



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Glauber Kayron Figueiredo Vasconcelos
Hercules Romulo Negreiros dos Santos

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO EM PISOS INTERNOS
DAS EDIFICAÇÕES SEGUNDO A NBR 15575 (ABNT, 2013) E A
INFLUÊNCIA NOS DIFERENTES SISTEMAS DE PISOS.**

Recife
2016

Glauber Kayron Figueiredo Vasconcelos
Hercules Romulo Negreiros dos Santos

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO EM PISOS INTERNOS
DAS EDIFICAÇÕES SEGUNDO A NBR 15575-3 (ABNT, 2013) E A
INFLUÊNCIA NOS DIFERENTES SISTEMAS DE PISOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Pernambuco para a
Obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Área de Concentração: Engenharia Civil
Professor Orientador: Sérgio do Rego Barros Machado Dias

Recife
2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

- V331a Vasconcelos, Glauber Kayron Figueiredo.
Avaliação do desempenho acústico em pisos internos das edificações segundo a nbr 15575 (abnt,2013) e a influência nos diferentes sistemas de pisos. / Glauber Kayron Figueiredo Vasconcelos e Hercules Romulo Negreiros dos Santos - Recife: Os Autores, 2016.
53 folhas, Il., Equa. e Tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Sérgio do Rego Barros Machado Dias.
- TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Civil, 2016.
Inclui Referências.
1. Engenharia Civil. 2. Acústica dos edificios. 3. Acústica de pisos. 4. Ruídos de impacto. 6. Desempenho acústico. 5. NBR 15575. I. Santos, Hercules Romulo Negreiros dos. II. Machado Dias, Sérgio do Rego Barros. (Orientador) III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2016 - 35



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 - Glauber Kayron Figueiredo Vasconcelos
2 - Hercules Romulo Negreiros dos Santos

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Prof. Sérgio do Rego Barros Machado Dias
Examinador 1: Tibério Wanderley de Oliveira Andrade
Examinador 2: Felipe Guadagnano Hipólito Lopes

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Avaliação do desempenho acústico em pisos internos das edificações segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013) e a influência nos diferentes sistemas de pisos.

LOCAL: UFPE/CTG - Centro de Tecnologia e Geociências

DATA: 04/02/2016 HORÁRIO DE INÍCIO:HORAS.

Em sessão pública, após exposição de cerca de.....minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) argüido(s) oralmente pelos membros da banca, sendo considerado(s):

1) () **aprovado(s)**, pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito

() Sem revisões.

() **Com revisões**, a serem feitas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias. (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

2) (...) **reprovado(s)**.

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 04 de fevereiro de 2016.

Orientador:

Examinador 1

Examinador 2

Candidato 1

Candidato 2

Glauber Kayron Figueiredo Vasconcelos
Hercules Romulo Negreiros dos Santos

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO EM PISOS INTERNOS
DAS EDIFICAÇÕES SEGUNDO A NBR 15575-3 (ABNT,2013) E A
INFLUÊNCIA NOS DIFERENTES SISTEMAS DE PISOS.**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE BACHAREL EM ENGENHEIRIA CIVIL.

Data da Defesa: **04/02/2016**

Examinado por:

Prof. Sérgio do Rego Barros Machado Dias

Prof. Tibério Wanderley de Oliveira Andrade

Engº Civil Felipe Guadagnano Hipólito Lopes

RECIFE, PE – BRASIL.
FEVEREIRO 2016

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, depois aos nossos pais por estarem ao nosso lado nos momentos mais difíceis dessa jornada que foi a graduação.

Também agradecemos aos amigos que fizemos ao longo do curso, graças ao suporte deles, que conseguimos superar várias barreiras.

Por fim, agradecemos também aos professores e funcionários da Universidade Federal de Pernambuco por terem feito, esses anos, valido a pena.

Dedicamos este trabalho aos nossos pais: Karla Silene & José Glaucio “in memoriam” (Glauber Kayron) e Cláudia Negreiros & Antônio Felipe (Hercules Negreiros).

RESUMO

A construção civil passa por um momento de adequação nas suas etapas de construção com os requisitos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua NBR 15575:2013 - Norma desempenho, incluindo em sua parte 3 a avaliação do desempenho acústico em pisos. O consumidor passa agora a ter critérios de conforto acústico e parâmetros para exigir uma melhor qualidade de atenuação dos ruídos de impacto, que devem ser exigidos no produto final respeitando os valores exigidos pela NBR 15575-3:2013. Sabendo das novas exigências para atingir o desempenho solicitado, a avaliação dos diferentes sistemas e das diferentes técnicas constitui um conhecimento valioso para definir qual método deve ser adotado. Objetiva-se estudar os diferentes sistemas e avaliar o melhor índice de atenuação de impacto de ruído em pisos.

Palavras chave: Acústica dos edifícios, acústica de pisos, ruídos de impacto, desempenho Acústico, NBR 15575 (ABNT).

ABSTRACT

The construction goes through a time of adjustment in their construction stages with the requirements of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) in its NBR 15575: 2013 - Standard performance, including on their part 3 assessing the acoustic performance floors. The consumer now replaced by acoustic comfort criteria and parameters to demand a better quality of mitigating the impact of noise, which should be required in the final product respecting the values required by NBR 15575-3: 2013. Knowing the new requirements to achieve the performance required, the evaluation of different systems and different techniques is a valuable knowledge to determine which method should be adopted. The objective is to study the different systems and evaluate the best impact noise attenuation rate floors.

Keywords: Acoustics of buildings, acoustic flooring, impact noise, acoustic performance, NBR 15575 (ABNT).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano Fonte: IPT	20
Figura 2 – Exemplos de transmissão de ruído aéreo e de impacto Fonte: ProAcústica, 2013.....	21
Figura 3 - Caminhos de propagação do ruído de impacto Fonte: ISOVER SAINT-GOBAIN, 2014.....	22
Figura 4 – Gráfico do tempo de reverberação Fonte: NEMESIS, www.audiodifusores.com.....	25
Figura 5 – Divisão da energia sonora sobre um material absorvente e um material isolante Fonte: Carvalho, 2006	26
Figura 6 – Tipos de transmissão de ruído Fonte: Anima Acústica, 2012.....	27
Figura 7 – Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos Fonte: NBR 15575-3, 2013.....	28
Figura 8 – Amplitude da força de impacto e tempo de transmissão da quantidade de movimento em função da dureza do piso Fonte: SANCHES & SENCHERMES, 2007	28
Figura 9 – Curvas típicas de isolamento de ruído de impacto Fonte: Anima Acústica, 2012.....	29
Figura 10 – Forração de piso utilizada para atenuar o ruído de passos Fonte: CONRAD, 2007	29
Figura 11 – Redução da transmissão dos ruídos de impacto por um forro falso suspenso Fonte: CONRAD, 2007.....	30
Figura 12 – Instalação de manta resiliente e contrapiso sobre a manta Fonte: Universidade Federal do Paraná, 2013	31
Figura 13 – Elementos de um sistema de piso flutuante Fonte: Anima Acústica, 2012.....	31
Figura 14 – Caminhos de propagação sonora em sistemas de piso flutuante Fonte: Anima Acústica, 2012	32
Figura 15 – Interrupção do piso flutuante entre cômodos Fonte: Anima Acústica, 2012.....	33
Figura 16 – Exemplo de emenda entre mantas de material resiliente Fonte: Anima Acústica, 2012	33
Figura 17 – Esquema de passagem de tubulações em pisos flutuantes Fonte: Anima Acústica, 2012	34
Figura 18 – Esquema de passagem de tubulações através de lajes flutuantes Fonte: Anima Acústica, 2012	34
Figura 19 – Dodecaedro CESVA FP122 Fonte: http://www.cesva.com , 2015.....	36
Figura 20 – Tapping machine CESVA MI006 Fonte: http://www.cesva.com , 2015 .	37
Figura 21 – Sonômetro integrador analisador CESVA SC310 Fonte: http://www.cesva.com , 2015	38
Figura 22 - Calibrador para Decibelímetro MSL-1326 Minipa Fonte: http://www.minipa.com.br/ , 2015.....	39
Figura 23 - Corte esquemático das câmaras para medir ruído de impacto Fonte: Universidade Federal do Paraná, 2013	40
Figura 24 – Croqui das câmaras de medição do ruído de impacto Fonte: Pedroso, 2007.....	42
Figura 25 – Placa de concreto sem revestimento Fonte: Pedroso, 2007	43

Figura 26 – Placa de concreto com revestimento de porcelanato Fonte: Pedroso, 2007.....	44
Figura 27 – Revestimento de laminado de madeira assentado sobre manta de polietileno Fonte: Pedroso, 2007	44
Figura 28 – Placa de lã de vidro: (A) Face plastificada; (B) Face não plastificada Fonte: Pedroso, 2007	45
Figura 29 – Esquema do piso para o primeiro ensaio Fonte: Pedroso, 2007	45
Figura 30 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de 12cm: $L'_{nT,w} = 78\text{dB}$ Fonte: Pedroso, 2007	46
Figura 31 - Esquema do piso para o segundo ensaio Fonte: Pedroso, 2007	46
Figura 32 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de entrepiso + porcelanato: $L'_{nT,w} = 73\text{dB}$ Fonte: Pedroso, 2007	47
Figura 33 - Esquema do piso para o terceiro ensaio Fonte: Pedroso, 2007	47
Figura 34 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de entrepiso + lã de vidro + porcelanato: $L'_{nT,w} = 50\text{dB}$ Fonte: Pedroso, 2007	48
Figura 35 - Esquema do piso para o quarto ensaio Fonte: Pedroso, 2007	48
Figura 36 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de entrepiso + laminado de madeira: $L'_{nT,w} = 75\text{dB}$ Fonte: Pedroso, 2007	49
Figura 37 - Esquema do piso para o quinto ensaio Fonte: Pedroso, 2007	49
Figura 38 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de entrepiso + lã de vidro + laminado de madeira: $L'_{nT,w} = 56\text{dB}$ Fonte: Pedroso, 2007.....	50
Figura 39 – Gráfico comparativo do nível de ruído de impacto nos diferentes sistemas Fonte: Glauber & Hercules, 2016	52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Pressão sonora em Decibel Fonte: Halliday, 1996	19
Equação 2 – Nível sonoro de impacto normalizado em laboratório (L_n) Fonte: Halliday, 1996	22
Equação 3 – Nível sonoro de impacto normalizado in-situ (L'_n) Fonte: Halliday, 1996	23
Equação 4 – Nível sonoro de impacto padronizado in-situ (L'_{nT}) Fonte: Halliday, 1996	23
Equação 5 – Tempo de reverberação Fonte: Sabine	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Intensidades sonoras características em dB	Fonte: CBIC, 2013..	19
Tabela 2 – Critério de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$	Fonte: NBR 15575-3, 2013.....	24
Tabela 3 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderado, $D_{nT,w}$	Fonte: NBR 15575-3, 2013.....	24
Tabela 4 – Atenuação sonora de pisos revestidos	Fonte: Anima Acústica, 2012.....	30
Tabela 5 – Valores indicativos do índice de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$	Fonte: IPT	34
Tabela 6 – Distâncias mínimas de separação dos microfones	Fonte: Universidade Federal de Santa Maria, 2009.....	41

