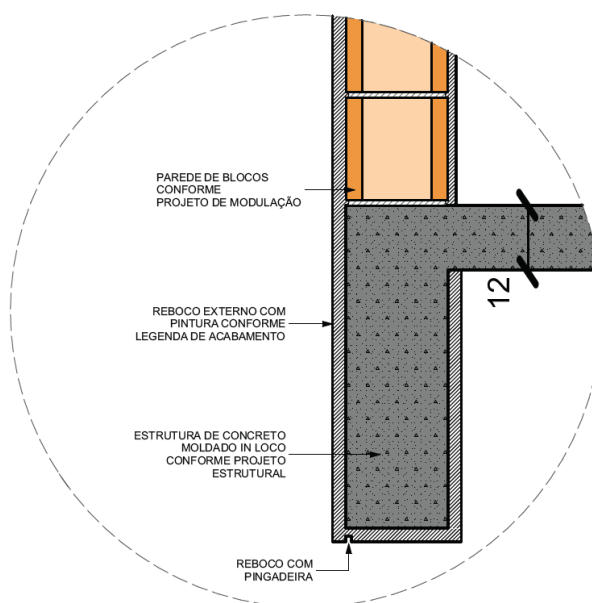
4 ANÁLISE DE PROJETO E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

A análise de projeto apresenta um panorama da atual configuração dos sistemas de pisos do empreendimento e aproxima, com base no método simplificado da ISO 12354-2:2005, o desempenho do sistema de piso para as duas situações mais críticas, onde a área e o volume do cômodo são reduzidos e as paredes apresentam massa e ligações rígidas que favoreçam a transmissão dos ruídos de impacto ao cômodo inferior por meio das transmissões marginais.

4.1 AVALIAÇÃO DO PROJETO ATUAL

Atualmente, a construtora entrega aos seus clientes, em suas áreas privativas, como sistema de compartimentação horizontal uma **laje de concreto armado maciço** com espessura total de 12 cm e acabamento polido, deixando a execução de contrapisos e a instalação de revestimentos a cargo do cliente conforme Figura 29. Do ponto de vista logístico e estrutural, o modelo adotado possui vantagens como a remoção de mais um serviço do cronograma, a dispensabilidade de aguardar a cura do contrapiso, que pode chegar a sete dias de acordo com a NBR 13753:1996 e a ausência de mais um carregamento sobre a laje.

Figura 29 - Detalhe com a espessura da laje



(fonte: adaptado de IDEIA1, 2016)

Entretanto, do ponto de vista acústico, é possível verificar que essa tipologia de laje obtém, nos ensaios de ruído de impacto, para condições de laboratório, resultados muito próximos do limite mínimo de desempenho para pisos (Tabela 2). Além disso, de acordo com os parâmetros da EN 15712-2:2005 variáveis como as dimensões da laje em análise, a rigidez revestimento aplicado, o volume dos cômodos emissor e receptor e o tipo de vedação vertical e de ligação podem acarretar em um aumento no nível de pressão sonora medido.

Tabela 2 - Nível de pressão sonora de impacto padronizado do pavimento de referência

Frequência (Hz)	$L_{n,r,0}$ (dB)
100	67
125	67,5
160	68
200	68,5
250	69
315	69,5
400	70
500	70,5
630	71
800	71,5
1000	72
1250	72
1600	72
2000	72
2500	72
3150	72
$L_{n,r,0,w}$	78

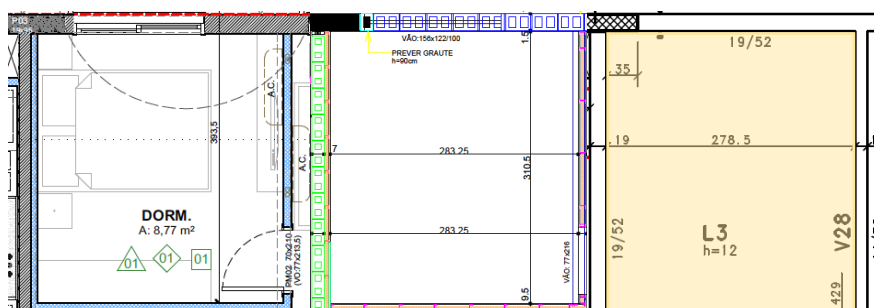
(fonte: ISO 717-2:2013)

Segundo a NBR 15.575:2013 – Parte 3, no que se refere ao nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, os ensaios devem ser realizados nos **dormitórios das unidades**. Considerando as observações acima, os critérios e os níveis de desempenho da Quadro 2, e a disposição da estrutura no projeto analisado, foram selecionados dormitórios críticos, os quais têm as menores áreas de laje e têm seus perímetros delimitados por vigas e paredes.

4.1.1 Plantas do dormitório crítico - Apartamento final 03

A planta arquitetônica, a planta baixa de modulação e a planta estrutural do dormitório do apartamento de final 03 estão apresentadas na Figura 30.

Figura 30 - Planta arquitetônica, planta baixa de modulação e planta estrutural dos apartamentos de final 03, respectivamente

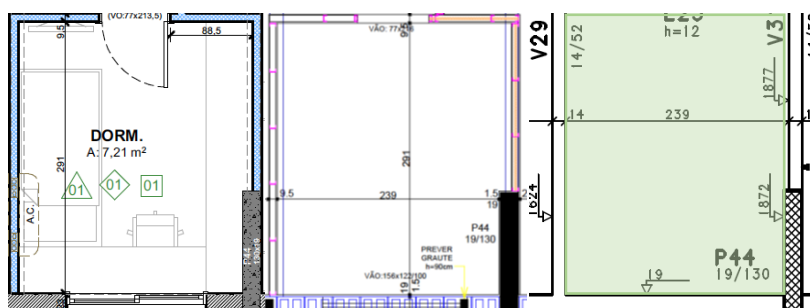


(fonte: Adaptado de IDEIA1, 2016)

4.1.2 Plantas do dormitório crítico – Apartamento final 04

A planta arquitetônica, a planta de primeira fiada e a planta estrutural do dormitório do apartamento de final 04 estão apresentadas na Figura 31.

Figura 31 - Planta arquitetônica, planta baixa de modulação e planta estrutural dos apartamentos de final 04, respectivamente



4.1.3 $L'_{nT,w}$ – Cálculo da estimativa

O desempenho do sistema de piso para os dormitórios foi estimado utilizando os projetos de formas, de arquitetura e de primeira fiada de modulação. Incluindo, nesta estimativa, as tipologias e os materiais especificados nas vedações verticais e no sistema de pisos.

4.1.3.1 Características dos materiais

Afim de estabelecer uma estimativa de desempenho do sistema, as seguintes características dos materiais foram utilizadas como dados de entrada:

- a) Alvenaria: Blocos cerâmicos de 19 x 19 x 29 cm, com 7 MPa de resistência da empresa Pauluzzi, com 175 kg/m²;
- b) Alvenaria: Blocos cerâmicos de 14 x 19 x 29 cm, com 7 MPa de resistência da empresa Pauluzzi, com 145 kg/m²;
- c) Revestimento Interno: 2 cm argamassa cimentícia com 20 kg/m².cm;
- d) Revestimento Externo: 3 cm argamassa cimentícia com 20 kg/m².cm;
- e) Drywall: Sistema W111/73/48 (Knauf), com 22 kg/m²;
- f) Concreto: 25 MPa, com 276 kg/m²;

4.1.3.2 Dimensões dos cômodos

Da mesma forma, as seguintes características geométricas foram utilizadas como dados de entrada:

- g) Pé direito: 2,62 m;
- h) Apartamento final 03 - Área: 8,77 m²;
- i) Apartamento final 03 - Volume: 23,50 m³;
- j) Apartamento final 04 - Área: 7,21 m²;
- k) Apartamento final 04 - Volume: 19,32 m³;

4.1.3.3 Resultados

Utilizando as equações e os valores supracitados, obteve-se valores de projeto para o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado (O memorial de cálculo completo encontra-se no Apêndice A deste trabalho). Desses valores, cabe o alerta que, mesmo sem considerar as transmissões devido às ligações com elementos de vedação vertical, o resultado encontrado (**78,6 dB**) aproxima-se muito do valor máximo permitido na NBR 15.575:2013 - 3, que é de 80 dB, conforme Quadro 2.

Quando consideradas as transmissões devido aos vínculos com os elementos de vedação vertical, estimou-se um aumento dos níveis medidos variando entre **0 e 2 dB**, em decorrência da presença de paredes de alvenaria e pilares junto aos dormitórios, que facilitam a propagação dos ruídos de impacto. Dessa forma, o sistema de piso projetado e entregue ao cliente não atende ao desempenho mínimo conforme o Tabela 3. Vale ressaltar que, devido ao pequeno volume dos ambientes de ensaio, o fator de correção que considera o tempo de reverberação do cômodo receptor prejudica significativamente o desempenho do sistema em relação ao ruído de impacto.

Tabela 3 - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado calculado

Parâmetro	Apartamento final 03	Apartamento final 04
$L_{n,w,eq}$	78,6	78,6
K	2,0	0,0
$L'_{n,w}$	80,6	78,6
$L'_{nT,w}$	81,7	80,6

(fonte: elaborado pelo autor)

Deve-se, portanto, adotar medidas para que o sistema de piso atenda pelo menos ao nível mínimo de desempenho, buscando-se, todavia, atingir o nível intermediário de desempenho. De acordo com a proposta do presente trabalho, soluções construtivas abordadas devem ser parte do produto final entregue ao cliente. Assim, a seguir, serão abordadas diferentes possibilidades de modificações nos projetos do empreendimento.

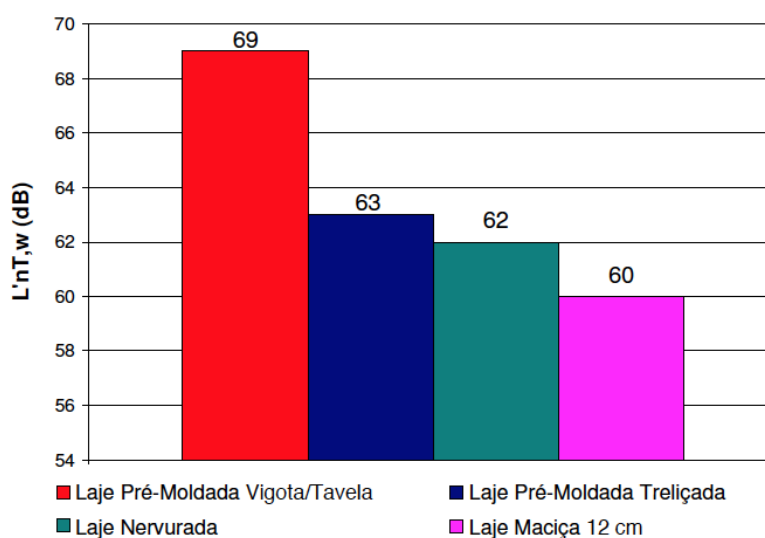
4.2 ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO

O presente subcapítulo introduz, analisa e avalia as principais soluções e alternativas de soluções que visam a melhoria no desempenho acústico do sistema de piso indicado no projeto.

4.2.1 Tipologia de laje

As diferentes alternativas para tipologias de laje apresentam, segundo estudo de Pereyron (2008), desempenhos bem distintos (Figura 32). É possível avaliar, ainda que sem parâmetros de custo e tempo de execução, o desempenho acústico *in loco* das seguintes tipologias ensaiadas em “osso”:

Figura 32 - Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado calculado para diferentes tipologias



(fonte: adaptado de PEREYRON, 2018)

Optou-se a manutenção da laje de projeto, por entender que, frente as demais tipologias de lajes, a laje maciça de 12 cm é aquela que possui o melhor desempenho acústico ao ruído de impacto.

4.2.2 Espessura de laje

Em se tratando de lajes homogêneas de concreto armado, o estudo de Brondani (1999) e a fórmula para cálculo do $L'_{nT,w}$ da ISO 15712-2:2005 apontam que um aumento de espessura

melhora, em termos de desempenho acústico para ruídos de impacto, apenas 1 dB para cada centímetro de laje acrescentado. Atrelados ao aumento da espessura da laje, ainda se podem observar o aumento do carregamento das vigas e pilares, que, por consequência, causa um aumento da taxa de armadura da estrutura e um aumento do volume de concreto do projeto. Assim, devido a ineficácia dessa solução, a mesma foi descartada.

4.2.3 Forro falso

As baixas melhorias proporcionadas pelo sistema de forros falsos no desempenho acústico (SANTOS, 2012), atreladas ao alto custo de execução e diminuição da liberdade de personalização do cliente tornam essa opção de projeto uma medida com caráter de solução pós-entrega, para o caso onde seja constatada insuficiência do isolamento acústico do sistema projetado já construído. Dessa forma, como dito anteriormente, essa solução não será considerada.

4.2.4 Revestimento flexível

As opções de revestimentos flexíveis são inúmeras, destacando-se os pisos laminados, vinílicos e PVC. Entretanto, as soluções abordadas neste trabalho seguem a premissa da liberdade de personalização, ou seja, ficam excluídas as soluções de revestimento definitivo. Cabe, contudo, ressaltar a melhora bastante expressiva do isolamento acústico quando do uso de carpetes como revestimento, ainda que seu uso possa ser consideravelmente anti-higiênico (SANTOS, 2012).

4.2.5 Contrapiso menos rígido

Segundo Tutikian et al. (2017) a diminuição da rigidez dinâmica do contrapiso contribui para a melhora do isolamento sonoro do mesmo. Os autores observaram que a substituição de até 100% dos agregados miúdos por agregados leves pode ocasionar **uma redução de até 9 dB** nos níveis de sons de impacto medidos.

Entende-se, no entanto, que a preparação in loco da argamassa pode ocasionar problemas no desempenho do sistema projetado. Diferenças nos traços especificados acarretam em problemas

tanto de resistência mecânica do contrapiso quanto na diminuição do desempenho acústico. Além disso, a diminuição de 9 dB não faria com que o sistema projetado atinja uma **melhor classificação quanto ao seu desempenho** conforme NBR 15.575:2013. Assim, entende-se que uma solução mais eficiente e industrializada para o sistema de pisos traria maiores benefícios à construtora e aos clientes.

4.2.6 Piso flutuante

Dentre todas as soluções apresentadas, a solução que mais se adapta à proposta de entrega de unidades da empresa, trazendo consigo uma expressiva melhora no desempenho acústico frente ao sistema de pisos sem tratamento, é solução de pisos flutuantes. Ainda, segundo Hall (1999), o sistema de pisos flutuantes é **método mais utilizado** para a obtenção de valores adequados de nível de pressão sonora de impacto.

Todavia, devido ao alto grau de complexidade de execução, o elevado grau de detalhamento de projetos e acompanhamento in loco do serviço deve ser elevado, uma vez que qualquer ligação rígida entre o contrapiso e a laje pode comprometer desempenho do sistema (PEDROSO, 2007).

4.3 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES

A partir da definição do piso flutuante como modelo de solução a ser utilizado no sistema de pisos, necessita-se especificar os componentes utilizados no sistema. Para tanto, conforme Pedroso (2007), Rocha (2012) e Caniato (2016), existem propriedades a serem observadas com atenção, tanto da camada resiliente, quanto do contrapiso.

4.3.1 Camada resiliente

No que se refere a camada resiliente do piso flutuante, duas propriedades do material determinam o isolamento acústico do sistema: o módulo de elasticidade dinâmico e a espessura do material. A relação entre essas duas variáveis (descrita na equação 30) é expressa por meio da **rigidez dinâmica**, rigidez essa utilizada para a especificação do material.

Ainda, outra propriedade que pode alterar o desempenho projetado para o sistema, conforme salientado por Caniato et al. (2016), é a **deformação relativa** e a consequente elevação da rigidez dinâmica da manta quando colocado sob carga, seja a carga do próprio contrapiso ou cargas acidentais. Essa deformação relativa pode ser prevista com a realização do ensaio de fluência a compressão e extrapolada para o limite da sua vida útil, conforme ISO 20392:2007. O autor ainda propõe uma relação entre a deformação relativa e a diminuição da redução do nível de pressão sonora de impacto, onde materiais com deformações relativas inferiores a 20% apresentam uma variação da redução de nível de pressão sonora de impacto (ΔL_w) inferior a 3 dB. Enquanto materiais com deformações relativas superiores a 20% apresentam uma variação de redução de nível de pressão sonora de impacto (ΔL_w) superior a 3 dB.

Em relação aos aspectos construtivos, conforme alertado por Rocha (2012), a especificação da camada resiliente deve ser tal que a mesma não deforme excessivamente, evitando assim desconfortos ao usuário, fissuras no contrapiso e manifestações patológicas no revestimento final. Ainda, segundo Pedroso (2007), o desempenho do sistema verificado *in situ* é, na maioria das vezes, inferior àquele projetado. Uma das possíveis causas para este fato são as chamadas **pontes acústicas** – uniões rígidas entre o piso flutuante e os elementos de compartimentação.

As referidas pontes acústicas, provenientes de falhas de projeto e execução, podem ter sua origem nas seguintes etapas:

- a) Na **preparação do substrato** para o posicionamento da manta: defeitos de planicidade e resíduos de outros materiais podem alterar a espessura da manta, criando assim um ponto de fragilidade no sistema;
- b) No **posicionamento da manta** ao longo da laje: frestas deixadas entre a união de mantas e, para o caso de lãs, posicionamento da manta com a superfície desprotegida voltada para cima podem permitir a infiltração da nata de cimento da argamassa do contrapiso na manta e a formação de uniões rígidas;
- c) Nas **interfaces da manta** com outros componentes da edificação: se não tratados corretamente, elementos de vedação vertical, instalações prediais e sistemas de impermeabilização tornam-se pontes acústicas entre o contrapiso e a estrutura;
- d) Na **execução do contrapiso** sobre a manta: perfurações e movimentações no posicionamento da manta durante a execução do contrapiso podem originar pontes acústicas.

Dentro do mercado brasileiro de materiais resilientes para pisos acústicos, considerando as propriedades e os aspectos construtivos da camada resiliente de um sistema de piso flutuante e

dada a disponibilidade de laudos, ensaios e fichas técnicas que atestem suas propriedades e seu desempenho, os materiais que tiveram seu isolamento calculado estão listados e descritos abaixo.

4.3.1.1 Fabricante A – Mantas PE-10 e PE-5

A fabricante A, que produz espumas, tecidos sintéticos e artefatos plásticos, com sede em no Rio Grande do Sul, possui em seu portfólio a manta de polietileno, com opções de espessura de 5 e 10 mm, com especificações conforme Tabela 4.

Em contato com o fabricante, laudos de ensaios de rigidez dinâmica, compressibilidade e frequência de ressonância foram gentilmente cedidos ao autor. Os resultados dos ensaios de compressibilidade, conforme EN 29052-1:2007, seguem os padrões encontrados no estudo de Neves et al. (2008) para mantas de polietileno com características similares.

Tabela 4 - Especificações das mantas PE-10 e PE-5

Propriedade	PE-10	PE-5
Espessura	10 mm	5 mm
Densidade	0,2 kg/m ²	0,1 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	28 MN/m ³	52 MN/m ³
ΔL_{wfab}	22 dB	19 dB

(fonte: Site fabricante A)

Ainda, vale ressaltar que a deformação relativa ao fim de 10 anos é, conforme laudo do mesmo laboratório, de 10,6%. Deformação essa que, de acordo Caniato et al. (2016), não compromete o desempenho do sistema de piso flutuante em mais de 3 dB ao longo de sua vida útil.

Em relação aos aspectos construtivos, ambas as mantas apresentam um filme impermeável na face superior, o que dispensa o uso de materiais sobre o piso para a execução do contrapiso. É necessário, no entanto, utilizar fita adesiva especificada pelo fabricante para vedar as emendas entre mantas.

4.3.1.2 Fabricante B – Manta PET-8

Situada em Santa Catarina, a empresa possui uma gama de produtos para a construção civil concentradas na utilização de mantas de poliéster (PET) recicláveis. Nesse sentido, a empresa oferece como solução para material resiliente a manta de lã de PET com 8 mm de espessura, com características de acordo com Tabela 5.

Em se tratando de ensaios, o site da empresa fornece, após breve cadastro, acesso aos laudos ensaio de rigidez dinâmica, de nível de pressão sonora de impacto in loco e em laboratório. Entretanto, a empresa não disponibiliza os ensaios de fluência à compressão.

Tabela 5 - Especificações da manta PET-8

Propriedade	Resultado
Espessura	8 mm
Densidade	0,24 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	8 MN/m ³
ΔL_{wfab}	28 dB

(fonte: adaptado do Site fabricante B)

Existem diversos estudos (Zuchetto et al. 2016, Klippel Filho et al. 2017) demonstram que, para densidades de 0,24 kg/m², porém com 10 mm de espessura, os materiais de fibras de poliéster apresentam deformações relativas próximas a 15%. Valor esse, ainda dentro dos limites aceitáveis, conforme Caniato et al. (2016).

4.3.1.3 Fabricante C – Manta PET-5

Com fábrica em São Paulo, a Fabricante C também é voltada para o segmento de materiais compostos por fibras de poliéster. Como solução para ruídos de impacto em pisos, a empresa oferece a manta de Lã de PET, com 5 mm de espessura.

Da mesma forma, para obtenção dos laudos e relatórios de ensaio é necessário um breve cadastro no site da empresa, onde são disponibilizados os dados da Tabela 6. Entretanto, a

empresa também não disponibiliza os ensaios de fluência à compressão, afirmando que seu produto não sofre deformações.

Tabela 6 - Especificações da manta PET-5

Propriedade	Resultado
Espessura	5 mm
Densidade	0,25 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	6 MN/m ³
ΔL_{wfab}	27 dB

(fonte: adaptado do Site fabricante C)

4.3.1.4 Fabricante D – Manta PET-8

Também situada em Blumenau, Santa Catarina, a empresa fornece uma gama de materiais resilientes para a utilização em pisos flutuantes, dentre eles vale citar a manta de poliéster (Tabela 7), as mantas de polietileno e a manta de polipropileno.

Tabela 7 - Especificações da manta PET-8

Propriedade	Resultado
Espessura	8 mm
Densidade	0,24 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	34 MN/m ³
ΔL_{wfab}	27 dB

(fonte: adaptado do Site fabricante D)

Embora a empresa forneça os valores de rigidez dinâmica dos seus produtos, a mesma não respondeu às tentativas de contato do autor para a disponibilização dos laudos que comprovam essas características.

Ainda, construtivamente, todas as mantas apresentam proteção contra a argamassa e não necessitam de cobertura extra.

4.3.1.5 Fabricante D – Mantas PE-10 e PE-5

A fabricante D fornece mantas de polietileno de 10 e 5 mm, muito similares às mantas da fabricante A, com características conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Especificações das PE-10 e PE-5

Propriedade	PE-10	PE-5
Espessura	10 mm	5 mm
Densidade	0,2 kg/m ²	0,1 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	28 MN/m ³	52 MN/m ³
ΔL_{wfab}	24 dB	25 dB

(fonte: adaptado do Site fabricante D)

4.3.1.6 Fabricante D – Manta PP-2

A fabricante D oferece a manta PP-2 de polipropileno com 2 mm de espessura. A mesma destaca-se por sua pequena espessura, de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 - Especificações da manta PP-2

Propriedade	Resultado
Espessura	2 mm
Densidade	0,08 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	86 MN/m ³
ΔL_{wfab}	22 dB

(fonte: adaptado do Site fabricante D)

4.3.1.7 Fabricante E – Manta PEX

A manta PEX de polietileno expandido reticulado é fabricada pela empresa Fabricante E e distribuída pela Fabricante D. Seu diferencial está em sua estrutura reticulada, que aumenta

expressivamente sua fluência à compressão em relação as mantas de polietileno expandido, porém aumenta sua rigidez dinâmica (Tabela 10)

Tabela 10 - Especificações da manta PEX

Propriedade	Resultado
Espessura	4 mm
Densidade	30 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	42 MN/m ³
ΔL_{wfab}	15 dB

(fonte: adaptado do Site fabricante E)

4.3.1.8 Fabricante F – Manta SRB

A manta SRB, fabricada e distribuída pela Fabricante F, é uma manta pré-fabricada de grânulo de pneus reciclados aglomerados com poliuretano. O fabricante afirma, com base em um laudo de um ensaio de ruído de impacto do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), que o sistema de laje, manta e contrapiso apresenta uma redução do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado de 14 dB. Todavia, não está disponível aos projetistas nenhum relatório de ensaio que ateste seu desempenho.

Por outro lado, Oliveira (2016), em sua pesquisa, obteve os valores das propriedades com o próprio, conforme Tabela 11:

Tabela 11 - Especificações da manta de SRB

Propriedade	Fábrica
Espessura	5 mm
Densidade	3 kg/m ²
Rigidez Dinâmica	29 MN/m ³
ΔL_{wfab}	14 dB

(fonte: adaptado de OLIVEIRA, 2016)

Ainda que encontrados os dados necessários para o cálculo teórico do nível de ruído da manta, entende-se que a necessidade de posicionar uma lona plástica sobre o revestimento e os possíveis riscos envolvidos, como a criação de pontes acústicas, e a falta de dados sobre a deformação do material em relação à carregamentos ao longo da vida útil, deixam a manta em desvantagem em relação a seus concorrentes.

4.3.1.9 Fabricante G – Mantas PEBD-10 e PEBD-5

A Fabricante G fornece duas opções de manta com duas espessuras disponíveis (Tabela 12). Entretanto, tanto para as mantas de polietileno quanto para as mantas de espuma elastomérica não há nenhum laudo disponível comprovando tecnicamente os valores fornecidos pela empresa.

Tabela 12 - Especificações das mantas PEBD-10 e PEBD-5

Propriedade	PEBD-10	PEBD-5
Espessura	10 mm	5 mm
Densidade	0,3 kg/m ²	0,15 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	27 MN/m ³	51 MN/m ³
ΔL_{wfab}	24 dB	22 dB

(fonte: adaptado do Site Portal da Acústica)

4.3.1.10 Fabricante G – Mantas EE-10 e EE-5

Da mesma forma, a Fabricante G também oferece como opção as mantas de espuma elastomérica, com 5 e 10 mm de espessura (Tabela 13).

Tabela 13 - Especificações das mantas EE-10 e EE-5

Propriedade	EE-10	EE-5
Espessura	10 mm	5 mm
Densidade	0,5 kg/m ²	0,25 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	33 MN/m ³	54 MN/m ³
ΔL_{wfab}	27 dB	24 dB

(fonte: adaptado do Site fabricante G)

4.3.1.11 Fabricante H – VID-2.8

Fabricado pela Fabricante H, a manta VID-2.8, composta por lã de vidro, é vendida somente no continente Europeu e nem todas suas propriedades estão disponíveis (Tabela 14)

Tabela 14 - Especificações da VID-2.8

Propriedade	Resultado
Espessura	2.8 mm
Densidade	-
Rigidez dinâmica aparente	12 MN/m ³
ΔL_{wfab}	24 dB

(fonte: adaptado do Site fabricante H)

4.3.1.12 Fabricante H – ROC-15

Fabricado pela Fabricante H, a manta ROC-15 composta por lã de rocha é vendida somente no continente Europeu. Da mesma forma, com o objetivo de fornecer mais uma alternativa de material, também terá seu desempenho calculado com as especificações da Tabela 15.

Apesar dos valores estarem indicados nas fichas técnicas, os laudos referentes aos ensaios não estão disponíveis e a empresa não retornou contato.

Tabela 15 - Especificações da manta ROC-15

Propriedade	Resultado
Espessura	15 mm
Densidade	-
Rigidez dinâmica aparente	10 MN/m ³
ΔL_{wfab}	-

(fonte: adaptado do Site fabricante H)

4.3.2 Camada Rígida

As principais propriedades das camadas rígidas que influenciam a atenuação acústica do ruído de impacto são a espessura e a densidade desses materiais. Conforme escrito anteriormente, a espessura de 12 cm da laje será mantida, e, portanto, somente a **espessura do contrapiso** necessita ser especificada.

Conforme os trabalhos de Pedroso (2007), Rocha (2012), Klippel Filho et al. (2017) e Sousa (2008), deve-se preservar uma espessura mínima de 4 cm de contrapiso sobre a camada resiliente. Já o site da fabricante MAPEI, de mantas acústicas e argamassas de contrapiso, fornece a Tabela 16, adaptada pelo autor, relacionando a espessura e deformação da manta quando comprimida com a espessura do contrapiso e a armadura mínima necessária para que não ocorram fissuras no piso.