SUMÁRIO

1. Introdução.....	16
1.1. Justificativa.....	16
1.2. Objetivos gerais.....	17
1.3. Objetivos Específicos.....	17
2. Metodologia.....	18
2.1. Tipo de pesquisa.....	18
2.2. Instrumentação e procedimentos.....	18
3. Fundamentação teórica.....	19
3.1. Conceitos.....	19
3.1.1. Som e ruído.....	19
3.1.2. Ruído aéreo.....	21
3.1.3. Ruído de impacto.....	21
3.1.3.1. Nível sonoro de impacto normalizado em laboratório (L_n).....	22
3.1.3.2. Nível sonoro de impacto normalizado in-situ (L'_n).....	23
3.1.3.3. Nível sonoro de impacto padronizado in-situ (L'_{nT}).....	23
3.1.3.4. Nível sonoro de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$).....	23
3.1.3.5. Diferença padronizada de nível ponderado ($D_{nT,w}$).....	24
3.1.4. Tempo de reverberação (TR).....	24
3.1.5. Propagação de ondas sonoras com obstáculos.....	25
3.1.6. Som incidente.....	26
3.1.7. Som refletido.....	26
3.1.8. Som absorvido.....	26
3.1.9. Som transmitido.....	26
3.1.10. Acústica de edificações.....	26
3.1.10.1. Características acústicas de edificações.....	26
3.1.10.2. Materiais utilizados em lajes.....	27
3.1.10.2.1. Materiais utilizados para atenuação de ruídos.....	28
3.1.10.2.1.1. Forrações de pisos.....	29
3.1.10.2.1.2. Forros falsos.....	30
3.1.10.2.1.3. Pisos flutuantes.....	31
3.2. Referências Normativas.....	35
4. Procedimentos de Ensaio.....	36
4.1. Definições.....	36
4.2. Instrumentação.....	36
4.2.1. Fonte sonora omnidirecional (dodecaedro).....	36

4.2.2.	Tapping machine.....	37
4.2.3.	Sonômetro integrador Analisador SC310	38
4.2.4.	Calibrador do nível de pressão acústica.....	38
4.3.	Condições gerais para a realização de ensaios	39
4.4.	Procedimento	39
5.	Estudo de caso.....	42
5.1.	Local dos ensaios	42
5.2.	Materiais utilizados nos ensaios	43
5.2.1.	Placa de concreto com revestimento.....	43
5.2.2.	Lã de vidro	44
5.3.	Estudo de caso 1	45
5.3.1.	Resultados	46
5.4.	Estudo de caso 2	46
5.4.1.	Resultados	47
5.5.	Estudo de caso 3.....	47
5.5.1.	Resultados	48
5.6.	Estudo de caso 4	48
5.6.1.	Resultados	49
5.7.	Estudo de caso 5.....	49
5.7.1.	Resultados	50
5.8.	Comparativo dos resultados obtidos.....	50
6.	Conclusões.....	53
7.	Referências.....	54

1. Introdução

A preocupação com o desempenho de edificações surgiu na Europa por volta dos anos 1960, desenvolvendo-se, a partir daí, projetos e materiais que, em 1984, com a publicação da ISO 6241 (*Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered*), estabeleceu-se os requisitos necessários que uma edificação deva seguir para obter níveis confortáveis de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Após isso o desempenho acústico das edificações passou a ser um elemento importante na elaboração de códigos e projetos visando reduzir o impacto sobre a saúde humana.

No Brasil, o cenário do começo da década de 1980 não era favorável para construção civil, apresentava-se uma escassez de recursos para as empresas do setor habitacional, por conta disso desenvolveu-se uma cultura de racionalização de custos dentro das obras, focando-se apenas na manutenção das condições de segurança estrutural, e diminuindo a espessura de paredes de vedação e pisos, essa atitude resultou numa perda significativa no desempenho acústico das edificações.

Em 1987 entrou em vigor a NBR 10152 (*Níveis de ruído para conforto acústico*), estabelecendo os níveis de ruído máximos admissíveis nos ambientes referentes ao seu tipo de utilidade. Infelizmente essa norma não veio a ser seguida com rigor pelas empresas, sendo necessário então após um longo período de tempo, a elaboração de uma nova norma, em 2013 foi apresentada a NBR 15575 (*Edificações habitacionais – Desempenho*), que veio para definir os níveis de desempenho que os sistemas construtivos devem ter para reduzir a transmissão de ruídos gerados internamente e externamente nas edificações habitacionais (PROACÚSTICA, 2013).

1.1. Justificativa

Os ruídos aéreos e os de impacto sobre o piso, não podem interferir no conforto acústico em edificações habitacionais de múltiplos pavimentos, devendo a edificação apresentar meios para que essa propagação sonora seja atenuada de um pavimento para o outro.

O trabalho não tem a pretensão de desenvolver novos métodos que possam vir a mitigar a propagação de ruído, mas sim o de analisar o seu comportamento sobre pisos, usando a NBR 15575-3 como parâmetro.

A NBR 15575 (*Edificações habitacionais – Desempenho*) vem a ser uma norma que complementa a norma prescritiva já vigente (NBR 10152), logo as duas não são excludentes, e seu uso em conjunto visa se adequar as exigências de conforto dos usuários.

Com a implantação da norma de desempenho acústico, os projetistas têm que se adequar aos parâmetros nela exigidos, bem como também os materiais de construção vendidos no mercado devem procurar atender aos padrões exigidos na norma. Na prática ainda não há no mercado da construção civil um conhecimento maior referente a técnicas de isolamento acústico em obras habitacionais, sendo assim necessária uma maior divulgação por parte dos órgãos fiscalizadores e das empresas que vendem tais implantações de técnicas.

1.2. Objetivos gerais

Analisar os critérios e requisitos para verificação do isolamento acústico do sistema de pisos entre unidades autônomas, sendo considerado o isolamento de impacto no sistema do piso (queda de objetos, caminhar e outros), de acordo com as especificações da norma de desempenho ABNT NBR 15575-3/2013.

1.3. Objetivos Específicos

Avaliar o atendimento dos limites de desempenho de ruído de impacto em medições acústicas conforme procedimentos padronizados especificados em normas nacionais e internacionais.

Avaliar de forma comparativa diferentes estruturas de pisos com a finalidade de obter parâmetros para definir qual sistema apresenta melhor desempenho acústico.

2. Metodologia

2.1. Tipo de pesquisa

Neste trabalho, foram analisados ensaios de laboratório para determinar se os sistemas de piso atendem às exigências de desempenho acústico. A norma NBR 15575-3 prevê valores de referência mínimos para o desempenho destes pisos.

Determinação em campo de forma rigorosa do nível de pressão sonora de impacto padrão em sistema de piso entre unidades autônomas, descrito na ISO 140-7 e caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema para o impacto sofrido.

2.2. Instrumentação e procedimentos

Para avaliar o desempenho acústico das lajes internas, a norma dispõe de dois métodos que podem ser utilizados (engenharia e método simplificado de campo), neste trabalho foi utilizado o método de engenharia, por ser o mais preciso e também realizado em campo, se orientando através da ISO 140-7 (*para isolamento de ruído de impacto padrão em sistema de pisos*).

3. Fundamentação teórica

3.1. Conceitos

3.1.1. Som e ruído

O som é resultado dos movimentos vibratórios que se propagam pelo ar ou outros meios com ondas e amplitudes variadas. Quanto maior for a amplitude da onda, maior vai ser a intensidade sonora, e quanto maior a frequência da onda (expressa em ciclos de Hertz – Hz), mais agudo será o som emitido (CBIC, 2013).

Essa oscilação vibratória gera uma pressão no aparelho auditivo, para expressar sua intensidade foi criada uma escala de referência, designada como Bel, e a partir dele o Decibel (1 Decibel = 10 Bels), com o intuito de desprezar frações decimais, podendo-se por meio dela quantificar os sons por numerais inteiros como 30,50, etc, e expressa pela Equação 1:

Equação 1 – Pressão sonora em Decibel

$$dB = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

Fonte: Halliday, 1996

Sendo,

dB – Nível na escala decibel;

p – Pressão acústica da onda (em Pascals);

p_0 – Pressão de referência (2×10^{-5} Pa).

Tabela 1 – Intensidades sonoras características em dB

Nível de desempenho		Correspondência aproximada
Pa	dB (A)	
20	120	Martelete pneumático, turbina de avião
2	100	Veículos com escapamento aberto (motos, autos)
0,2	80	Avenidas com trânsito intenso, gritos de pessoas
0,02	60	Rádio em volume normal, rua com pequeno trânsito de veículos
0,0002	20	Limite para o repouso tranquilo
0,00002	0	Limite de audição para jovens, frequência 1.000 a 4.000 Hz

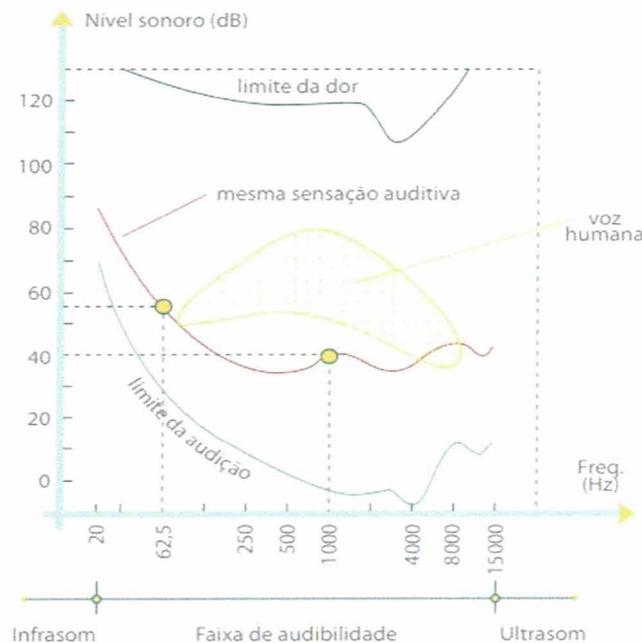
Fonte: CBIC, 2013

A intensidade sonora captada pelo ouvido humano varia com o ruído residual (ruído de fundo) e com as diferentes frequências. Conforme a Figura 1, a sensação auditiva é aproximadamente a mesma para um som com intensidade de 55 dB(A) a 62,5 Hz e um som com intensidade de 40 dB(A) a 1000 Hz. Além disso, o ouvido

humano é menos sensível para sons abaixo de 1000 Hz e acima de 4000 Hz, conforme pode-se observar nas curvas da Figura 1. A grosso modo, para equalizar as intensidades sonoras reais com aquelas percebidas pelo ouvido humano, é que os físicos criaram a escala “A”, que pondera as intensidades sonoras para as diferentes frequências e dá origem à grafia registrada na Tabela 1. Assim sendo, 80 dB(A) (80 decibéis na escala A) corresponde à sensação humana de uma variada composição de tons e frequências, cuja intensidade seria diferente em outras escalas (B ou C, por exemplo), mais apropriadas para ultrassonografia, eletromagnetismo e outras ciências (CBIC, 2013).