Tabela 16 - Espessura e armadura do contrapiso conforme deformação do contrapiso

Espessura / Deformação	Espessura Mínima	Armadura
$d_0 < 3 \text{ mm} / d < 5 \text{ mm}$	40 mm	Possível sem armadura
$d_0 > 3 \text{ mm} / d < 0,5 \text{ mm}$	40 mm	Malha 50 x 50 mm, $\phi = 2 \text{ mm}$
	50 mm	Não necessário
$d_0 < 3 \text{ mm} / d > 0,5 \text{ mm}$	40 mm	Malha 50 x 50 mm, $\phi = 2 \text{ mm}$
	50 mm	Não necessário
$d_0 < 12 \text{ mm} / d > 3 \text{ mm}$	40 mm	Malha 100 x 100 mm, $\phi = 5 \text{ mm}$
	50 mm	Malha 50 x 50 mm, $\phi = 2 \text{ mm}$

(fonte: adaptado de MAPEI, 2012)

Na ausência de ensaios que comprovem que a deformação sob compressão das mantas em análise seja inferior ao máximo permitido e de forma que seja possível comparar os resultados de isolamento sonoro obtidos, padronizou-se um **contrapiso armado com 5 cm de espessura**, com uma massa aparente de 95 kg/m^2 e uma armadura composta por **tela soldada galvanizada** de fio de 2,1 mm e malha de 50 x 50 mm, posicionada 3 cm acima da manta. A gramatura da armadura galvanizada projetada é de $0,76 \text{ kg/m}^2$. Com a utilização dessa tela, evita-se o possível

surgimento de fissuras devido às deformações na manta que possam ocorrer logo após o carregamento do contrapiso ou ao longo da vida útil do sistema.

4.4 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO DAS MANTAS

Com base nos valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado apresentados na ISO 717-2:2013 para uma laje de concreto homogênea de 12 cm foram calculados os valores de redução padronizada do nível de pressão sonora de impacto das mantas conforme ISO 15712:2005 para cada frequência central e ponderados de acordo com o procedimento descrito na primeira norma. As memórias de cálculo encontram-se no Apêndice A do presente trabalho e os resultados são descritos na Tabela 17.

A alteração da espessura e da densidade do contrapiso não altera significativamente o desempenho acústico do sistema resultante, conforme observado por Klippel et al. (2017) em seu estudo. Assim, verifica-se desnecessária a variação da massa do contrapiso.

Tabela 17 – Valores de isolamento calculados para um contrapiso armado de 5 cm

Fabricante	Manta	Material	Espessura (mm)	Frequência de Ressonância (Hz)	ΔL_{wcal} (dB)
A	PE-10	Polietileno Expandido	10	86,4	26
A	PE-5	Polietileno Expandido	5	117,75	22
B	PET-8	Poliéster	8	46,18	34
C	PET-5	Poliéster	5	39,99	36
D	PET-8	Poliéster	8	95,21	25
D	PE-10	Polietileno Expandido	10	86,40	26
D	PE-5	Polietileno Expandido	5	117,75	22

D	PP-2	Polipropileno Expandido	2	151,42	19
E	PEX-4	Polietileno Reticulado	4	105,82	23
F	PEBD-10	Polietileno Expandido	10	84,84	26
F	PEBD-5	Polietileno Expandido	5	116,61	22
F	EE-10	Espuma Elastomérica	10	93,80	25
F	EE-5	Espuma Elastomérica	5	119,99	22
G	SRB-5	SBR + Poliuretano	5	87,93	26
H	VID-2.8	Lã de Vidro	2,8	115,46	22
H	ROC-15	Lã de Rocha	15	51,63	33

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 18 - Apresentação dos valores calculados para um contrapiso armado de 5 mm e uma laje homogênea de concreto armado de 12 cm

Fabricante	Manta	Material	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
A	PE-10	Polietileno Expandido	55,7	I
A	PE-5	Polietileno Expandido	59,7	I
B	PET-8	Poliéster	47,7	S
C	PET-5	Poliéster	45,7	S
D	PET-8	Poliéster	56,7	I
D	PE-10	Polietileno Expandido	55,7	I
D	PE-5	Polietileno Expandido	59,7	I

D	PP-2	Polipropileno Expandido	62,7	I
E	PEX-4	Polietileno Reticulado	58,7	I
F	PEBD-10	Polietileno Expandido	55,7	S
F	PEBD-5	Polietileno Expandido	59,7	I
F	EE-10	Espuma Elastomérica	56,7	I
F	EE-5	Espuma Elastomérica	59,7	I
G	SRB-5	SBR + Poliuretano	55,7	I
H	VID-2.8	Lã de Vidro	59,7	I
H	ROC-15	Lã de Rocha	48,7	S

(fonte: elaborado pelo autor)

Com a redução no nível de pressão sonora de impacto ponderado calculada, projetou-se o desempenho da composição do sistema de piso atual (laje homogênea de 12 cm de espessura) com o acréscimo da manta e do contrapiso e o enquadramento que esse sistema atingiria (Tabela 18) conforme nível de desempenho.

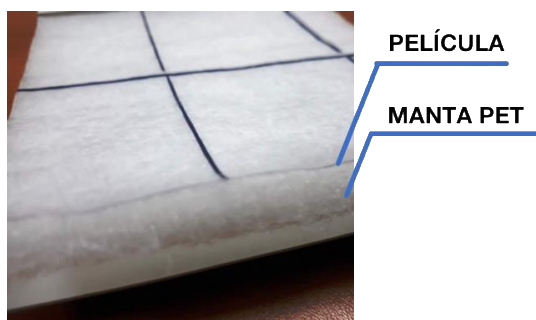
4.5 ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL RESILIENTE

A manta que obteve o melhor desempenho acústico, dentre as mantas das empresas que disponibilizaram dados e laudos acerca de seus produtos, foi a manta do fabricante C, a PET-5 com as especificações conforme Tabela 19. A mesma é composta por lã de poliéster, coberta com uma película de polietileno, conferindo certa impermeabilidade à manta e permitindo a execução direta do contrapiso (Figura 33).

Nesse sentido, a mesma atingiu o nível superior de desempenho de ruído de impacto considerando os cálculos presentes no Apêndice A. E, adicionalmente, os ensaios fornecidos pelo fabricante demonstram coerência com os valores calculados.

A partir da determinação do material que constituirá a camada resiliente, foram elaborados os projetos e as instruções de trabalho para a execução do piso flutuante.

Figura 33 – Detalhe da manta de poliéster com película de polietileno



(fonte: adaptado do site da fabricante B)

Tabela 19 - Manta especificada PET-5 do fabricante C

Propriedade	Resultado
Espessura	5 mm
Densidade	0,25 kg/m ²
Rigidez dinâmica aparente	6 MN/m ³
Frequência de Ressonância	39,99 Hz
ΔL_{wcalc}	36 dB
$L_{nT,w}$	45,7 dB

(fonte: elaborado pelo autor)

5 PROJETO E PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO

5.1 PROJETOS

O projeto elaborado (Figura 34 e Figura 35) a partir da planta arquitetônica do empreendimento tem em seu conteúdo a definição dos locais de aplicação a manta, as áreas totais a serem revestidas pela manta e a espessura do contrapiso a ser executado.

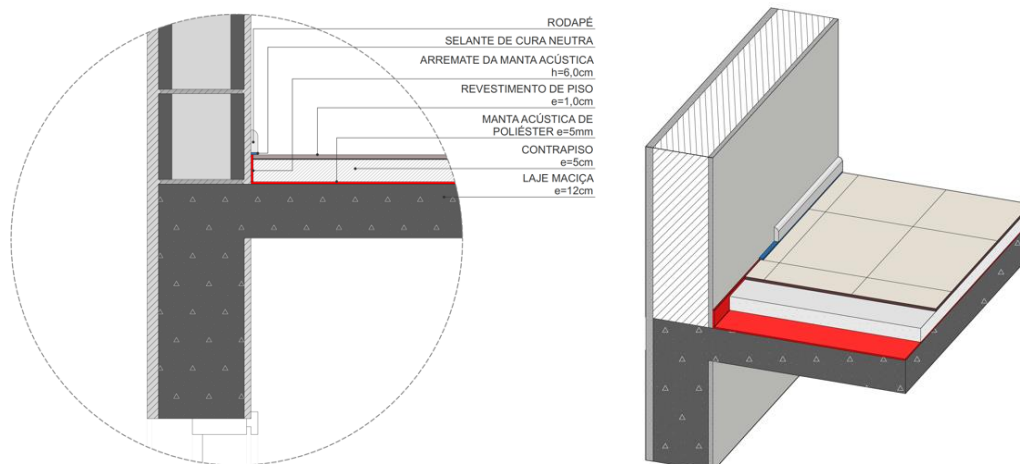
Figura 34 – Cômodos das unidades onde está prevista a colocação de manta acústica



(fonte: adaptado de IDEIA1, 2016)

Cabe ressaltar que o tratamento acústico será aplicado somente nos dormitórios, uma vez que a NBR 15:575:2013 preconiza que os ensaios devem ocorrer nesse cômodo e as interações com outros sistemas são evitadas.

Figura 35 – Detalhe de projeto com a manta e Representação 3D do encontro da manta acústica



(fonte: elaborado pelo autor)

O projeto completo está contido no Apêndice B deste trabalho.

5.2 INSTRUÇÃO DE TRABALHO

A instrução de trabalho fornece, em detalhes, o procedimento para a correta execução do sistema de pisos flutuantes, incluindo a documentação e os projetos necessários, os materiais e os equipamentos para a execução. Além disso, lista as condições iniciais preconizadas, descreve o procedimento de instalação da manta, de execução de arremates, de execução do contrapiso. Por fim, descreve o procedimento de execução dos acabamentos a serem realizados após a execução do serviço. A Figura 36 apresenta uma estruturação da Instrução de Trabalho.

Figura 36 - Primeira página da instrução de trabalho

LOGO	INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE FVS-OBR001-R00	Data: 23/05/18 Autor: Carlos Parise Revisão: - Aprovação: Carlos Parise
------	---	--

1 OBJETIVO

- Este documento tem por objetivo a padronização da execução de pisos flutuantes na empresa, incluindo a instalação da manta e a execução do contrapiso e o fornecimento de material para treinamento da equipe de engenharia das obras.

2 SERVIÇOS ANTERIORES

- Elevação da alvenaria;

3 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- Mapa de níveis de concretagem;
- Manual técnico do fornecedor da manta;
- Projeto de Estrutural Formas;
- Projeto de Modulação;
- Projeto de Contrapiso;
- Projeto Hidrossanitário;
- Projeto Elétrico;

4 MATERIAIS

- Manta acústica especificada conforme projeto;
- Argamassa para contrapiso especificada conforme projeto;

- Fita Silver Tape;
- Água;
- Selante especificado conforme projeto;
- Impermeabilização conforme projeto;
- Tela de aço para contrapiso;

5 EQUIPAMENTOS

5.1 PARA EXECUÇÃO

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Argamassadeira; Dosador; Enxada; Trincha; Régua de alumínio de 2 a 3 metros; Estilete; Nível a laser; Compensado; | <ul style="list-style-type: none"> Jerica ou Carrinho de mão; Despenadeira de aço; Pá; Soquete; Trena; Caixa para argamassa; Fita Silvertape ou indicada pelo fabricante; |
|--|--|

5.2 PARA CONFERÊNCIA

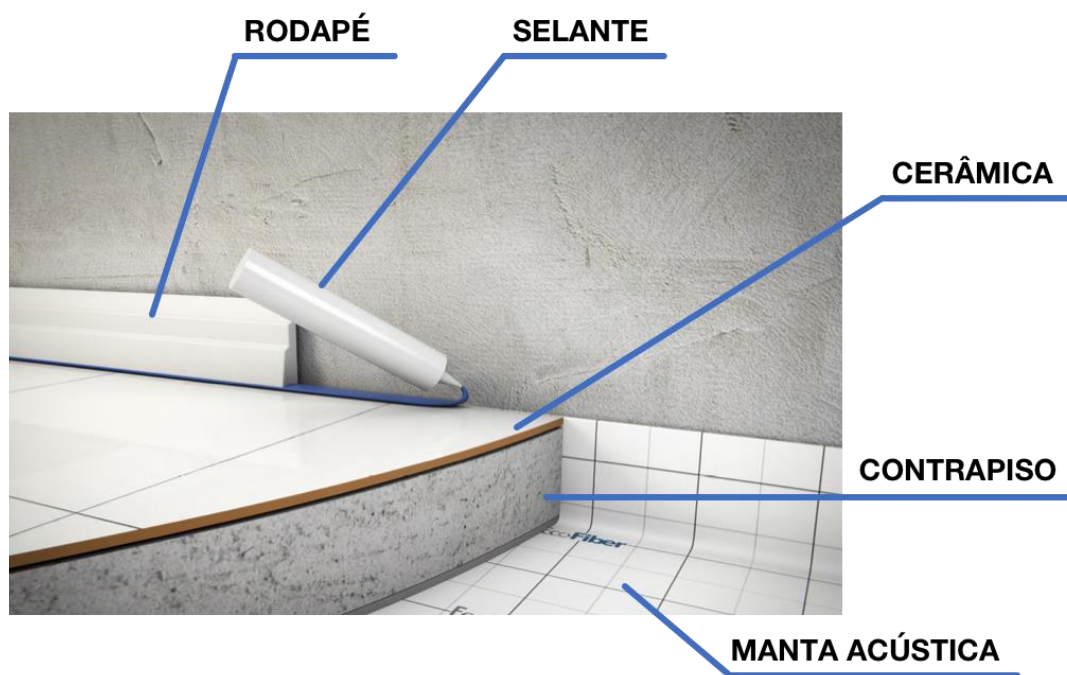
- Nível a laser;
- Régua de alumínio;
- Trena;

(fonte: elaborado pelo autor)

Com a entrega das unidades ocorrendo de forma em que o cliente defina e instale o revestimento final do piso, torna-se necessária a inclusão da obrigação da execução do tratamento de dessolidarização do piso (separação, com material flexível, do revestimento rígido e das vedações verticais e de outros elementos rígidos) no manual do síndico, do proprietário e no de uso e operação, com o risco do sistema não mais atingir o isolamento antes desempenhado. O procedimento de execução está descrito na Instrução de Trabalho e a Figura 37 apresenta um esquema da execução da junta de dessolidarização.

A instrução de trabalho completa está contida no Apêndice C deste trabalho.

Figura 37 – Esquema 3D do tratamento de dessolidarização



(fonte: adaptado de EcoFiber)

5.3 FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO

A ficha de verificação lista as principais atividades dentro do procedimento de execução de piso flutuante a serem monitoradas e fiscalizadas a fim de garantir o desempenho acústico e a durabilidade do sistema de piso flutuante. A Figura 38 apresenta uma estruturação da ficha de verificação e serviço.

Figura 38 - Ficha de verificação de serviço

LOGO		FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO PISO FLUTUANTE				Data: 23/05/18 Autor: Carlos P. Revisão: - Aprovação: Carlos P.	
OBRA:	RESPONSÁVEL:	TORRE:	APARTAMENTO:	DATA DE ABERTURA:	DATA DE CONCLUSÃO:		
ETAPAS DA LIBERAÇÃO PARA INÍCIO DO SERVIÇO		SIM	NÃO	SIM		NÃO	
1 PREPARAÇÃO							
1.1	Todos os documentos necessários estão disponíveis na engenharia?			1.4	Todos os equipamentos estão disponíveis no pavimento?		
1.2	Todos os projetos necessários estão disponíveis na engenharia?			1.5	Todas as atividades predecessoras estão finalizadas no local?		
1.3	Todos os materiais necessários estão disponíveis no pavimento?						
ITENS DE VERIFICAÇÃO	AMOSTRA	CONFERÊNCIA	TOLERÂNCIA	STATUS		SOLUÇÃO UTILIZADA?	
2 CONDIÇÕES INICIAIS							
2.2	100%	Nível a laser, verificar o nível final do contrapiso e os calamentos conforme projeto	± 5 mm				
2.3	100%	Régua de 2 metros de alumínio e cunha de medição.	± 2 mm				
2.4	100%	Visualmente	-				
3 INSTALAÇÃO DA MANTA							
3.1	100%	Visualmente, de acordo com o projeto	-				
3.2	100%	Visualmente. Avaliar com a trena caso julgar necessário.	+5 cm				
3.3	100%	Visualmente. A junta deve estar toda vedada	-				
3.4	100%	Visualmente	-				
3.5	100%	Visualmente	-				
4 EXECUÇÃO DO CONTRAPISO							
4.1	100%	Visualmente, observando possíveis danos a manta	-				
4.2	100%	Visualmente. Verificar a execução da compactação da argamassa	-				
4.3	100%	Visualmente e com Trena. O transpasse deve ser de 10 cm.	± 2 cm				
4.4	100%	Visualmente. Verificar a execução da compactação da argamassa	-				
4.5	100%	Nível a laser, verificar o nível final do contrapiso e os calamentos conforme projeto	± 5 mm				
4.6	100%	Régua de 2 metros de alumínio e cunha de medição.	± 2 mm				
Parte 1: SIM - Cumpre os requisitos; Não - Carência de elementos para início do serviço; SIM e NÃO - Cumpre após reinspeção. Parte 2, 3 e 4: A - Serviço aprovado; R - Serviço reprovado; A e R - Serviço aprovado após reinspeção. Parte 2, 3 e 4: Solução utilizada? Caso reprovado, deve-se indicar a solução utilizada				APROVAÇÃO DO ENCARGADO ___/___/___ Ass:	APROVAÇÃO MESTRE ___/___/___ Ass:	CÉNCIA DO ENGENHEIRO ___/___/___ Ass:	

(fonte: elaborado pelo autor)

A ficha de verificação de serviço completa está contida no Apêndice C deste trabalho.

6 CONCLUSÕES

6.1 SINTESE DA ESCOLHA

Entende-se que os valores obtidos através de cálculos de estimativa de nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, feitos através da análise de projetos de formas, modulação e arquitetônico sejam satisfatórios. Pois, ainda que se utilize a metodologia simplificada descrita apresentada na substituída ISO 15712:2005, as estimativas aparentam serem condizentes com valores obtidos em ensaios anteriores nos empreendimentos da empresa.

A escolha da solução de piso flutuante, com o objetivo de melhorar o isolamento acústico de ruídos de impacto, vai de encontro com o que Baron et al. (2004) e Neves et al. (2008) consideram como mais adequadas e eficientes. A possibilidade de alcançar o nível de desempenho superior com o uso das mantas de poliéster e de polietileno expandido, disponíveis no mercado nacional mostrou-se bastante animadora, uma vez que, sem qualquer tratamento, a tipologia atual de laje poderia não atingir o desempenho mínimo necessário.

No que se refere aos aspectos construtivos da implementação do sistema, as grandes dificuldades podem ser resumidas na possibilidade serem criadas pontes acústicas devido a falhas de execução, em qualquer uma das etapas, e nas deformações imediatas e posteriores que as mantas podem sofrer. A primeira das deformações pode causar afundamentos e problemas de fissuras caso o contrapiso não tenha sido projetado e executado com armadura prevendo esses deslocamentos. Já a segunda, pode diminuir o desempenho do sistema em mais de 3 dB, possibilitando que algumas das mantas avaliadas tenham seu nível de desempenho enquadrado em uma categoria inferior àquela inicial.

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em seu estudo, Schiavi (2005) alerta que apesar de confiável, a metodologia empírica para o cálculo de redução do nível de pressão sonora de ruído de impacto ponderado muitas vezes não reflete o real desempenho, o que pôde ser observado também neste trabalho (Tabela 20).

Dada a discrepância dos valores entre os diferentes materiais, foram comparados os valores obtidos com os valores de relatórios de ensaio. É possível verificar que os valores calculados estão, em sua maioria, sobrestimados entre 4 e 6 dB, fato já observado por Neves et al. (2008). Todavia, a autora salienta os mesmos podem ser utilizados para comparar o desempenho de diversos materiais.

Tabela 20 - Comparação entre os valores fornecidos pelos fabricantes e os valores calculados

Fabricante	Manta	Material	ΔL_{wfab} (dB)	ΔL_{wcal} (dB)	$\Delta L_{wcal} - \Delta L_{wfab}$ (dB)	% (dB)
A	PE-10	Poliétileno Expandido	22	26	4	18,18 %
A	PE-5	Poliétileno Expandido	19	22	3	15 %
B	PET-8	Poliéster	28	34	6	21,43 %
C	PET-5	Poliéster	27	36	9	33,33 %
D	PET-8	Poliéster	27	25	-2	-7,41 %
D	PE-10	Poliétileno Expandido	24	26	2	8,33 %
D	PE-5	Poliétileno Expandido	25	22	-3	12 %
D	PP-2	Polipropileno Expandido	22	19	-3	13,64 %
E	PEX-4	Poliétileno Reticulado	15	23	8	53 %
F	PEBD-10	Poliétileno Expandido	24	26	2	8,33 %
F	PEBD-5	Poliétileno Expandido	22	22	0	0 %
F	EE-10	Espuma Elastomérica	27	25	-2	-7,41 %
F	EE-5	Espuma Elastomérica	24	22	-2	-8,33 %

G	SRB-5	SBR + Poliuretano	14	26	12	85,71 %
H	VID- 2.8	Lã de Vidro	24	22	-2	-8,33 %
H	ROC- 15	Lã de Rocha	-	33	-	-

(fonte: elaborado pelo autor)

Crispin et al. (2015), em seu estudo com diferentes materiais resilientes, alertam para o fato de que a rigidez dinâmica medida com amostras de 200 x 200 mm, conforme a ISO 9052-1:1989, é a rigidez dinâmica aparente (s'_t), que não considera a rigidez dinâmica do ar (s'_a) presente nas camadas resilientes, principalmente quando essas forem porosas. Schiavi et al. (2010) acrescentam que a compressão da camada resiliente não só aumenta sua densidade, como também aumenta a resistência a passagem de ar.

Ainda, cabe ressaltar que o mesmo estudo apontou que a ISO 9052-1:1989, ao considerar que s' é igual apenas a s'_t quando a resistividade ao fluxo de ar atinge 100 kPa.s/m², está sobrestimando os valores de rigidez dinâmica, fazendo com que os cálculos de redução do nível de pressão sonora de impacto sejam superestimados.

Por outro lado, para elementos onde a resistividade ao fluxo de ar não atinge 100 kPa.s/m², a aproximação da ISO 9053:1991 para a rigidez dinâmica do ar adicionada a rigidez dinâmica do material superestima a influência da rigidez dinâmica do ar na rigidez dinâmica total, fazendo com que os cálculos de redução do nível de pressão sonora de impacto sejam sobrestimados.

O nível de pressão sonora de ruído de impacto padrão ponderado considerando o desempenho da manta fornecido pelos fabricantes e a comparação entre os valores calculados e os fornecidos pelos fabricantes são encontrados na Tabela 21. Felizmente o desempenho da manta escolhida segue enquadrado no desempenho superior.

Tabela 21 - Apresentação dos valores informados pelos fabricantes para um contrapiso armado de 5 cm

Fabricante	Manta	Material	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho Calculado	Nível de Desempenho Projeto
A	PE-10	Poliétileno Expandido	59,7	I	I
A	PE-5	Poliétileno Expandido	62,7	I	I
B	PET-8	Poliéster	53,7	S	S
C	PET-5	Poliéster	54,7	S	S
D	PET-8	Poliéster	54,7	I	S
D	PE-10	Poliétileno Expandido	55,7	I	I
D	PE-5	Poliétileno Expandido	56,7	I	I
D	PP-2	Polipropileno Expandido	59,7	I	I
E	PEX-4	Poliétileno Reticulado	66,7	I	M
F	PEBD- 10	Poliétileno Expandido	55,7	I	I
F	PEBD- 5	Poliétileno Expandido	59,7	I	I
F	EE-10	Espuma Elastomérica	54,7	I	S
F	EE-5	Espuma Elastomérica	57,7	I	I
G	SRB-5	SBR + Poliuretano	67,7	S	M
H	VID- 2.8	Lã de Vidro	57,7	I	I
H	ROC- 15	Lã de Rocha	-	S	-

(fonte: elaborado pelo autor)

6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho de conclusão de curso carece de validação experimental. Recomenda-se que mais trabalhos sejam desenvolvidos acerca do desempenho acústico de sistemas de pisos. Incentivando a aquisição de bibliografias e normas internacionais atualizadas. Ainda, recomenda-se que os cálculos sejam executados utilizando o método completo no cálculo do nível de pressão sonora de impacto considerando as transmissões marginais.

REFERÊNCIAS

ACITAL – **EcoSilenzio**. Disponível em <<http://acital.com.br/flexsilenzio-PE>> Acesso em: 30 abr. 2018.

ACITAL – **FlexSilenzio PE**. Disponível em <<http://acital.com.br/ecosilenzio>> Acesso em: 30 abr. 2018.

ACUSTICPISO – **Especificações técnicas**. Disponível em: <<http://www.acusticpiso.com.br/especificacoes-tecnicas/>> Acesso em: 30 abr. 2018.

AECWEB – **Multimpact manta acústica**. Disponível em <[https://www.aecweb.com.br/tematico/img_figuras/multimpact\\$\\$7288.jpg](https://www.aecweb.com.br/tematico/img_figuras/multimpact$$7288.jpg)> Acesso em: 30 abr. 2018.

ARCHIEXPO – **Tecnasfalti (isolmant)**. Disponível em <<http://www.archiexpo.com/pt/prod/tecnasfalti-isolmant/product-55186-1799801.html>> Acesso em: 30 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 3: Sistemas de Pisos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Manual Pro Acústica de recomendações básicas para contrapisos flutuantes**. Indianápolis: O Nome da Rosa Editora, 2015.

ANTUNES, Sónia Maria Monteiro da Silva. **Avaliação do ambiente sonoro em zonas urbanas**: integração de aspectos qualitativos. 2011. 532 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.

BARON, N.; BONFIGLIO, P.; FAUSTI, P. **Dynamic stiffness of materials used for reduction in impact noise: comparison between different measurement techniques**.

- Acústica 2004, [s. l.], n. November, p. 8, 2004. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/240918534>> Acesso em: 10 mai. 2018.
- BAUMARKET – **Isover – fonas 2.8**. Disponível em <http://baumarket.bg/product/vata_isover_fonas_tex_28_24db_roll/> Acesso em: 30 abr. 2018.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blücher, 2011.
- BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de uma edificação e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- 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, Santa Maria, 1999.
- CANIATO, M. et al. **Time-depending performance of resilient layers under floating floors**. *Construction and Building Materials*, [s. l.], v. 102, p. 226–232, 2016.
- CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2006.
- CREMER, L. HECKL, M. UNGAR, E. E. **Structure-borne sound**. Berlin: Springer-verlang, 1973.
- CRISPIN, Charlotte; MERTENS, Christian; MEDVED, Juraj. **Measurement of the Dynamic Stiffness of Porous Materials Taking into Account Their Airflow Resistivity**. *Building Acoustics*, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 221–233, 2014. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1260/1351-010X.21.3.221>>
- CORNACCHIA, Gianni Maria Machado. **Investigação in-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92430>>. Acesso em: 06 mar. 2018.
- CONRAD, L.S. **Estudo comparativo entre diversos revestimentos para pisos quanto ao isolamento de ruído de impacto**. 2002. 142f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.
- DA COSTA, Ennio Cruz. **Acústica técnica**. São Paulo: Blücher, 2003. 144p.
- DE MARCO, Conrado Silva. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1986.
- ECOFIBER – **Mantas para isolamento acústico**. Disponível em <<http://www.ecofiber.ind.br/nossos-produtos/construcao-civil/ecofiber-floor>> Acesso em: 30 abr. 2018.
- FERNANDES, João Candido. **Acústica e Ruídos**. Bauru: Unesp, 2002. v. 102. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/acustica/apostila.htm>>. Acesso em: 29 out. 2017.

FERREIRA, Ana. **Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137461900/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

GALANTE, Rui. **Análise comparativa dos métodos normalizados de previsão da transmissão sonora por via estrutural**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142220588/Dissertação.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

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

HALL, R. **Impact sound insulation of flooring systems with polyurethane foam on concrete floors**. 1999. 314 f. Tese (Ph.D). Sheffield Hallam University, Sheffield, 1999. Disponível em: <<http://shura.shu.ac.uk/3135/>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

HOPKINS, Carl. **Sound Insulation**. Burlington: Elsevier, 2007.

HEISSLER, Rafael, LABRES, Henrique, KLIPPEL Filho Sérgio, RESCHKE PIRES, Josiane, OLIVEIRA, Maria Fernanda. **Análise crítica do desempenho acústico de sistemas de revestimentos de pisos**. itt-Performance, São Leopoldo, 2017.