O limite da audição é a intensidade mínima do som ser percebido pelo ouvido humano. O limite superior é caracterizado quando causa dor, chamado então de limite da dor, consideramos então de maneira simplificada, que o limite da audição é igual a 0 dB(A), e o limite da dor com 140 dB(A).

Figura 1 – Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano

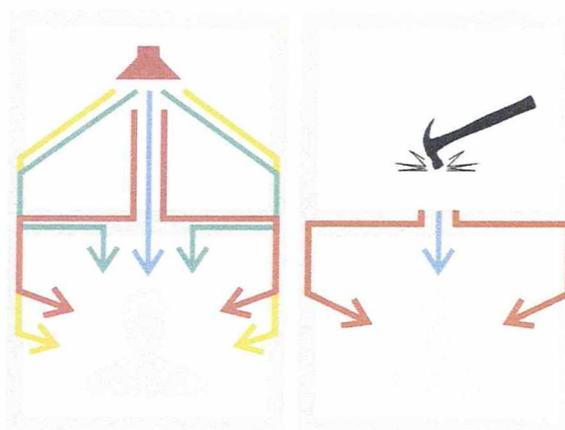


Fonte: IPT

O ruído pode ser caracterizado como o som indesejado, cabendo ao receptor definir se o som é agradável ou não. Eles podem ser classificados como aéreo ou de impacto. O aéreo está relacionado a sua propagação através do ar, o de impacto está associado ao choque com um elemento sólido, podendo ser causado pela

queda de objetos, sapateado, tubulação hidráulica, ou componentes móveis da edificação como elevadores (PROACÚSTICA, 2013).

Figura 2 – Exemplos de transmissão de ruído aéreo e de impacto



Fonte: ProAcústica, 2013

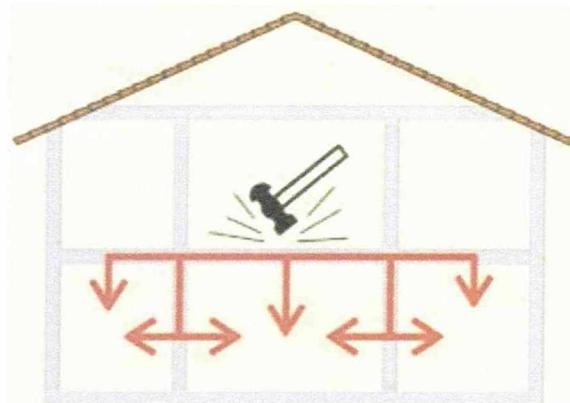
3.1.2. Ruído aéreo

O ruído aéreo é aquele que tem sua origem no ar e se transmite através do piso e paredes do prédio entre os distintos ambientes. Os exemplos mais comuns de ruído aéreo em prédios são as conversas, música ou TV.

3.1.3. Ruído de impacto

O ruído de impacto é originado por vibrações devido a impactos e/ou excitações dinâmicas de naturezas diversas (excitações periódicas), em algum componente da edificação. As superfícies das edificações trabalham como amplificadores dos sons gerados por vibração. O impacto ou a vibração pode não gerar ruídos individualmente, mas se a fonte estiver conectada ao piso, por exemplo, o ruído é amplificado devido à vibração produzida no piso (METHA, 1999 – Adaptado).

Figura 3 - Caminhos de propagação do ruído de impacto



Fonte: ISOVER SAINT-GOBAIN, 2014

Quanto mais rígida for a superfície em que o ruído for induzido, mais ruído será gerado, logo quanto mais macio e elástico for a superfície, menos ruído será produzido. Pode-se imaginar a seguinte situação, o ruído gerado com os passos de uma pessoa sobre uma laje que apresenta piso de porcelanato, comparada a mesma situação com um tapete (material com resiliência) sobre o piso, a diferença de ruído emitido é bastante evidente (PROACÚSTICA, 2013).

3.1.3.1. Nível sonoro de impacto normalizado em laboratório (L_n)

É a capacidade da estrutura de transmitir o som ao ser excitada por uma fonte mecânica, expressa pela equação 2:

Equação 2 – Nível sonoro de impacto normalizado em laboratório (L_n)

$$L_n = L_2 + 10 \log\left(\frac{A}{A_0}\right) (dB)$$

Fonte: Halliday, 1996

Sendo,

L_2 – Nível de pressão sonora de impacto, expresso em dB, definido pela média dos níveis sonoros de impacto, em bandas de 1/3 de oitava, medidos na sala de recepção quando o piso de cima é excitado por um aparato normalizado de impacto;

A – Área das superfícies de absorção da sala receptora em m^2 ;

A_0 – Área de absorção de referência, igual a $10 m^2$.

Obs: A parcela de ruído indireta não é considerada na situação em laboratório.

3.1.3.2. Nível sonoro de impacto normalizado in-situ (L'_n)

Para o caso in-situ, quando a transmissão de ruído se dá pelos flancos, o nível sonoro de impacto normalizado é expresso pela equação 3:

Equação 3 – Nível sonoro de impacto normalizado in-situ (L'_n)

$$L'_n = L_2 + 10 \log\left(\frac{A}{A_0}\right) (dB)$$

Fonte: Halliday, 1996

Sendo,

L_2 , A e A_0 os parâmetros da equação 2.

3.1.3.3. Nível sonoro de impacto padronizado in-situ (L'_{nT})

O nível sonoro de impacto padronizado in-situ é expresso pela equação 4

Equação 4 – Nível sonoro de impacto padronizado in-situ (L'_{nT}):

$$L'_{nT} = L_2 - 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right) (dB)$$

Fonte: Halliday, 1996

Sendo,

L_2 o parâmetro da equação 2;

T – Tempo de reverberação na sala de recepção, em segundos;

T_0 – Tempo de reverberação de referência, igual a 0,5 segundos.

3.1.3.4. Nível sonoro de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$)

O nível sonoro de impacto padronizado ponderado é em edificações, o único valor de isolamento de ruído de impacto, derivando de valores em 1/1 oitavas ou em 1/3 de oitavas, do nível sonoro normalizado de impacto in-situ (L'_n), de acordo com os procedimentos descritos na ISO 717-2 (1996).

Tabela 2 – Critério de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$

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

Fonte: NBR 15575-3, 2013

3.1.3.5. Diferença padronizada de nível ponderado ($D_{nT,w}$)

A diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, é o número único do isolamento de ruído aéreo em edificações, derivado dos valores em bandas de oitava ou de terço de oitava da diferença padronizada de nível, D_{nT} , entre ambientes de acordo com o procedimento especificado na ISO 717-1.

O sistema de piso deve apresentar desempenho mínimo de diferença padronizada de nível ponderado conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderado, $D_{nT,w}$

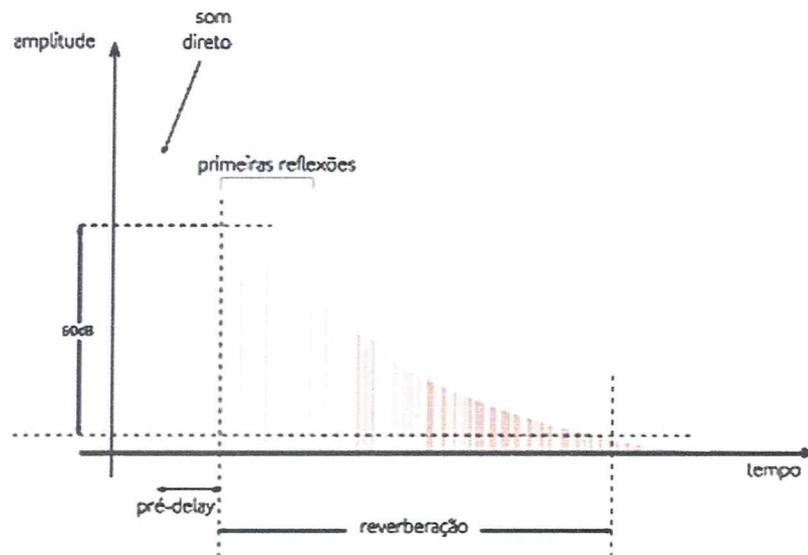
Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório	45 a 49	Médio
	50 a 54	Intermediário
	≥ 55	Superior
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos	40 a 44	Médio
	45 a 49	Intermediário
	≥ 50	Superior
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	Médio
	50 a 54	Intermediário
	≥ 55	Superior

Fonte: NBR 15575-3, 2013

3.1.4. Tempo de reverberação (TR)

O tempo de reverberação, é o intervalo de tempo em segundos necessário para ocorrer um decaimento no nível de pressão sonora (Amplitude) de 60 dB a partir do termino da emissão da fonte sonora.

Figura 4 – Gráfico do tempo de reverberação



Fonte: NEMESIS, www.audiodifusores.com

O Tempo de reverberação depende do ambiente, da área das superfícies e do coeficiente de absorção do material empregado nas superfícies. Sabine, considerado o pai da acústica moderna, desenvolveu uma equação para estimar o tempo de reverberação (LOSSO, 2003).

Equação 5 – Tempo de reverberação

$$TR = \frac{(0,16 \times V)}{\sum S \alpha}$$

Fonte: Sabine

Sendo,

TR – Tempo de reverberação

V – Volume do local

S – Área das superfícies

α – Coeficiente de absorção dos materiais

3.1.5. Propagação de ondas sonoras com obstáculos

Uma parte importante para o estudo do comportamento do som, é analisar o comportamento da propagação de ondas com obstáculos, gerando reflexão do som de volta para o ambiente, absorção do material ao qual ele foi induzido, e transmissão para outro ambiente (CARVALHO, 2006).

Figura 5 – Divisão da energia sonora sobre um material absorvente e um material isolante



Fonte: Carvalho, 2006

3.1.6. Som incidente

É a parcela de emissão sonora incidente na superfície, dividindo-se após isso em som refletido, absorvido e transmitido para outro ambiente.

3.1.7. Som refletido

É a parcela de som não absorvida que retorna ao ambiente da fonte emissora.

3.1.8. Som absorvido

É o som absorvido pelo material que recebeu a emissão sonora, e quando não atravessa o material é dissipado em forma de calor.

3.1.9. Som transmitido

É a parcela de som que atravessa o material, continuando a se propagar no outro ambiente. A passagem do som faz com que o material vibre, quanto mais rígido e denso for o material, menor será a parcela de som transmitido para outro ambiente.

3.1.10. Acústica de edificações

3.1.10.1. Características acústicas de edificações

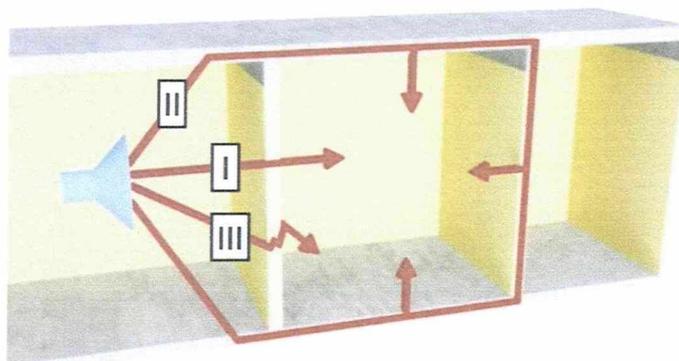
Na transmissão de som em edifícios de múltiplos pavimentos, leva-se em consideração os diferentes elementos do qual a edificação é constituída, como lajes e paredes internas, elementos esses que recebem o som e servem de meio para propagação do mesmo.

Por conta dos diferentes componentes, a edificação apresenta características que fazem com que o som se propague por diferentes direções, podendo assim uma pessoa receber o mesmo som por mais de uma direção, isso pode vir a atrapalhar o receptor em identificar a direção correta que o som está sendo emitido (ANIMA ACÚSTICA, 2012).

Podemos classificar as transmissões sonoras em três tipos principais:

- I. **Transmissões diretas** – são aquelas onde o som passa diretamente pelas paredes divisórias.
- II. **Transmissões indiretas ou laterais** – ocorrem quando o som passa para outro ambiente por estruturas da edificação que não a parede divisória.
- III. **Transmissões parasitas** – são as transmissões sonoras ocorridas por falhas/ defeitos localizados e que ocorrem geralmente por falta de vedação correta ao ar (fissuras nas paredes, falha na instalação de janelas, caixas elétricas...).

Figura 6 – Tipos de transmissão de ruído

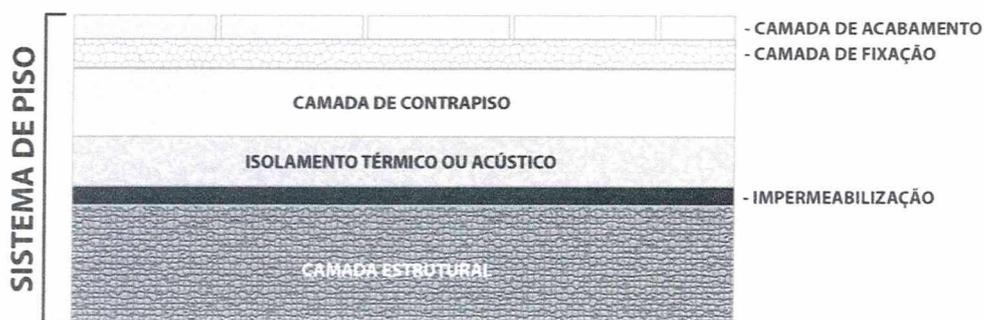


Fonte: Anima Acústica, 2012

3.1.10.2. Materiais utilizados em lajes

De maneira geral, a laje é composta por um conjunto de diferentes camadas horizontais (por exemplo, camada estrutural, camada de contrapiso, camada de fixação, camada de acabamento), sobrepostas de maneira horizontal, destinadas a garantir vedação, tráfego e funções estruturais, conforme os parâmetros descritos na NBR 15575.

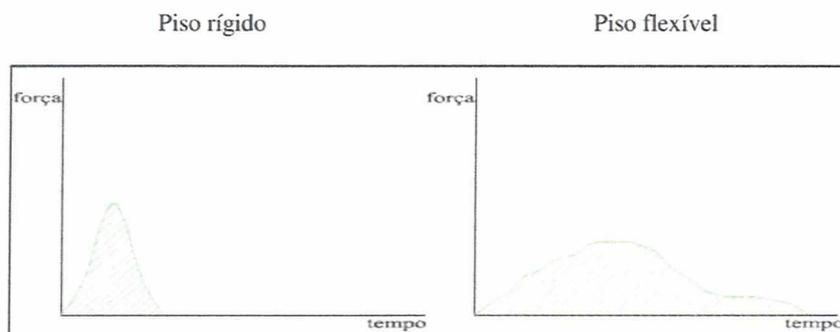
Figura 7 – Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos



Fonte: NBR 15575-3, 2013

Sabe-se que estruturas leves são mais facilmente excitáveis e vibram com amplitudes maiores do que estruturas mais rígidas. Além disso, sob a força do impacto, a dureza do piso é que determina a sua resposta mais rápida. O mesmo não acontece com um piso deformável, que por amortizar a força do impacto, transmite-a em um tempo maior e com vibrações de menor amplitude (SANCHES & SENCHERMES, 2007).

Figura 8 – Amplitude da força de impacto e tempo de transmissão da quantidade de movimento em função da dureza do piso



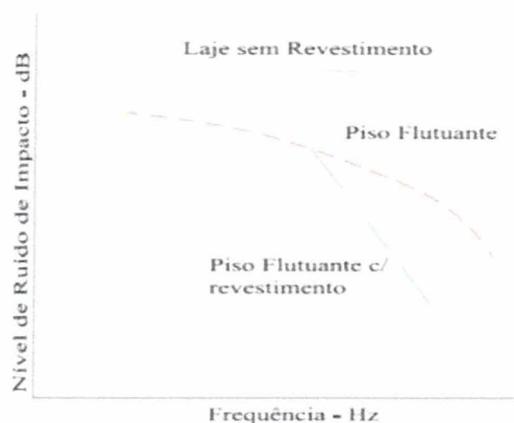
Fonte: SANCHES & SENCHERMES, 2007

3.1.10.2.1. Materiais utilizados para atenuação de ruídos

O isolamento acústico é o conjunto de medidas construtivas com a intenção de interromper ou diminuir o fluxo de energia sonora de um ambiente para outro. Pode-se diminuir esse fluxo elevando-se a rigidez da laje, mas para isso seria preciso aumentar sua espessura, solução da qual eleva o peso da edificação, sobrecarregando a estrutura. Para evitar esse problema, existem alternativas mais

eficientes, cuja finalidade principal é interromper ou atenuar a transmissão de vibrações através da estrutura (MARTINS, 2004).

Figura 9 – Curvas típicas de isolamento de ruído de impacto



Fonte: Anima Acústica, 2012

3.1.10.2.1.1. Forrações de pisos

Método bastante eficiente, principalmente quando se utilizam tapetes altos ou carpetes bastante espessos. Entretanto não é um método muito aceito por uma questão cultural e sanitária, visto que alguns tipos de revestimentos como os tapetes e carpetes dão origem a rejeições físicas como as doenças alérgicas, havendo preferência pelos revestimentos cerâmicos e de madeira.

Figura 10 – Forração de piso utilizada para atenuar o ruído de passos



Fonte: CONRAD, 2007

Tabela 4 – Atenuação sonora de pisos revestidos

Revestimento de piso	Atenuação sonora dB
Borracha	2 a 13
Laminado sintético	1 a 3
Carpete	7 a 27
Carpete com base isolante	33 a 39
* Dados obtidos para uso em laje de concreto armado com 12 cm de espessura	

Fonte: Anima Acústica, 2012

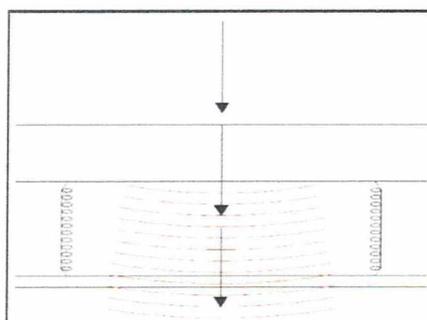
3.1.10.2.1.2. Forros falsos

A utilização de forros suspenso possibilita aumentar consideravelmente o isolamento de um piso com respeito ao ruído aéreo, porém não acrescenta isolamento significativo ao ruído de impacto.

Esse método tem por base a colocação de um forro falso no ambiente receptor de ruídos. O material do forro deve ser poroso e com boa quantidade de massa, executado com uma camada de ar entre ele e a estrutura, sendo conveniente ainda utilizar material com capacidade de absorver o som.

É de grande importância observar-se o tipo de ligação do forro falso com a laje ou estrutura, a ligação rígida forma uma ponte acústica que reduz o isolamento, já a utilização de uma ligação elástica poderá proporcionar um ganho de isolamento que por outro lado reduz a estanqueidade. Por isso deve-se utilizar material elástico nos pontos de contato do forro com as paredes (FERRAZ, 2008).