IDEIA1. **Projeto arquitetônico de um edifício residencial situado na avenida João Pessoa, 2510 – Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. 05 ago. 2016. Planta baixa. Desenhista: Cristina Martins. Proj. n.: 002.221955.00.7.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 140-7: Acoustics - Measurement of sound insulation in building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors**. Geneva, 2013 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 140-5: Acoustics - Measurement of sound insulation in building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation between rooms**. Geneva, 2013 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 140-7: Acoustics - Measurement of sound insulation in building elements - Part 7 Field measurements of impact sound insulation of floors**. Geneva, 1998 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 717-1: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation**. Geneva, 2013 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 717-2: Acoustics - Acoustics rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation**. Geneva, 2013 a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 15712-2:** Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms. Geneva, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 9052-1:** Acoustics - Determination of dynamic stiffness - Part 1: Materials used under floating floors in dwellings. Geneva, 1989.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 9053:** Acoustics - Materials for acoustical applications - Determination of airflow resistance. Geneva, 1991.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 20392:** Thermal-insulating materials - Determination of compressive creep. Geneva, 2007.

ISOVER – **Soluções de isolamento na construção.** Disponível em <<https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/arena-isover-acustica-construcao-pt.pdf>> Acesso em: 30 abr. 2018.

KLIPPEL FILHO, S. et al. **Uso da lã de PET para a absorção sonora e o isolamento acústico.** Acústica e Vibrações, [s. l.], n. 49, p. 59–69, 2017.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira. **Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil.** In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC, São Paulo. 2004.

MAPEI – **Caderno Técnico: Realização de bentonilhas para o assentamento de pavimentos.** Disponível em <http://www.mapei.com/public/PT/menu/QT_BETONILHAS.pdf> Acesso em: 30 abr. 2018.

MAGAZINE LUIZA – **Piso e revestimento.** Disponível em <<https://www.magazineluiza.com.br/isolante-optima-piso-em-la-de-vidro-isover-painel-15mm-x-120m-x-120m-m2-branco/p/7270068/cj/pire/>> Acesso em: 30 abr. 2018.

MÉNDEZ, Antonio M. et al. **Acústica arquitectónica.** Buenos Aires: UMSA, 1994.

MATEUS, C. R. G. **Desenvolvimento de solução combinada de aglomerados com cortiça para subcamadas de revestimento e de lajeta com comportamento acústico otimizado.** 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/79374/2/35494.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

MATEUS, Diogo. **Acústica de edifícios e controlo de ruído.** Textos de apoio à disciplina “Acústica Aplicada”, DEC-FCTUC, Coimbra, 2008.

NEVES, Ana; ANTÓNIO, Julieta; NOSSA, Ana. **Resultados experimentais da rigidez dinâmica de materiais usados sob pavimentos flutuantes.** Acústica 2008, [s. l.], p. 1–12, 2008. Disponível em: <<http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Coimbra08/id212.pdf>>

OLIVEIRA, A. **Pisos flutuantes: caracterização da rigidez dinâmica aparente das camadas resilientes e comparação com o desempenho acústico.** João Pessoa: UFPB, 2016,

53 f. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, 2016.

ORAL, Gül Koçlar; YENER, Alpin Köknel; BAYAZIT, Nurgün Tamer. **Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions**. Building and Environment, v. 39, n. 3, p. 281-287, 2004.

PAIXÃO, Dinara Xavier. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria utilizando análise estatística de energia (SEA)**. 2002. 182 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PAIXÃO, Dinara Xavier; Gerges, Samir N.Y. **Isolamento acústico: frequência crítica em alvenaria de tijolo maciço cerâmico**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. 14 p.

PATRÍCIO, J. **Acústica nos Edifícios**. 6. ed. Lisboa: Verlag Dashöver, 2010.

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

PATRÍCIO, J. V. **Algumas considerações sobre a influência da transmissão marginal no valor do índice de isolamento sonoro a sons de impacto**. Laboratório (LNEC), 1999. v. 95, n. 85, 5 p.

PATRICIO, J. **ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS: índices de isolamento a sons aéreos utilizados no espaço europeu**. Revista de acústica, 2004. v. 35, n. 3, 5-11 p.

PATRICIO, J. **Acústica de Edifícios: índices de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu**. Revista de acústica, 2005. v. 36, n. 1, 33-39 p.

PEDROSO, Miguel Angelo Teixeira. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007. 140f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <repositorio.ufsm.br/handle/1/7688 >. Acesso em: 08 nov. 2017.

PEREYRON, Daniel. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto**. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/7712>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

PORTAL DA ACÚSTICA – **Mantas acústicas para lajes / pisos**. Disponível em <<https://www.portaldaacustica.com.br/produto/262/manta-acustica-p-laje-1000-x-100-x-0008-m>> Acesso em: 30 abr. 2018.

PORTAL DA ACÚSTICA – **Mantas acústicas para lajes / pisos**. Disponível em <<https://www.portaldaacustica.com.br/produto/122/manta-acustica-p-laje-alta-performance-1000-x-10-x-0005-m>> Acesso em: 30 abr. 2018.

RASMUSSEN, Birgit. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 4, p. 373-385, 2010.

ROCHA, Vítor Constantino Machado et al. **Desenvolvimento de pavimento flutuante com aglomerado de cortiça, de desempenho acústico otimizado**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72542/1/000155213.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

SANCHO, V. M. **Acustica en arquitectura**. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM). Madrid, 1982, 215p.

SANTOS, Jorge Luiz Pizzutti dos. **Isolamento sonoro de partições arquitetônicas**. Santa Maria: Editora UFMS, 2012. 174 p.

SCHIAVI, Alessandro; PAVONI, Andrea; RUSSO, Francesco. **Estimation of Acoustical Performance of Floating Floors from Dynamic Stiffness of Resilient Layers**. *Building Acoustics*, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 99–114, 2005.

SCHIAVI, Alessandro et al. **Dynamic stiffness of resilient materials: some consideration on the proposed revision of ISO 9052-1 standard**. *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010*, [s. l.], n. October 2015, 2010. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/259922015>>

SHARP, Ben H. Prediction methods for the sound transmission of building elements. **Noise Control Engineering**. 1978. v. 11, n. 2, 53-63 p.

SILVA, Elaine Lemos; PATRÍCIO, Jorge Viçoso; ANTONIO, Julieta. Impact sound reduction provided by current Portuguese and Brazilian floating floors: comparison between lab test and EN 12354 results. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON NOISE CONTROL, EURONOISE, 9., 2012, Prague. Proceedings...* 6 p.

SILVA, Rui Miguel Cunha da. **Avaliação Acústica de Edifícios Habitacionais: Análise dos Coeficientes de Ponderação Associados aos Índices de Desempenho Acústico de Habitações**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10362/12528>>. Acesso em: 26 out. 2017.

SOUSA, Nelson Ricardo Vieira de. **Caracterização do comportamento acústico a sons de percussão de soluções à base de espumas de poliuretano**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10216/58314>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

SOUZA, Roberto de. **Contribuição do conceito de desempenho para avaliação do edifício e suas partes: aplicação as janelas de uso habitacional**. 1983. 181 p. + anexo. Dissertação (Mestrado) – Curso de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 1983.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de et al. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. EdUFScar, 2011.

TAVEIRA, Carla S. S. **Incerteza na medição do índice de isolamento sonoro a ruído de percussão**. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68226/1/000154687.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

TRISOFT – **Soluções Acústicas Integradas - Pisos**. Disponível em <<https://www.trisoft.com.br/portfolio/piso/>> Acesso em: 30 abr. 2018.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca et al. **Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais**. *Ambiente Construído*, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 295–306, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167886212017000300295&lng=pt&tlng=pt> Acesso em: 30 abr. 2018.

VIGRAN, Tor Erik. **Building Acoustics**. Nova York: CRC Press, 2008.

ZUCHETTO, L. K.; NUNES, M. F. O.; PATRÍCIO, J. V. **Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resilient layers of floors**. In: *22nd International Congress on Acoustics - ICA 2016*. Buenos Aires: Asociación de Acústicos Argentinos, 2016.

ZUCHETTO, L. K. ; NUNES, M. F. O. ; PATRICIO, J. V. ; AZEVEDO, F. S. . **Estimativa da redução a sons de impacto: determinação da rigidez de materiais resilientes**. In: *10º Congresso Nacional de Mecânica Experimental, 2016, Lisboa. CNME 2016*. Lisboa: LNEC, 2016.

APÊNDICE A – Memorial de Cálculo

CÁLCULO DA TRANSMISSÃO MARGINAL:

- i. As paredes de Drywall não serão consideradas no cálculo da massa superficial média das paredes do ambiente receptor devido à utilização do método simplificado descrito na ISO 15712-2.
- ii. No cálculo da massa superficial de vedações verticais só serão contabilizadas as áreas e a massa da alvenaria e da argamassa. Janelas e de elementos estruturais não terão suas áreas e massas levados em consideração.
- iii. Por consequência, as transmissões marginais do dormitório dos apartamentos de final 04, onde três das quatro paredes são executadas em Drywall, não serão estimadas
- iv. Os materiais que compõem o sistema de vedação vertical têm suas características descritas em 4.1.3.1.
- v. Os cômodos das unidades de finais 03 e 04 têm suas dimensões descritas em 4.1.3.2.

CÁLCULO DA MASSA DAS PAREDES:

Parede externa:

$$m_{ex} = m'_{19} + m_{arg} * e$$

$$m_{ex} = 175 \frac{kg}{m^2} + 20 \frac{kg}{m^2.cm} * 5 cm$$

$$m_{ex} = 275 \frac{kg}{m^2.cm}$$

Parede interna:

$$m_{ex} = m'_{14} + m_{arg} * e$$

$$m_{ex} = 145 \frac{kg}{m^2} + 20 \frac{kg}{m^2.cm} * 4 cm$$

$$m_{ex} = 225 \frac{kg}{m^2}$$

CÁLCULO DA ÁREA DA PAREDE:**Vista A025:**

$$A_{A025} = 2,22 * 2,85 = 6,28 \text{ m}^2$$

Vista D029 – Repete para a parede espelho do dormitório:

$$A_{D029} = 3,105 * 2,22 = 6,89 \text{ m}^2$$

Vista A025:

$$A_{D030} = 2,62 * 2,83 = 7,41 \text{ m}^2$$

MASSA SUPERFICIAL MÉDIA:

$$m'_p = \frac{275 * 6,28 + 225 * 6,89}{6,28 + 6,89 + 7,41 + 6,89}$$

$$m'_p = 119,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$m'_L = 276 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$K = 2$$

CÁLCULO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO PADRÃO PONDERADO:**VOLUME DAS UNIDADES:****Unidades de final 03:**

$$V_{03} = 2,62 * 8,795 = 23,04 \text{ m}^3$$

Unidades de final 04:

$$V_{04} = 2,62 * 7,2 = 18,86 \text{ m}^3$$

NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO PADRÃO PONDERADO SEM ISOLAMENTO

$L_{n,w,eq}$ - Laje de 12 cm de espessura:

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log \left(\frac{m'}{m_o} \right)$$

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log \left(\frac{276}{1} \right)$$

$$L_{n,w,eq} = 78,56 \text{ dB}$$

$L'_{nT,w}$ - Unidade de final 03:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K \text{ dB}, \quad K = 2$$

$$L'_{n,w} = 80,56 \text{ dB}$$

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \log \frac{V}{30}$$

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \log \frac{23,05}{30}$$

$$L'_{nT,w} = 81,78 \text{ dB}$$

$L'_{nT,w}$ - Unidade de final 04:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + 0 \text{ dB}, \quad K = 0$$

$$L'_{n,w} = 78,56 \text{ dB}$$

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \log \frac{V}{30}$$

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \log \frac{18,86}{30}$$

$$L'_{nT,w} = 80,58 \text{ dB}$$

Método analítico / ábaco (PET-5):

$$s' = 6 \frac{MN}{m^3}$$

$$m'_{\text{piso}} = 19000 \frac{kg}{m^3} * 0,005 m$$

$$m'_{\text{piso}} = 95 \frac{kg}{m^2}$$

$$\Delta L_w = 18 - 15 \log \frac{m'_1}{s'}$$

$$\Delta L_w = 18 - 15 \log \frac{95}{6}$$

$$\Delta L_w = 35,99 \text{ dB}$$

Desempenho após tratamento:

$$L'_{nT,w} = 81,78 \text{ dB} - 35,99 \text{ dB}$$

$$L'_{nT,w} = 45,7 \text{ dB}$$

Método da curva de referência da ISO 717-2:2013 (PET-5):

Propriedades do sistema:

$$s' = 6 \frac{MN}{m^3}$$

$$m'_{\text{piso}} = 19000 \frac{kg}{m^3} * 0,005 m$$

$$m'_{\text{piso}} = 95 \frac{kg}{m^2}$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'_1}}$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{6 * 10^6}{95}}$$

$$f_1 = 39,99 \text{ Hz}$$

Cálculo da redução do ΔL_n para cada frequência em análise:

$$(4) = 30 * \log\left[\frac{(1)}{f_1}\right]$$

$$(4) = 30 * \log\left[\frac{(1)}{f_1}\right]$$

Cálculo do nível de pressão sonora de impacto a partir dos valores de fornecidos para uma laje padrão (ISO 717-2) para cada frequência em análise.

$$(5) = (3) - (4)$$

Estimativa do deslocamento do deslocamento da curva referência (ISO 717-2):

$$(Desloc) = X$$

Adição do valor de deslocamento em todos os valores da curva referência (ISO 717-2):

$$(6) = (2) + (Desloc)$$

Considerar somente os desvios desfavoráveis (>0):

$$(7) = (6) - (5), \text{ se } (7) - (5) > 0; 0$$

Somar a coluna dos desvios e verificar se os mesmos são superiores a 32 dB:

$$\sum (7)$$

Ajustar o valor de (Desloc) para qual somatório da coluna 7 seja o mais próximo possível do valor de 32 dB, porém sem ultrapassá-lo.

Quando essa condição for atingida:

$$L_{n,w} = (6)_{500\text{Hz}}$$

$$\Delta L_w = L_{n,w,r} - L_{n,w}$$

$$L'_{nT,w} = 81,78 \text{ dB} - \Delta L_w$$

Onde, para este método:

$$\Delta L_w = 36 \text{ dB}$$

$$L'_{nT,w} = 45,7 \text{ dB}$$

As planilhas com o cálculo do valor de isolamento de todas as mantas analisadas encontram-se nas próximas páginas deste apêndice.