Figura 11 – Redução da transmissão dos ruídos de impacto por um forro falso suspenso

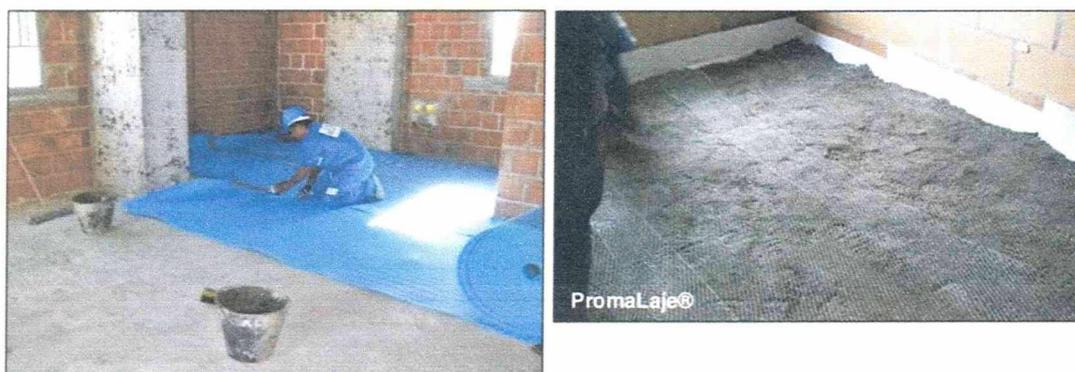


Fonte: CONRAD, 2007

3.1.10.2.1.3. Pisos flutuantes

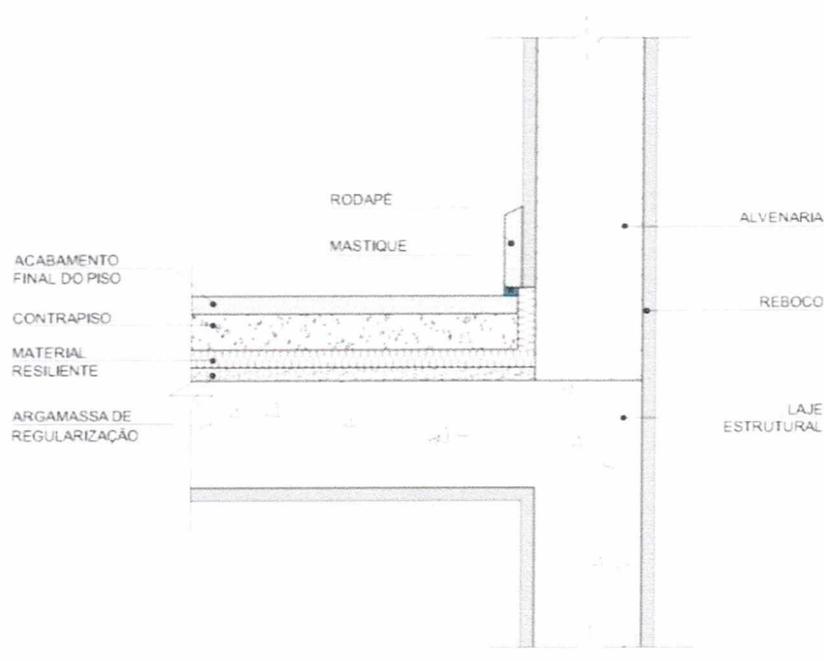
Método que apresenta excelentes desempenhos, dependendo do material empregado, além de adaptar-se perfeitamente aos revestimentos preferenciais. É uma concepção que se baseia na utilização de um material elástico que isola o contrapiso e o seu revestimento final da laje estrutural do edifício. Este material elástico que serve como amortecedor é tão mais eficiente quanto maior for a sua resiliência (JÚNIOR, 2013).

Figura 12 – Instalação de manta resiliente e contrapiso sobre a manta



Fonte: Universidade Federal do Paraná, 2013

Figura 13 – Elementos de um sistema de piso flutuante

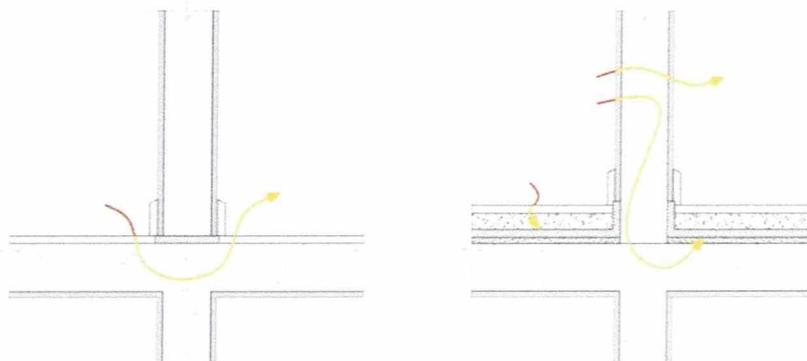


Fonte: Anima Acústica, 2012

Em sua instalação alguns fatores devem ser levados em consideração (ANIMA ACÚSTICA, 2012):

- A laje de suporte deverá apresentar sua face superior perfeitamente regularizada e alisada;
- As bordas da argamassa de regularização ou contrapiso e as bordas do revestimento final não podem entrar em contato com as paredes divisórias ou quaisquer equipamentos que possam transmitir vibrações. O material resiliente deve ter na borda alguns centímetros acima do nível do piso e os rodapés devem ser cuidadosamente colocados sobre uma junta elástica ou serem interpostos com mastique (Figura 13);
- Entre cômodos paralelos, o sistema de piso flutuante não deve cobrir inteiramente a laje suporte, deve haver interrupção do piso flutuante no limite da parede (Figura 14);

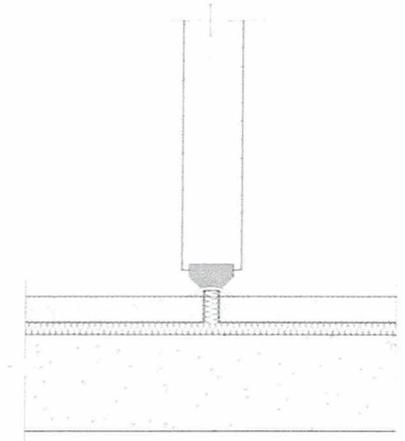
Figura 14 – Caminhos de propagação sonora em sistemas de piso flutuante



Fonte: Anima Acústica, 2012

- Nas passagens com ou sem porta, deve-se fazer a interrupção do piso flutuante, deixando-se uma junta elástica, devidamente protegida no espaço entre os pisos paralelos (Figura 15);

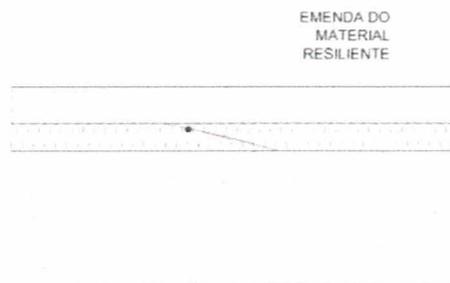
Figura 15 – Interrupção do piso flutuante entre cômodos



Fonte: Anima Acústica, 2012

- Eventuais emendas do material resiliente devem ser feitas sem que sejam deixados espaços entre uma porção e outra. Este procedimento evita a formação de pontes acústicas entre o piso flutuante e a laje (Figura 16);

Figura 16 – Exemplo de emenda entre mantas de material resiliente



Fonte: Anima Acústica, 2012

- A colocação de tubulações na laje suporte deve ser feita sem que ocorra interrupções ou possibilidade de futuras quebras do material resiliente. Para isso é preciso que as tubulações sejam inseridas na própria laje ou tenham as suas saliências regularizadas com argamassa antes da colocação do material resiliente (Figura 17);

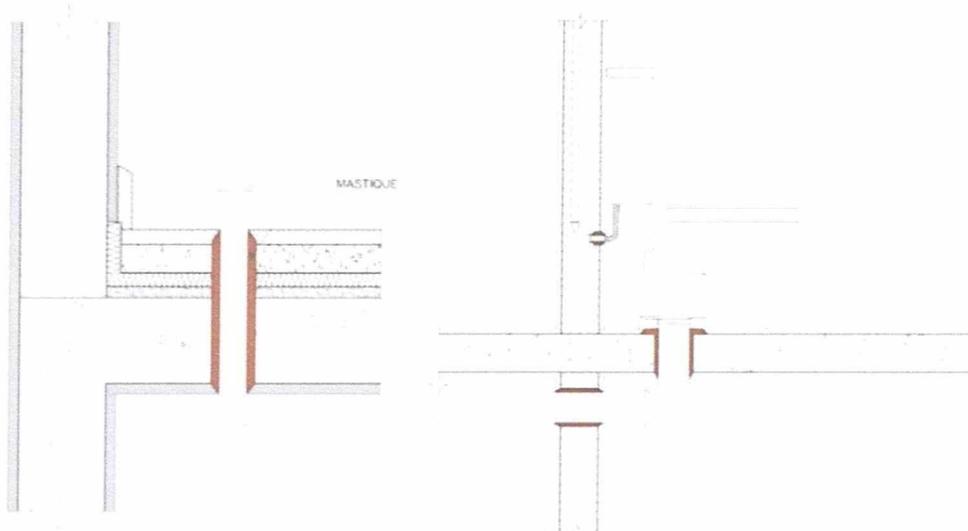
Figura 17 – Esquema de passagem de tubulações em pisos flutuantes



Fonte: Anima Acústica, 2012

- As tubulações que cruzam o piso flutuante devem ser recobertas com proteções e ambas recobertas com material resiliente (Figura 18).

Figura 18 – Esquema de passagem de tubulações através de lajes flutuantes



Fonte: Anima Acústica, 2012

Tabela 5 – Valores indicativos do índice de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$

Tipo de produto utilizado no piso flutuante e resultados de lajes sem qualquer tratamento acústico	Índice de pressão sonora de impacto (dB)
Laje zero espessura 10 cm, sem manta resiliente e sem contrapiso	82
Laje zero espessura 15 cm, sem manta resiliente e sem contrapiso	71
Manta espessura 10 mm com borracha sintética de 88%, material reciclado, sem contrapiso	58
Manta de borracha reciclada espessura 5 mm (800kg/m ³) - sem contrapiso	58
Manta de borracha reciclada espessura 3 mm (600kg/m ³) - mais contrapiso de 5 cm	64
Manta de lã sintética mais contrapiso de 5 cm	57
Manta de polietileno com espessura de 10 mm mais contrapiso de 5 cm	52
Manta de polietileno com espessura de 5 mm mais contrapiso de 5 cm	60

Fonte: IPT

3.2. Referências Normativas

Para avaliar a intensidade acústica dos ambientes, são utilizadas as NBRs 10151, 10152 e 15575. Os parâmetros de avaliação estão descritos nas tabelas 2 e 3, dos itens 3.1.2.4 e 3.1.2.5.

4. Procedimentos de Ensaio

4.1. Definições

Os parâmetros utilizados para o cálculo dos ensaios foram definidos no item

3.1. Conceitos, páginas 17 a 23. Eles estão listados abaixo:

- Nível sonoro de impacto normalizado em laboratório (L_n), item 3.1.2.1;
- Nível sonoro de impacto normalizado in-situ (L'_n), item 3.1.2.2;
- Nível sonoro de impacto padronizado in-situ (L'_{nT}), item 3.1.2.3;
- Nível sonoro de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), item 3.1.2.4;
- Tempo de reverberação (TR), item 3.1.4;

4.2. Instrumentação

4.2.1. Fonte sonora omnidirecional (dodecaedro)

Para auxiliar na medição do ruído de fundo e do tempo de reverberação na câmara de recepção, utiliza-se uma fonte sonora omnidirecional em formato de dodecaedro, esse aparelho proporciona uma emissão de som com mesma intensidade em qualquer ponto com a mesma distância da fonte.

Figura 19 – Dodecaedro CESVA FP122



Fonte: <http://www.cesva.com>, 2015

4.2.2. Tapping machine

Máquina de martelos para medir o isolamento acústico das superfícies ao ruído de impacto.

- Cumpre as especificações das ISO 10140-3 e ISO 140-7;
- Comando à distância incluído;
- Tecnologia sem fio, Bluetooth incorporado;
- Fácil de transportar;
- Proteção contra sobreaquecimento.

Dispõe de 5 martelos alinhados. A distância entre os eixos de martelos vizinhos deverá ser (100 ± 3) mm. Cada um deles tem um peso de 500 g e cai livremente de uma altura de 40 mm. O tempo médio entre impactos é de 100 ms. A unidade apoia-se em 3 pés de borracha ajustáveis para isolá-la de vibrações.

É um equipamento padronizado, projetado para atender às especificações da ISO 10140-3 e ISO 140-7 (Realizando medições em laboratório e 'in situ' do isolamento acústico das superfícies ao ruído de impacto) e ISO 717-2 (Avaliando o isolamento acústico de impacto).

Pode ser alimentada através da ligação à rede ou através de bateria recarregável, e apresenta proteção contra sobreaquecimento, para evitar possíveis danos na unidade, devido ao possível mal funcionamento caso esteja sobreaquecido (bloqueio, sobrecarga ou sobre-esforço).

Possui ainda um software exclusivo para controle e descarregamento das informações medidas em campo, podendo ser via cabo ou rede sem fio (wireless) (SILVA JÚNIOR, 2012).

Figura 20 – Tapping machine CESVA MI006



Fonte: <http://www.cesva.com>, 2015

4.2.3. Sonômetro integrador Analisador SC310

O SC310 é um instrumento de grande potência e fácil manuseio, utilizado para isolamentos acústicos por terços de oitava, com capacidade de avaliar o ruído ambiente.

Tem apenas uma escala, não necessitando de nenhum ajuste prévio à medição, medindo simultaneamente todas as funções que dispõe, entre elas encontram-se os parâmetros necessários para calcular os índices básicos de avaliação acústica da maioria dos países do mundo (CESVA, 2015).

Figura 21 – Sonômetro integrador analisador CESVA SC310



Fonte: <http://www.cesva.com>, 2015

4.2.4. Calibrador do nível de pressão acústica

Para calibração do nível de pressão acústica, utiliza-se o calibrador que atenda a parâmetros de calibração da IEC 60942 (classe 2 ou superior).

Figura 22 - Calibrador para Decibelímetro MSL-1326 Minipa



Fonte: <http://www.minipa.com.br/>, 2015

4.3. Condições gerais para a realização de ensaios

Os valores do nível de pressão sonora são números inteiros, logo os números aproximados que forem obtidos deveram ser arredondados para o inteiro mais próximo. Para a realização das medições, os ruídos externos como chuva, trovões e outros fenômenos da natureza devem ser evitados se puderem interferir no resultado.

Para medições internas, com o intuito de se obter reverberação, o sonômetro deve estar posicionado a uma mínima de 1,0 m de qualquer superfície refletora (paredes, teto, piso e móveis) (FERRAZ, 2008).

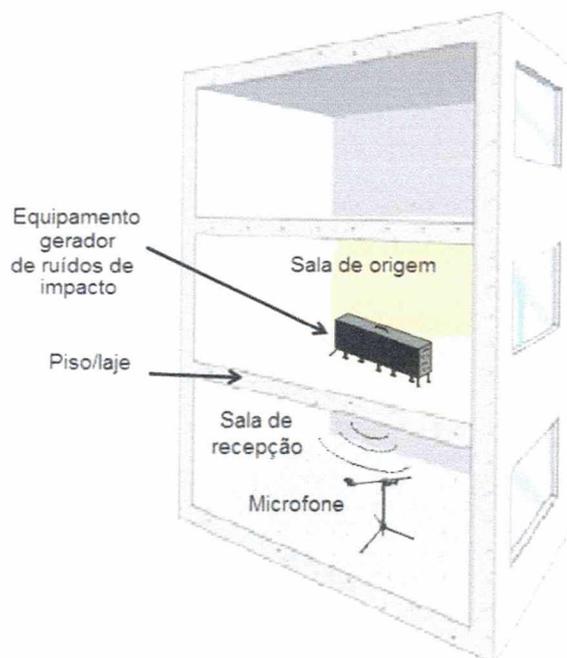
4.4. Procedimento

O tapping machine deve gerar o som, o equipamento deve ser colocado em no mínimo 4 posições diferentes, escolhidos de forma aleatória sobre o piso a ser ensaiado. A distância entre as bordas do piso e a tapping machine deve ser no mínimo de 0,5 m. Caso o piso apresente métodos construtivos anisotrópicos, serão necessárias mais posições de medição.

Sobre o revestimento é apoiada a máquina geradora de ruídos, que simula o "sapatear" de uma pessoa. Sob a laje encontra-se a câmara de recepção, onde o ruído que passa pela composição é medido como nível de pressão sonora pelo microfone. Esses dados são transmitidos por um cabo para uma terceira sala, onde

fica o analisador conectado a um microcomputador, nessa sala ficam o operador dos aparelhos.

Figura 23 - Corte esquemático das câmaras para medir ruído de impacto



Fonte: Universidade Federal do Paraná, 2013

Os níveis de pressão sonora de impacto podem revelar uma dependência do tempo após o início da operação da tapping machine. Dessa forma, as medições dos níveis de pressão sonora não devem começar até que o ruído gerado se torne constante. Além disso, os períodos de medição devem ser relatados.

A medição do nível de pressão sonora pode ser realizada por um único microfone mudando-se a posição, por um conjunto de microfones fixos, por um microfone em movimento oscilatório ou por um microfone em constante movimento.

As distâncias mínimas de separação dos microfones se encontram na tabela abaixo.

Tabela 6 – Distâncias mínimas de separação dos microfones

DISTÂNCIA	SITUAÇÃO
0,7 m	entre as posições dos microfones
0,5 m	entre qualquer posição do microfone e os limites da sala
1,0 m	entre qualquer posição do microfone e o piso superior que está sendo submetido aos impactos da <i>tapping machine</i>

Fonte: Universidade Federal de Santa Maria, 2009

Dependendo se o microfone é fixo ou móvel as distâncias variam. Para um microfone fixo, devem ser utilizados um mínimo de 4 posições fixas do microfone, distribuídas de maneira uniforme pelo espaço da medição no ambiente. Caso seja móvel, deve-se varrer um raio mínimo de 0,7 m. O plano de medição deve ser inclinado de forma a cobrir grande parte da área a ser medida, o período de medição não pode ser menor que 15 segundos.

Devem ser realizadas no mínimo 6 medições com combinação de 4 posições do microfone, e 4 posições da *tapping machine* para medições de microfone fixo. No caso das medições com microfone móvel, devem ser feitas no mínimo 4 medições (1 para cada posição da máquina).

Para cada uma das posições, devemos ter um tempo médio de 6 segundos para cada faixa de frequência com frequências centrais abaixo de 400 Hz. Para o caso de bandas de frequências centrais maiores, pode-se diminuir o tempo para não menos que 4s. Para microfones móveis, o tempo médio das medições deve ser no mínimo 30s (PEDROSO, 2007).

5. Estudo de caso

Nesse trabalho foram feitos estudos em cima de uma dissertação de mestrado (PEDROSO, 2007), de onde analisamos 5 ensaios para ruído de impacto, sendo avaliado apenas o desempenho de acordo com o nível sonoro de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) – Item 3.1.3.4.

O tipo de piso utilizado para atenuar o ruído proveniente de impacto foi o sistema de pisos flutuantes, descrito no item 3.1.10.2.1.3.

5.1. Local dos ensaios

Os ensaios foram realizados no laboratório de Termo Acústica (LaTA), da Universidade Federal de Santa Maria. O laboratório é formado por duas câmaras sobrepostas, separadas por uma laje (entrepiso) de concreto armado com 12cm de espessura sem contrapiso ou revestimento. Suas paredes são de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos com 14 centímetros de espessura e sem revestimento (PEDROSO, 2007).

Cada uma das câmaras tem dimensões de 4,36m x 3,31m e pé direito com 3,6m. As portas são de madeira com batentes vedados com borracha com a finalidade de isolar o som externo.

Figura 24 – Croqui das câmaras de medição do ruído de impacto



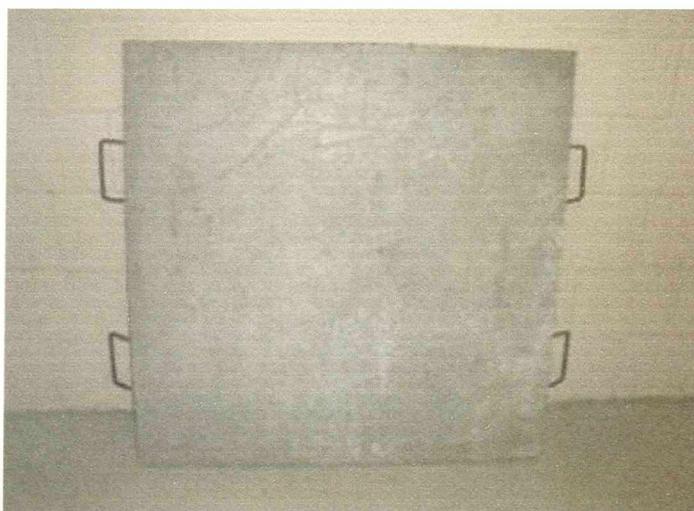
Fonte: Pedroso, 2007

5.2. Materiais utilizados nos ensaios

5.2.1. Placa de concreto com revestimento

Como o piso do laboratório não possui revestimento nem contrapiso, sendo assim um entrepiso, foram então confeccionadas 2 placas de concreto com dimensões de 1,0m x 1,0m e espessura de 4cm pesando 120 kg. Essa placa teve como utilidade servir de contrapiso, sendo então, colocada abaixo dela o material resiliente, e acima dela o revestimento (porcelanato ou madeira) para os ensaios (PEDROSO, 2007).