FABRICANTE A - PE-10

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n	-	-	-	-
100	62	67	1,90	65,10	54	11,10	$L_{n,w,r}$	78,00
125	62	67,5	4,81	62,69	54	8,69	L_n	52,00
160	62	68	8,03	59,97	54	5,97	ΔL_w (ISO 717 - 2)	26,00
200	62	68,5	10,93	57,57	54	3,57		
250	62	69	13,84	55,16	54	1,16	ΔL_w (ISO 15712-2)	25,96
315	62	69,5	16,85	52,65	54		ΔL_w Fabricante	22,00
400	61	70	19,97	50,03	53		Dif ΔL_w	4,00
500	60	70,5	22,87	47,63	52		% ΔL_w	0,18
630	59	71	25,88	45,12	51		Calc $L_{n,T,w}$	55,7
800	58	71,5	29,00	42,50	50		Fab $L_{n,T,w}$	59,70
1000	57	72	31,90	40,10	49			
1250	54	72	34,81	37,19	46			
1600	51	72	38,03	33,97	43			
2000	48	72	40,93	31,07	40			
2500	45	72	43,84	28,16	37			
3150	42	72	46,85	25,15	34			
Característica		Dados		Shift value		-8		
Espessura	e	10	mm	Total		30,48		
Densidade	p	20	kg/m ²					
Rigidez Dinâmica	s'	28	MN/m ³					
Massa sup. contrapiso m'		95	kg/m ²					
Freq. Ressonancia	f ₀	86,40469563	Hz					

FABRICANTE A - PE-5

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n	-	-	-	-
100	62	67	-2,13	69,13	58	11,13	$L_{n,w,r}$	78,00
125	62	67,5	0,78	66,72	58	8,72	$L_{n,w}$	56,00
160	62	68	3,99	64,01	58	6,01	ΔL_w (ISO 717 - 2)	22,00
200	62	68,5	6,90	61,60	58	3,60	ΔL_w (ISO 15712-2)	21,93
250	62	69	9,81	59,19	58	1,19		
315	62	69,5	12,82	56,68	58		ΔL_w Fabricante	19,00
400	61	70	15,93	54,07	57		ΔL_w	3,00
500	60	70,5	18,84	51,66	56		ΔL_w	0,16
630	59	71	21,85	49,15	55		ΔL_w	
800	58	71,5	24,96	46,54	54		ΔL_w	
1000	57	72	27,87	44,13	53		ΔL_w	
1250	54	72	30,78	41,22	50		ΔL_w	
1600	51	72	33,99	38,01	47		ΔL_w	
2000	48	72	36,90	35,10	44		ΔL_w	
2500	45	72	39,81	32,19	41		ΔL_w	
3150	42	72	42,82	29,18	38		ΔL_w	
Característica					Dados		Shift value	
Espessura		e	5	mm		-4		
Densidade		ρ	20	kg/m ²		30,64		
Rigidez Dinâmica		s'	52	MN/m ³				
Massa sup. contrapiso m'			95	kg/m ²				
Freq. Ressonância		f_0	117,7497519	Hz				

FABRICANTE B - MANTAPET-8

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,o}$	ΔL	L_n				
100	62	67	10,06	56,94	46	10,94		78,00
125	62	67,5	12,97	54,53	46	8,53	$L_{n,w}$	44,00
160	62	68	16,19	51,81	46	5,81	ΔL_w (ISO 717 - 2)	34,00
200	62	68,5	19,10	49,40	46	3,40		
250	62	69	22,00	47,00	46	1,00	ΔL_w (ISO 15712-2)	34,12
315	62	69,5	25,01	44,49	46			
400	61	70	28,13	41,87	45		ΔL_w Fabricante	28,00
500	60	70,5	31,03	39,47	44		Dif ΔL_w	6,00
630	59	71	34,05	36,95	43			
800	58	71,5	37,16	34,34	42		% ΔL_w	0,21
1000	57	72	40,06	31,94	41			
1250	54	72	42,97	29,03	38		Calc $L_{n,T,w}$	47,7
1600	51	72	46,19	25,81	35			
2000	48	72	49,10	22,90	32		Fab $L_{n,T,w}$	53,70
2500	45	72	52,00	20,00	29			
3150	42	72	55,01	16,99	26			
Característica					Shift value			
Dados						-16		
Espessura	e	8		mm				
Densidade	p	0,24		kg/m ²				29,68
Rigidez Dinâmica	s'	8		MN/m ³				
Massa sup. contrapiso m'		95		kg/m ²				
Freq. Ressonância	f ₀	46,18525252		Hz				
Total								

FABRICANTE C - MANTIA PET-5

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de Impacto normalizado reduzido	Valores de referência destacados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n				
100	62	67	11,94	55,06	44	11,06	$L_{n,w},f$	78,00
125	62	67,5	14,85	52,65	44	8,65	$L_{n,w}$	42,00
160	62	68	18,06	49,94	44	5,94	ΔL_w (ISO 717 - 2)	36,00
200	62	68,5	20,97	47,53	44	3,53		
250	62	69	23,88	45,12	44	1,12	ΔL_w (ISO 15712-2)	35,99
315	62	69,5	26,89	42,61	44		ΔL_w Fabricante	27,00
400	61	70	30,00	40,00	43		Dif ΔL_w	9,00
500	60	70,5	32,91	37,59	42		% ΔL_w	0,33
630	59	71	35,92	35,08	41		Calc $L_{n,T,w}$	45,7
800	58	71,5	39,03	32,47	40		Fab $L_{n,T,w}$	54,70
1000	57	72	41,94	30,06	39			
1250	54	72	44,85	27,15	36			
1600	51	72	48,06	23,94	33			
2000	48	72	50,97	21,03	30			
2500	45	72	53,88	18,12	27			
3150	42	72	56,89	15,11	24			
Característica					Shift value	-18		
Dados					Total	30,31		
Espessura	e	5		mm				
Densidade	p	0,25		kg/m ²				
Rigidez Dinâmica	s'	6		MN/m ³				
Massa sup. contrapiso m'		95		kg/m ²				
Freq. Ressonancia	f ₀	39,99/760196		Hz				

FABRICANTE D - MANTA PET-8

Valores de referência para ruidos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n				
100	62	67	0,64	66,36	55	11,36	$L_{n,w}$	78,00
125	62	67,5	3,55	63,95	55	8,95	$L_{n,w}$	53,00
160	62	68	6,76	61,24	55	6,24	ΔL_w (ISO 717 - 2)	25,00
200	62	68,5	9,67	58,83	55	3,83		
250	62	69	12,58	56,42	55	1,42	ΔL_w (ISO 15712-2)	24,69
315	62	69,5	15,59	53,91	55		ΔL_w Fabricante	27,00
400	61	70	18,70	51,30	54		$Dif \Delta L_w$	-2,00
500	60	70,5	21,61	48,89	53		% ΔL_w	-0,07
630	59	71	24,62	46,38	52		$Calc L'_{n,T,w}$	56,7
800	58	71,5	27,73	43,77	51		$Fab L'_{n,T,w}$	54,70
1000	57	72	30,64	41,36	50			
1250	54	72	33,55	38,45	47			
1600	51	72	36,76	35,24	44			
2000	48	72	39,67	32,33	41			
2500	45	72	42,58	29,42	38			
3150	42	72	45,59	26,41	35			
Característica					Shift value	-7		
Dados					Total	31,80		
Espessura	e	8	mm					
Densidade	p	0,24	kg/m ²					
Rigidez Dinâmica	s'	34	MN/m ³					
Massa sup. contrapiso m'		95	kg/m ²					
Freq. Ressonância	f ₀	95,21333724	Hz					

FABRICANTE D - MANTA PE-10

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de Impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,i,o}$	ΔL	L_n	-	-	-	-
100	62	67	1,90	65,10	54	11,10	$L_{n,i,r}$	78,00
125	62	67,5	4,81	62,69	54	8,69	$L_{n,w}$	52,00
160	62	68	8,03	59,97	54	5,97	ΔL_w (ISO 717 - 2)	26,00
200	62	68,5	10,93	57,57	54	3,57	ΔL_w (ISO 15712-2)	25,96
250	62	69	13,84	55,16	54	1,16	ΔL_w Fabricante	24,00
315	62	69,5	16,85	52,65	54		Dif ΔL_w	2,00
400	61	70	19,97	50,03	53		% ΔL_w	0,08
500	60	70,5	22,87	47,63	52		Calc $L_{n,T,w}$	55,7
630	59	71	25,88	45,12	51		Fab $L_{n,T,w}$	57,70
800	58	71,5	29,00	42,50	50			
1000	57	72	31,90	40,10	49			
1250	54	72	34,81	37,19	46			
1600	51	72	38,03	33,97	43			
2000	48	72	40,93	31,07	40			
2500	45	72	43,84	28,16	37			
3150	42	72	46,85	25,15	34			
Característica		Dados		Shift value		-8		
Espessura e		10 mm		Total		30,48		
Densidade p		0,2 kg/m ²						
Rigidez Dinâmica s'		28 MN/m ³						
Massa sup. contrapiso m'		95 kg/m ²						
Freq. Ressonância f _o		86,40469563 Hz						

FABRICANTE D - MANTA PP-2

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n	-	-	-	-
100	62	67	-5,41	72,41	61	11,41	$L_{n,w,r}$	78,00
125	62	67,5	-2,50	70,00	61	9,00	$L_{n,w}$	59,00
160	62	68	0,72	67,28	61	6,28	ΔL_w (ISO 717 - 2)	19,00
200	62	68,5	3,62	64,88	61	3,88	ΔL_w (ISO 15712-2)	18,65
250	62	69	6,53	62,47	61	1,47		
315	62	69,5	9,54	59,96	61		ΔL_w Fabricante	22,00
400	61	70	12,66	57,34	60		Dif ΔL_w	-3,00
500	60	70,5	15,56	54,94	59		% ΔL_w	-0,14
630	59	71	18,57	52,43	58		Calc $L_{n,T,w}$	62,7
800	58	71,5	21,69	49,81	57		Fab $L_{n,T,w}$	59,70
1000	57	72	24,59	47,41	56			
1250	54	72	27,50	44,50	53			
1600	51	72	30,72	41,28	50			
2000	48	72	33,62	38,38	47			
2500	45	72	36,53	35,47	44			
3150	42	72	39,54	32,46	41			
Característica		Dados		Shift value		-1		
Espessura e		z		mm				
Densidade p		0,08		kg/m ²				
Rigidez Dinâmica s'		86		MN/m ³				
Massa sup. contrapiso m ²		95		kg/m ²				
Freq. Ressonância f ₀		151,4284771		Hz				
				Total				32,03

FABRICANTE E - MANTAPEX

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n	-	-	-	-
100	62	67	-0,74	67,74	57	10,74	$L_{n,w,r}$	78,00
125	62	67,5	2,17	65,33	57	8,33	$L_{n,w}$	55,00
160	62	68	5,39	62,61	57	5,61	ΔL_w (ISO 717 - 2)	23,00
200	62	68,5	8,29	60,21	57	3,21	ΔL_w (ISO 15712-2)	23,32
250	62	69	11,20	57,80	57	0,80		
315	62	69,5	14,21	55,29	57			
400	61	70	17,32	52,68	56		ΔL_w Fabricante	15,00
500	60	70,5	20,23	50,27	55		Dif ΔL_w	8,00
630	59	71	23,24	47,76	54			
800	58	71,5	26,36	45,14	53		% ΔL_w	0,53
1000	57	72	29,26	42,74	52			
1250	54	72	32,17	39,83	49		Calc $L_{n,T,w}$	58,7
1600	51	72	35,39	36,61	46			
2000	48	72	38,29	33,71	43		Fab $L_{n,T,w}$	66,70
2500	45	72	41,20	30,80	40			
3150	42	72	44,21	27,79	37			
Característica		Dados		Shift value		-5		
Espessura e		4 mm		Total		28,69		
Densidade p		30 kg/m ²						
Rigidez Dinâmica s'		42 MN/m ³						
Massa sup. contrapiso m'		95 kg/m ²						
Freq. Ressonância fo		105,8237078 Hz						

FABRICANTE F - MANTIA PEBD-10

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n	-	-	-	-
100	62	67	2,14	64,86	54	10,86	$L_{n,w,r}$	78,00
125	62	67,5	5,05	62,45	54	8,45	$L_{n,w}$	52,00
160	62	68	8,26	59,74	54	5,74	ΔL_w (ISO 717 - 2)	26,00
200	62	68,5	11,17	57,33	54	3,33	ΔL_w (ISO 15712-2)	26,20
250	62	69	14,08	54,92	54	0,92		
315	62	69,5	17,09	52,41	54		ΔL_w Fabricante	24,00
400	61	70	20,20	49,80	53		$Dif \Delta L_w$	2,00
500	60	70,5	23,11	47,39	52		% ΔL_w	0,08
630	59	71	26,12	44,88	51		$Calc L'_{n,T,w}$	55,7
800	58	71,5	29,23	42,27	50		$Fab L'_{n,T,w}$	57,70
1000	57	72	32,14	39,86	49			
1250	54	72	35,05	36,95	46			
1600	51	72	38,26	33,74	43			
2000	48	72	41,17	30,83	40			
2500	45	72	44,08	27,92	37			
3150	42	72	47,09	24,91	34			
Característica		Dados		Shift value		-8,00		
Espessura e		10 mm		Total		29,30		
Densidade p		0,3 kg/m ²						
Rigidez Dinâmica s'		27 MN/m ³						
Massa sup. contrapiso m'		95 kg/m ²						
Freq. Ressonância f ₀		84,84/72674 Hz						

FABRICANTE F - MANTA PEBD-5

Valores de referência para ruídos de impacto	1/3 Octave Bands		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
	f	ΔL							
100	62	-2,00	67	69,00	58	11,00	$L_{n,w,r}$	78,00	
125	62	0,90	67,5	66,60	58	8,60	$L_{n,w}$	56,00	
160	62	4,12	68	63,88	58	5,88	ΔLw (ISO 717 - 2)	22,00	
200	62	7,03	68,5	61,47	58	3,47			
250	62	9,94	69	59,06	58	1,06	ΔLw (ISO 15712-2)	22,05	
315	62	12,95	69,5	56,55	58		ΔLw Fabricante	22,00	
400	61	16,06	70	53,94	57		$Dif \Delta Lw$	0,00	
500	60	18,97	70,5	51,53	56		% ΔLw	0,00	
630	59	21,98	71	49,02	55		Calc $L_{nT,w}$	59,7	
800	58	25,09	71,5	46,41	54		Fab $L_{nT,w}$	59,70	
1000	57	28,00	72	44,00	53				
1250	54	30,90	72	41,10	50				
1600	51	34,12	72	37,88	47				
2000	48	37,03	72	34,97	44				
2500	45	39,94	72	32,06	41				
3150	42	42,95	72	29,05	38				
Característica									
Dados									
Espessura	e	5	mm						
Densidade	p	0,15	kg/m ²						
Rigidez Dinâmica	s	51	MN/m ³						
Massa sup. contrapiso m ²	95	kg/m ²							
Freq. Ressonância	f ₀	116,6120465	Hz						
Shift value									
-4,00									
Total									
30,01									

FABRICANTE F - MANTA EE-10

Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n	-	-	-	-
100	62	67	0,83	66,17	55	11,17	$L_{n,w,r}$	78,00
125	62	67,5	3,74	63,76	55	8,76	$L_{n,w}$	53,00
160	62	68	6,96	61,04	55	6,04	ΔL_w (ISO 717 - 2)	25,00
200	62	68,5	9,86	58,64	55	3,64		
250	62	69	12,77	56,23	55	1,23	ΔL_w (ISO 15712-2)	24,89
315	62	69,5	15,78	53,72	55		ΔL_w Fabricante	27,00
400	61	70	18,90	51,10	54		Dif ΔL_w	-2,00
500	60	70,5	21,80	48,70	53		% ΔL_w	-0,07
630	59	71	24,81	46,19	52		Calc $L_{n,T,w}$	56,7
800	58	71,5	27,93	43,57	51		Fab $L_{n,T,w}$	54,70
1000	57	72	30,83	41,17	50			
1250	54	72	33,74	38,26	47			
1600	51	72	36,96	35,04	44			
2000	48	72	39,86	32,14	41			
2500	45	72	42,77	29,23	38			
3150	42	72	45,78	26,22	35			
Característica		Dados		Shift value		-7		
Espessura e		10 mm		Total		30,83		
Densidade p		0,5 kg/m ²						
Rigidez Dinâmica s'		33 MN/m ³						
Massa sup. contrapiso m'		95 kg/m ²						
Freq. Ressonancia fo		93,8026913 Hz						

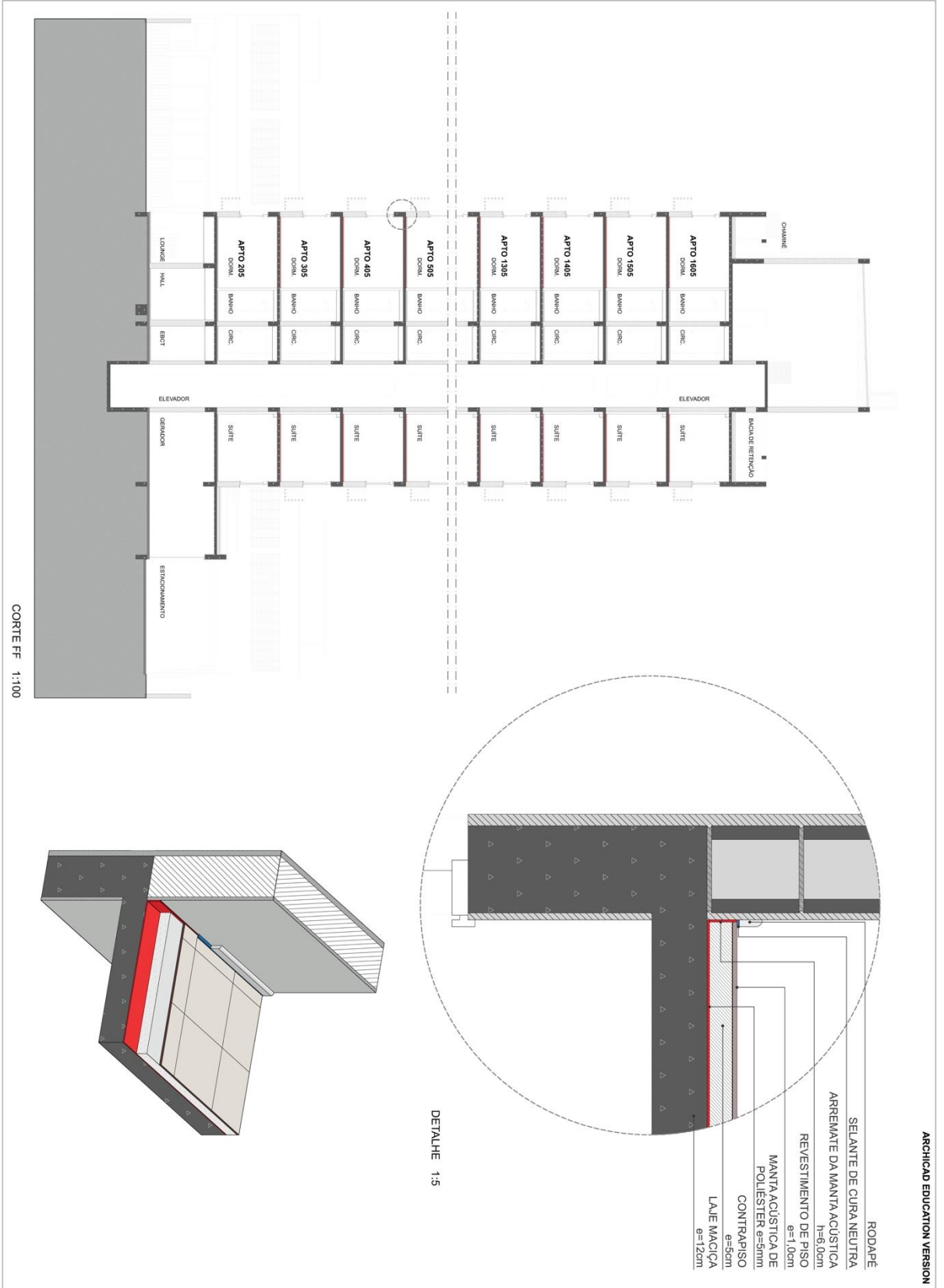
FABRICANTE G - MANTA SRR

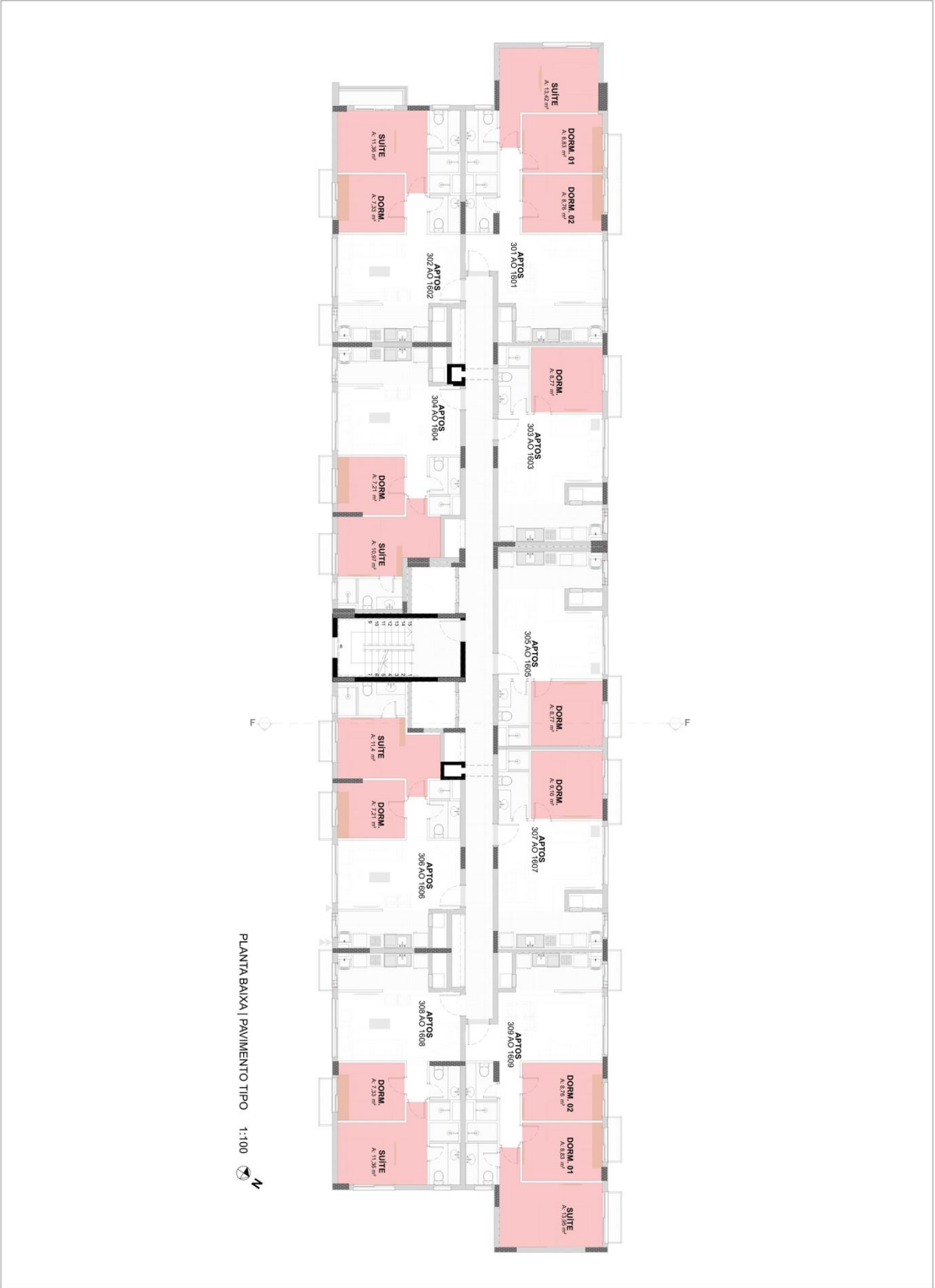
Valores de referência para ruídos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n	-	-	-	-
100	62	67	1,68	65,32	54	11,32	$L_{n,w,r}$	78,00
125	62	67,5	4,58	62,92	54	8,92	$L_{n,w}$	52,00
160	62	68	7,80	60,20	54	6,20	ΔL_w (ISO 717 - 2)	26,00
200	62	68,5	10,71	57,79	54	3,79		
250	62	69	13,61	55,39	54	1,39	ΔL_w (ISO 15712-2)	25,73
315	62	69,5	16,62	52,88	54		ΔL_w Fabricante	14,00
400	61	70	19,74	50,26	53		$Dif \Delta L_w$	12,00
500	60	70,5	22,64	47,86	52		% ΔL_w	0,86
630	59	71	25,66	45,34	51		Calc $L_{n,T,w}$	55,7
800	58	71,5	28,77	42,73	50		Fab $L_{n,T,w}$	67,70
1000	57	72	31,68	40,32	49			
1250	54	72	34,58	37,42	46			
1600	51	72	37,80	34,20	43			
2000	48	72	40,71	31,29	40			
2500	45	72	43,61	28,39	37			
3150	42	72	46,62	25,38	34			
Característica		Dados		Shift value		-8		
Espessura e		5 mm		mm				
Densidade ρ		3		kg/m ²				
Rigidez Dinâmica s^{-1}		29		MN/m ³				
Massa sup. contrapiso m^2		95		kg/m ²				
Freq. Ressonância f_0		87,93410101		Hz				
				Total		31,62		

FABRICANTE H - VID-2.8

Valores de referência para ruidos de impacto		Nível de pressão sonora de impacto normalizada	Redução no nível de pressão sonora de impacto	Nível de pressão sonora de impacto normalizado reduzido	Valores de referência deslocados	Desvios desfavoráveis	Análises	Valores Calculados
f	1/3 Octave Bands	$L_{n,f,0}$	ΔL	L_n				
100	62	67	-1,87	68,87	58	10,87	$L_{n,w,r}$	78,00
125	62	67,5	1,03	66,47	58	8,47	$L_{n,w}$	56,00
160	62	68	4,25	63,75	58	5,75	ΔL_w (ISO 717 - 2)	22,00
200	62	68,5	7,16	61,34	58	3,34		
250	62	69	10,06	58,94	58	0,94	ΔL_w (ISO 15712-2)	22,18
315	62	69,5	13,08	56,42	58		ΔL_w Fabricante	24,00
400	61	70	16,19	53,81	57		$Dif \Delta L_w$	-2,00
500	60	70,5	19,10	51,40	56		% ΔL_w	-0,08
630	59	71	22,11	48,89	55		$Calc L_{n,T,w}$	59,7
800	58	71,5	25,22	46,28	54		$Fab L_{n,T,w}$	57,70
1000	57	72	28,13	43,87	53			
1250	54	72	31,03	40,97	50			
1600	51	72	34,25	37,75	47			
2000	48	72	37,16	34,84	44			
2500	45	72	40,06	31,94	41			
3150	42	72	43,08	28,92	38			
Característica		Dados		Shift value				
Espessura	e	2,8 mm		mm		-4		
Densidade	p	-		kg/m ²	Total	29,37		
Rigidez Dinâmica	s'	50		MN/m ³				
Massa sup. contrapiso m'	s'	95		kg/m ²				
Freq. Ressonância	f ₀	115,4631313		Hz				

APÊNDICE B – Projeto e detalhamento





APÊNDICE C – Instrução de trabalho e ficha de verificação de serviço

LOGO

INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE

FVS-OBRO01-R00

Data: 23/05/18
 Autor: Carlos Parise
 Revisão: -
 Aprovação: Carlos Parise

1 OBJETIVO

- Este documento tem por objetivo a padronização da execução de pisos flutuantes na empresa, incluindo a instalação da manta e a execução do contrapiso e o fornecimento de material para treinamento da equipe de engenharia das obras.

2 SERVIÇOS ANTERIORES

- Elevação da alvenaria;

3 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- Mapa de níveis de concretagem;
- Manual técnico do fornecedor da manta;
- Projeto de Estrutural Formas;
- Projeto de Modulação;
- Projeto de Contrapiso;
- Projeto Hidrossanitário;
- Projeto Elétrico.

4 MATERIAIS

- Manta acústica especificada conforme projeto;
- Argamassa para contrapiso especificada conforme projeto;

5 EQUIPAMENTOS

5.1 PARA EXECUÇÃO

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Argamassadeira; • Dosador; • Enxada; • Trincheira; • Régua de alumínio de 2 a 3 metros; • Esquete; • Nível a laser; • Compensado; | <ul style="list-style-type: none"> • Jerica ou Carrinho de mão; • Despenadeira de aço; • Pá; • Soquete; • Trena; • Caixa para argamassa; • Fita Silvertape ou indicada pelo fabricante. |
|--|--|

5.2 PARA CONFERÊNCIA

- Nível a laser;
- Régua de alumínio;
- Trena.