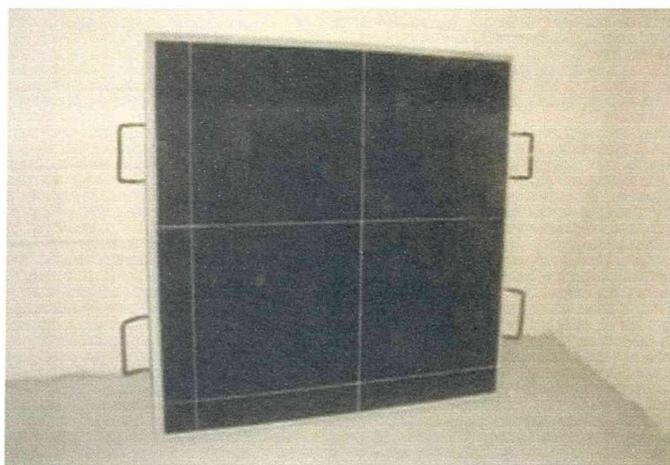
Figura 25 – Placa de concreto sem revestimento



Fonte: Pedroso, 2007

A placa que foi revestida com porcelanato ficou com peso final de 147 kg, devido à carga provinda da argamassa colante e das placas de porcelanato.

Figura 26 – Placa de concreto com revestimento de porcelanato



Fonte: Pedroso, 2007

A placa que foi revestida com laminado melamínico de madeira, alcançou peso final de 128 kg, devido à carga proveniente do assentamento com manta de polietileno com 2,0cm de espessura, e revestimento de laminado de madeira com espessura de 7,0mm.

Figura 27 – Revestimento de laminado de madeira assentado sobre manta de polietileno



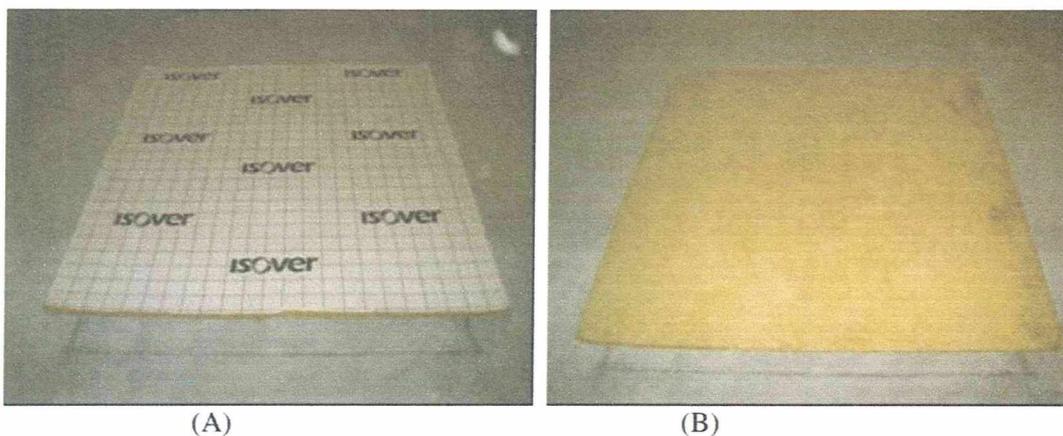
Fonte: Pedroso, 2007

5.2.2. Lã de vidro

Sobre a laje (entrepiso) foi posicionada uma placa de material resiliente. A lã de vidro foi escolhida como o material resiliente a ser utilizado, revestida por material plástico impermeável, com nome fantasia de “Optima Piso”, produzida pela Isover Brasil. Apresentando as seguintes especificações:

- Dimensões: 1,0m x 1,0m
- Espessura: 15,0mm
- Densidade: 60 kg/m³
- Cor: amarela

Figura 28 – Placa de lã de vidro: (A) Face plastificada; (B) Face não plastificada

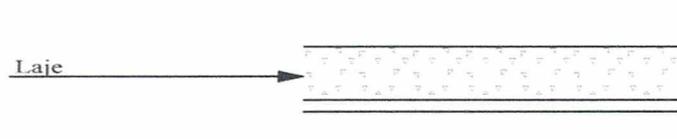


Fonte: Pedroso, 2007

5.3. Estudo de caso 1

Para esse ensaio foi analisado o comportamento da laje (entrepiso) sem revestimento, para servir de referência com os demais ensaios e fazer um comparativo final.

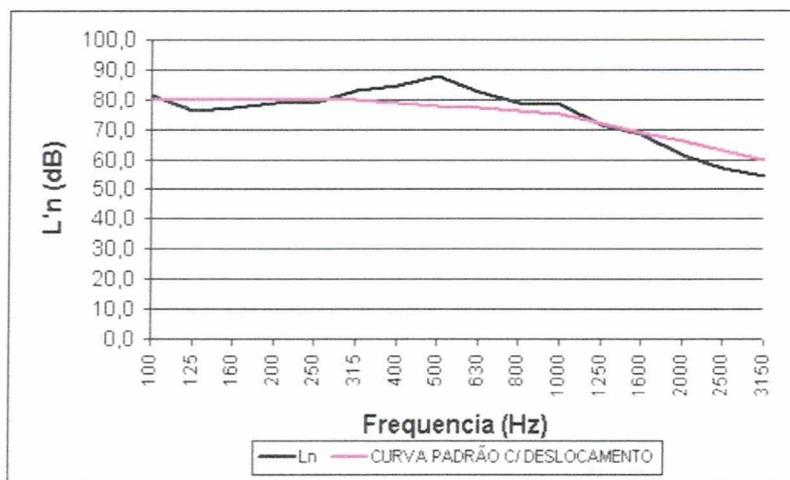
Figura 29 – Esquema do piso para o primeiro ensaio



Fonte: Pedroso, 2007

5.3.1. Resultados

Figura 30 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de 12cm: $L'_{nT,w} = 78dB$



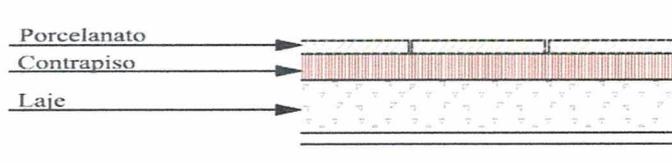
Fonte: Pedroso, 2007

Com o gráfico da figura acima foi utilizado o procedimento de cálculo recomendado pela ISO 717-2, para obter-se o $L'_{nT,w}$ (item 3.1.3.4) com valor de 78dB, para uma laje de 12cm de espessura em concreto armado.

5.4. Estudo de caso 2

Para esse ensaio foi analisado o comportamento do sistema: laje (entrepiso) + placa de concreto (contrapiso) + porcelanato.

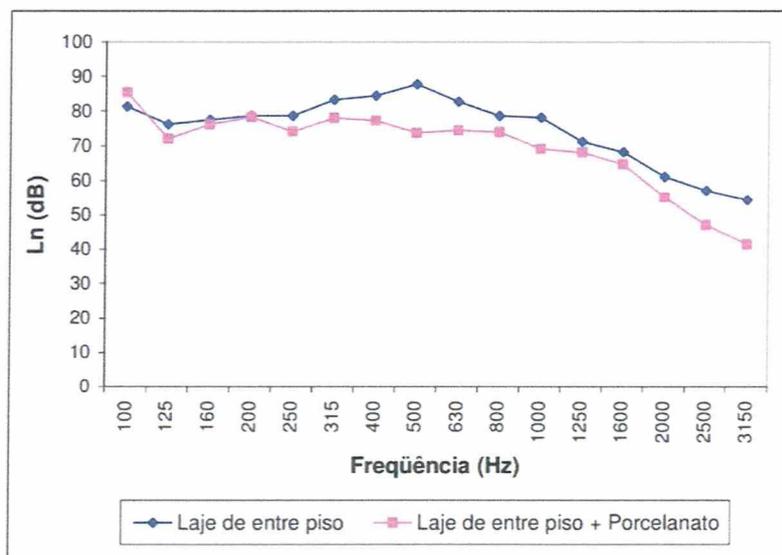
Figura 31 - Esquema do piso para o segundo ensaio



Fonte: Pedroso, 2007

5.4.1. Resultados

Figura 32 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de entrepiso + porcelanato: $L'_{nT,w} = 73dB$



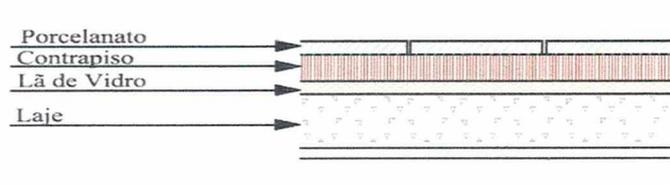
Fonte: Pedroso, 2007

Após a colocação do revestimento cerâmico assentado sobre a placa de concreto, o piso apresentou uma melhora de desempenho a partir de 200 Hz, atingindo um $L'_{nT,w}$ com valor de 73 dB, devido a soma de 5cm de espessura a laje, proporcionando assim uma maior rigidez ao sistema.

5.5. Estudo de caso 3

Para esse ensaio foi analisado o comportamento do sistema: laje (entrepiso) + lã de vidro (material resiliente) + placa de concreto (contrapiso) + porcelanato.