LOGO

INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE

FVS-OBRO01-R00

Data: 23/05/18

Autor: Carlos Parise

Revisão: -

Aprovação: Carlos Parise

5.3 PARA PROTEÇÃO

- Botina;
- Capacete;
- Máscara;
- Trena;

6 CONDIÇÕES INICIAIS

6.1 SERVIÇOS PRELIMINARES

- Reboco de parede concluído;
- Proteções passivas concluídas;
- Instalações elétricas embutidas em Drywall concluídas;
- Instalações hidráulicas embutidas em Drywall concluídas;
- As divisórias de Drywall devem estar plaqueadas;
- Instalações de gás concluídas, caso constem no ambiente;
- Instalações hidráulicas com a espera concluída;
- Se previsto, as impermeabilizações devem estar concluídas.

6.2 NÍVEL

- A laje acabada deverá estar no nível, com tolerância de 5 mm em relação ao nível de projeto, que incluem os caimentos;
- Os caimentos previstos em projeto deverão ter sido executados durante a concretagem da laje;

- O contrapiso sobre a manta não deve ser executado com o objetivo de proporcionar caimento ao ambiente.

6.3 PLANICIDADE

- Remover quaisquer saliências que ultrapassem em mais de 3 mm o nível indicado em projeto;

Figura 1 – Remoção dos resíduos de concreto e de argamassa



(fonte: Site da Ecofiber)

- Preencher com argamassa de contrapiso, no traço indicado pelo fabricante, quaisquer irregularidades que ultrapassem 3 milímetros medidos em uma régua de alumínio de 2 metros;

INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE

FVS-OBRO01-R00

Data: 23/05/18
 Autor: Carlos Parise
 Revisão: -
 Aprovação: Carlos Parise

Figura 2 – Preenchimento de irregularidades na laje



(fonte: Site da Aubicon)

6.4 LIMPEZA

- Remover quaisquer restos de metais fixos na laje que possam prejudicar o desempenho do sistema de piso flutuante;
- Somente executar a limpeza após a verificação de que não será necessária a execução de nenhuma adequação na laje;
- Varrer a laje acabada, aspergindo água sobre a poeira, e realizar o descarte dos resíduos no local indicado pelo responsável.

Figura 3 – Limpeza da poeira e dos resíduos sob a laje



(fonte: Site da Escoriber)

7 INSTALAÇÃO DA MANTA

7.1 INSTRUÇÕES GERAIS

- A manta deverá ser transportada para o pavimento somente no momento da instalação;
- O instalador deve verificar se o modelo de manta transportado é igual ao modelo de projeto;
- A manta deverá ser posicionada em todas as áreas indicadas em projeto;
- A região de manta onde será aplicada a fita deverá ser limpa com pano para limpeza, removendo assim a poeira.

7.2 POSICIONAMENTO

- Desenrolar a manta acústica sobre o pavimento, iniciando pelas bordas;
- A manta deverá ser posicionada com o filme plástico para cima;
- As bordas devem ser viradas e subir em 10 cm em todo o perímetro do cômodo;

Figura 4 – Posicionamento da manta e execução das viradas junto aos elementos de vedação



(fonte: Site da Ecofiber)

- Recordar um pedaço da manta de 10 x 10 cm e realizar o arremate da manta nos cantos das paredes com fita adesiva indicada pelo fabricante.

Figura 5 – Execução do arremate no encontro de paredes



(fonte: Site da Ecofiber)

7.3 ENCONTRO ENTRE MANTAS

- Não é necessário sobrepor as mantas;
- As mesmas devem ser posicionadas encostadas umas nas outras e devem ser seladas com fita adesiva indicada pelo fabricante da manta;
- Esse procedimento evita a formação de pontes acústicas;

Figura 6 – Execução da emenda das mantas com fita indicada pelo fabricante



(fonte: Site da Trisoft)

7.4 ENCONTRO ENTRE AMBIENTES

- No encontro entre ambientes, sejam eles com manta ou sem manta, deve-se prever uma virada da manta, da mesma altura que a virada do rodapé;
- Antes da execução do contrapiso, deve-se fixar um anteparo junto a abertura, possibilitando assim que o contrapiso seja concretado.

Figura 7 – Execução da virada da manta junto a soleira das portas

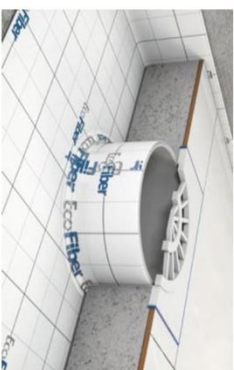


(fonte: Site Ecofiber)

7.5 INTERFACE COM TUBULAÇÕES

- Deve-se prever o arremate da manta acústica junto a tubulações hidráulicas e elétricas;
- A manta deverá cobrir toda a área de contato da tubulação com o contrapiso;

Figura 8 – Arremate da manta acústica junto ao ralo



(fonte: Site Ecofiber)

- As emendas entre mantas no arremate deverão ser coladas com fita indicada pelo fabricante;
- Para os locais onde é previsto a execução de impermeabilização, a manta da acústica deverá ser executada somente após a finalização dos serviços.

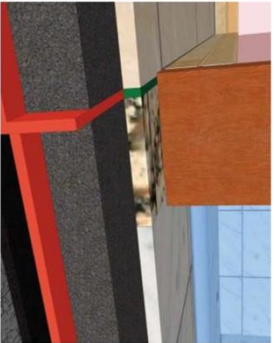
Figura 9 – Detalhe padrão da interface manta/impermeabilização/ralo



(fonte: Site ProAcústica)

LOGO	INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE FVS-OBRO01-R00	Data: 23/05/18 Autor: Carlos Parise Revisão: - Aprovação: Carlos Parise
------	---	--

Figura 10 – Execução da virada junto a soleira das portas onde há presença de impermeabilização



(fonte: Site ProAcústica)

7.6 INTERFACE COM JUNTAS DE MOVIMENTAÇÃO E DILATAÇÃO

- Deve ser prevista a execução de viradas de manta junto a todas as juntas previstas em projeto;
- As mesmas devem ser executadas conforme as instruções de encontro de ambientes.

8 EXECUÇÃO DO CONTRAPISO SOBRE MANTA ACÚSTICA

8.1 INSTRUÇÕES GERAIS

- A manta acústica deverá estar completamente instalada;
- Todos os encontros de manta deverão estar tratados;

- As viradas previstas deverão estar executadas;
- O filme que protege a parte inferior da manta deverá estar íntegro. Em caso de perfurações ou danos, a mesma deverá ser tratada com fita indicada pelo fabricante ou substituída.

8.2 PREPARAÇÃO DA ARGAMASSA

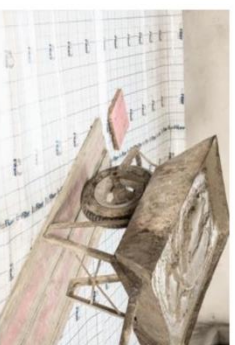
- A argamassa deverá ser preparada conforme instrução do fabricante;
- Utilizar dosador padrão para a adição de água na argamassa;
- A mesma deverá ter aspecto farofa.

8.3 APLICAÇÃO DA ARGAMASSA

8.3.1 Primeira camada

- O transporte da argamassa até o local de aplicação acontecerá por meio de Jérica;
- A manta acústica deverá se protegida por placas de compensado;

Figura 11 – Transporte da argamassa de contrapiso até o local de aplicação



INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE

FVS-OBRO01-R00

Data: 23/05/18
 Autor: Carlos Parise
 Revisão: -
 Aprovação: Carlos Parise

- Lançar a argamassa com espessura variando entre 25 e 30 mm de espessura;
- Compactar a argamassa com o soquete padrão, de modo que a espessura fique entre 25 e 20 cm.

(fonte: Site Ecofiber)

Figura 13 – Posicionamento da armadura entre camadas

Figura 12 – Compactação do contrapiso com o soquete padrão



(fonte: Site Aubicon)

8.3.2 Armadura

- Posicionar a armadura ao longo de todo o contrapiso;
- O transpasse das telas deverá ser de, no mínimo, 10 cm em todas as laterais;
- Deverão ser executados recortes na armadura para o encontro da armadura com outros elementos, como pilares, pontos emergentes e etc..



(fonte: Site MAPEI)

Figura 14 – Manta posicionada



(fonte: Site Aubicon)

LOGO	INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE FVS-OBRO01-R00	Data: 23/05/18 Autor: Carlos Parise Revisão: - Aprovação: Carlos Parise
------	---	--

8.3.3 Segunda Camada

- A aplicação da argamassa da segunda camada deverá seguir as premissas de aplicação da primeira;
- A mesma deverá ser compactada até que a altura de projeto seja atingida;
- O acabamento deverá estar conforme projeto.
- Caso o acabamento previsto seja rústico, o mesmo deverá ser executado com a régua de alumínio;

Figura 15 – Execução do sarrafeamento da argamassa do piso



(fonte: Site Mapei)

- Caso o acabamento previsto seja desempenado, o mesmo deverá ser executado com o uso da desempenadeira e com a aspersão de água através da trincha.

Figura 16 – Execução do arremate no encontro de paredes



(fonte: Site Ecofiber)

9 ACABAMENTO

- Este procedimento de acabamento deve constar no manual do síndico como obrigatório, uma vez que o desempenho acústico ao ruído de impacto pode ser comprometido caso o mesmo não seja seguido;
- Após o assentamento das cerâmicas e soleiras e antes da instalação dos rodapés, deve-se realizar o corte dos excessos de manta nas interfaces com paredes e demais elementos da construção;
- As juntas criadas pela interface revestimento, manta e elemento de vedação vertical devem ser tratadas com a aplicação de selante a base de silicone de cura neutra;

LOGO

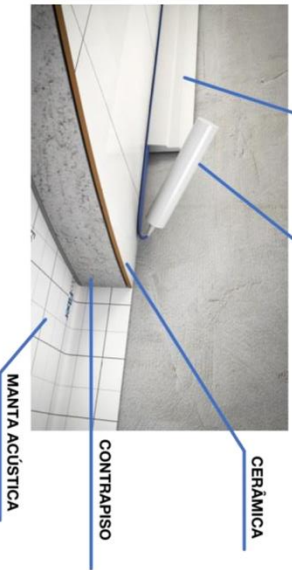
INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE

FVS-OBRO01-R00

Data: 23/05/18
Autor: Carlos Parise
Revisão: -
Aprovação: Carlos Parise

- Antes da aplicação do selante, as placas cerâmicas e os demais elementos de revestimento em contato com a manta deverão ser protegidos com fita crepe;
- A aplicação do silicone deverá ocorrer de maneira contínua;
- Logo após a aplicação do selante, se previsto, deverá ser instalado sobre essa camada de silicone o rodapé, de modo que o mesmo esteja desolidarizado do sistema de revestimento da laje.

Figura 17 – Execução do arremate no encontro de paredes



(fonte: Site Escotiber)

LOGO	INSTRUÇÃO DE TRABALHO PISO FLUTUANTE FVS-OBRO01-R00	Data: 23/05/18 Autor: Carlos Parise Revisão: - Aprovação: Carlos Parise
------	---	--

10 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES

10.1 INSTRUÇÃO DE TRABALHO

REVISÃO	DATA	ALTERAÇÃO	RESPONSÁVEL
00	23/05/2018	Emissão	Carlos Henrique Parise

10.2 FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO

REVISÃO	DATA	ALTERAÇÃO	RESPONSÁVEL
00	23/05/2018	Emissão	Carlos Henrique Parise

FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO PISO FLUTUANTE

FVS-OBRO01-R00

Data: 23/05/18
Autor: Carlos P.
Revisão: -
Aprovação: Carlos P.

OBRA:	RESPONSÁVEL:	TORRE:	APARTAMENTO:	DATA DE ABERTURA:	DATA DE CONCLUSÃO:
ETAPAS DA LIBERAÇÃO PARA INÍCIO DO SERVIÇO			SIM	NÃO	
1 PREPARAÇÃO					
1.1	Todos os documentos necessários estão disponíveis na engenharia?			1.4	Todos os equipamentos estão disponíveis no pavimento?
1.2	Todos os projetos necessários estão disponíveis na engenharia?			1.5	Todas as atividades predecessoras estão finalizadas no local?
1.3	Todos os materiais necessários estão disponíveis no pavimento?				
ITENS DE VERIFICAÇÃO					
2 CONDIÇÕES INICIAIS		AMOSTRA	CONFERÊNCIA	TOLERÂNCIA	STATUS
A R					
SOLUÇÃO UTILIZADA?					
2.2	Nível do piso dentro dos limites de tolerância.	100%	Nível a laser, verificar o nível final do contrapiso e os salientes conforme projeto	± 5 mm	
2.3	Planicidade do piso dentro dos limites de tolerância.	100%	Régua de 2 metros de alumínio e canha de medição.	± 2 mm	
2.4	Laje limpa e livre de resíduos.	100%	Visualmente	-	
3 INSTALAÇÃO DA MANTA					
3.1	Aplicação da manta conforme projeto.	100%	Visualmente, de acordo com o projeto	-	
3.2	Virada de no mínimo 10 cm em todo o perímetro.	100%	Visualmente. Anelar com a trena caso julgar necessário.	± 5 cm	
3.3	Aplicação da fita adesiva na emenda de mantas.	100%	Visualmente. A junta deve estar toda vedada	-	
3.4	Separação dos contrapisos no encontro entre ambientes.	100%	Visualmente	-	
3.5	Aremates junto às instalações elétricas e hidráulicas.	100%	Visualmente	-	
4 EXECUÇÃO DO CONTRAPISO					
4.1	Manta íntegra e estanque.	100%	Visualmente, observando possíveis danos a manta	-	
4.2	Aplicação primeira camada de argamassa.	100%	Visualmente. Verificar a execução da compactação da argamassa	-	
4.3	Colocação da armadura conforme projeto.	100%	Visualmente e com Trena. O transpasso deve ser de 10 cm.	± 2 cm	
4.4	Segunda camada de argamassa.	100%	Visualmente. Verificar a execução da compactação da argamassa	-	
4.5	Nível do contrapiso.	100%	Nível a laser, verificar o nível final do contrapiso e os salientes conforme projeto	± 5 mm	
4.6	Planicidade do contrapiso.	100%	Régua de 2 metros de alumínio e canha de medição.	± 2 mm	
Parte 1: SIM - Cumpre os requisitos; NÃO - Carencia de elementos para início do serviço; SIM e NÃO - Cumpre após reinspeção. Parte 2, 3 e 4: A - Serviço aprovado; R - Serviço reprovado; A e R - Serviço aprovado após reinspeção. Parte 2, 3 e 4: Solução utilizada? Caso reprovado, deve-se indicar a solução utilizada					
APROVAÇÃO DO ENCARGADO			APROVAÇÃO MESTRE		
//_/ Ass:			_/_/_/ Ass:		
CÊNCIA DO ENGENHEIRO					
//_/ Ass:					