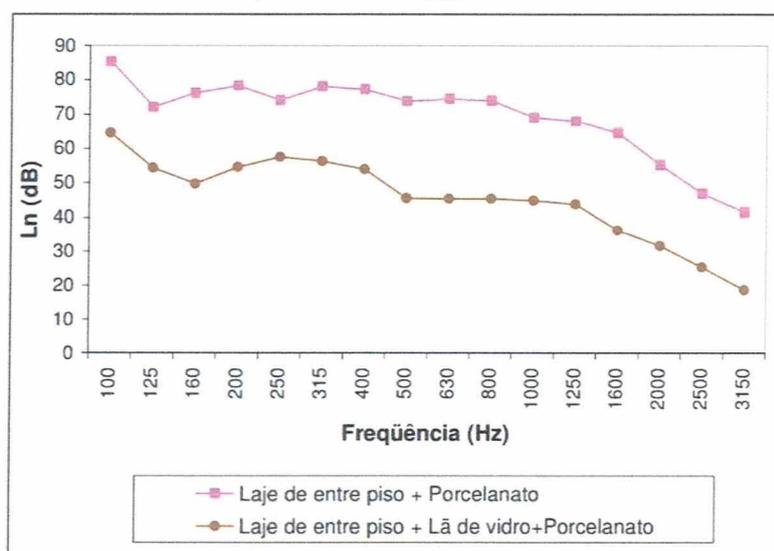
Figura 33 - Esquema do piso para o terceiro ensaio



Fonte: Pedroso, 2007

5.5.1. Resultados

Figura 34 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de entre piso + lâ de vidro + porcelanato: $L'_{nT,w} = 50\text{dB}$



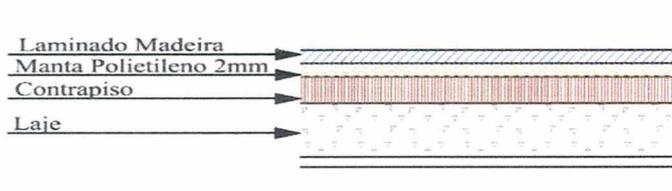
Fonte: Pedroso, 2007

É facilmente constatado pelo gráfico, o ganho expressivo no desempenho de isolamento de ruído de impacto proporcionado pelo material resiliente, em todas as frequências, considerando-se o desempenho da laje com revestimento de porcelanato executado com os métodos tradicionais. Além de melhorar o isolamento em todas as frequências, o índice do nível de ruído de impacto $L'_{nT,w}$ atingiu o valor de 50dB.

5.6. Estudo de caso 4

Para esse ensaio foi analisado o comportamento do sistema: laje (entrepiso) + placa de concreto (contrapiso) + manta de polietileno + laminado de madeira.

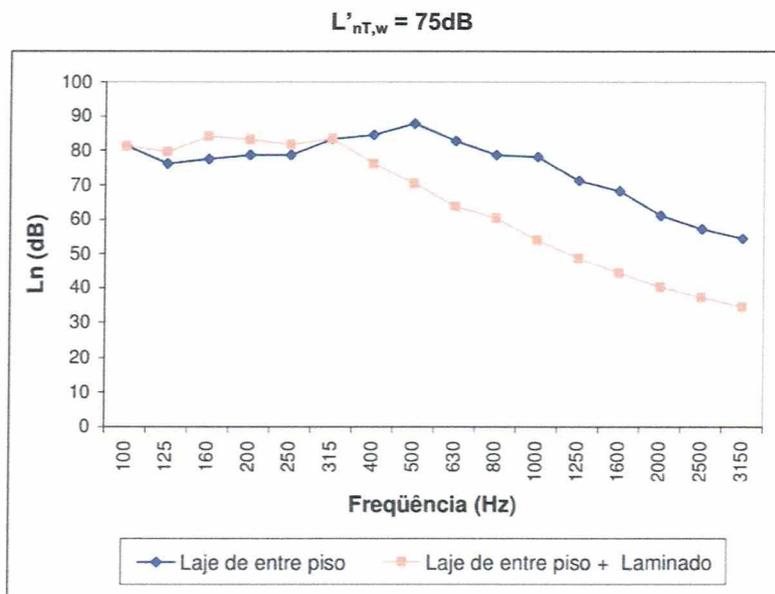
Figura 35 - Esquema do piso para o quarto ensaio



Fonte: Pedroso, 2007

5.6.1. Resultados

Figura 36 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de entrepiso + laminado de madeira:



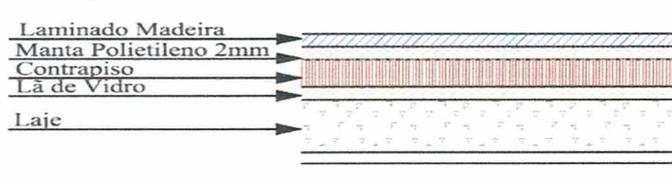
Fonte: Pedroso, 2007

Pode-se observar na comparação entre o gráfico do desempenho da laje sem revestimento e o gráfico com a adição do revestimento de laminado de madeira, que há uma melhora no desempenho no isolamento ao ruído de impacto a partir da frequência de 315 Hz, e que o valor de $L'_{nT,w}$ é de 75dB.

5.7. Estudo de caso 5

Para esse ensaio foi analisado o comportamento do sistema: laje (entrepiso) + lã de vidro (material resiliente) + placa de concreto (contrapiso) + manta de polietileno + laminado de madeira.

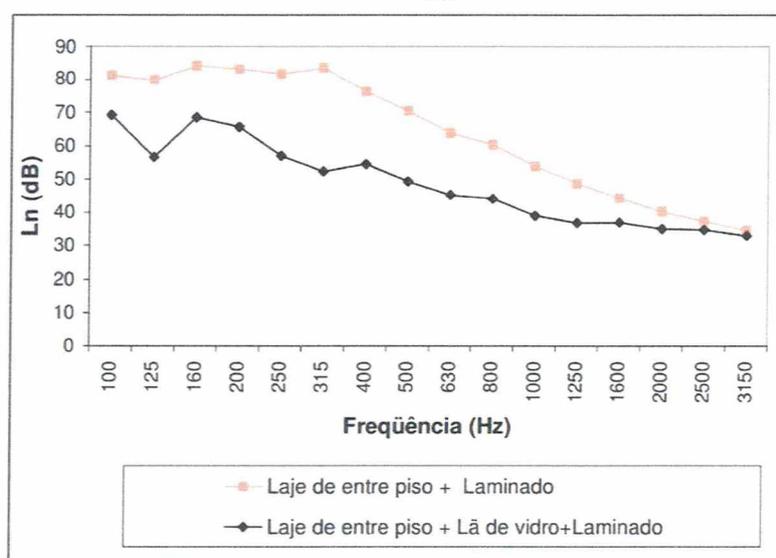
Figura 37 - Esquema do piso para o quinto ensaio



Fonte: Pedroso, 2007

5.7.1. Resultados

Figura 38 – Gráfico do nível de ruído de impacto da laje de entre piso + lâ de vidro + laminado de madeira: $L'_{nT,w} = 56dB$



Fonte: Pedroso, 2007

O valor de $L'_{nT,w}$ foi de 56dB, comprovando assim a eficácia da lâ de vidro na composição de piso flutuante, com significativo desempenho na faixa de baixas frequências, ressaltando-se no entanto, que a taxa de acréscimo no isolamento diminui à medida que aumenta-se a frequência, até anular-se no patamar dos 3150Hz, comprovando que o laminado de madeira melamínico é bastante eficaz como isolante ao ruído para as altas frequências.

5.8. Comparativo dos resultados obtidos

Comparando-se os diversos sistemas que foram ensaiados, pode-se observar que no estudo de caso 1, onde o sistema constava apenas da laje de entre piso, sem nenhum revestimento, ao atingir 78 dB, este sistema apresentou um nível de desempenho médio (66 a 80 dB) segundo a Tabela 2 (item 3.1.3.4). Vê-se que esse sistema quase atingiu o nível mínimo da tabela, não sendo eficiente.

Nos estudos de caso 2 e 4 onde o porcelanato e o laminado de madeira foram usados como revestimento em cima do contrapiso, vê-se que com os valores obtidos, 73 dB e 75 dB respectivamente, não apresentaram um melhoramento expressivo na atenuação do impacto, se comparado com o sistema do caso 1. Nota-se que os valores estão muito mais próximos do nível mínimo desejável de

desempenho médio da tabela 2, assim podemos afirmar que estes dois sistemas não se apresentaram como boa solução para a diminuição de ruído por impacto.

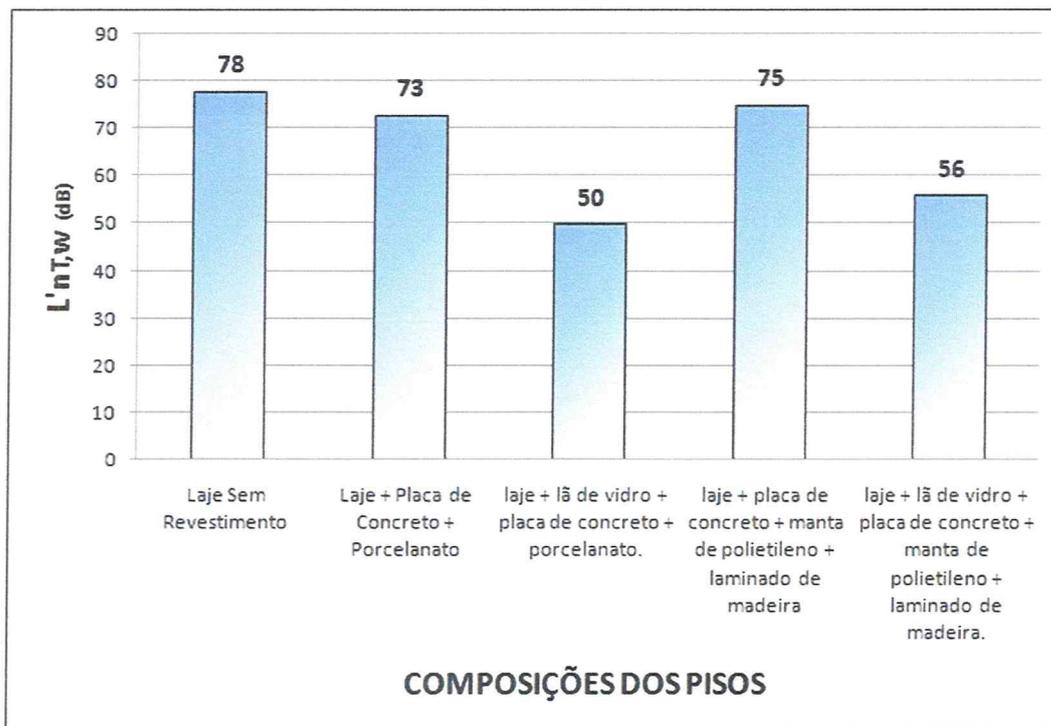
Saindo das técnicas tradicionais, pode-se avaliar ainda o sistema flutuante, onde um material resiliente é adicionado entre a laje e o contrapiso. Sabe-se que a dureza do piso determina a resposta mais rápida e que um piso deformável amortiza a força de impacto e transmite-a em um tempo maior com vibrações de menor amplitude.

Para o estudo de caso 3, onde a lã de vidro (material resiliente) foi adicionado entre a laje e o contrapiso, e o porcelanato usado como revestimento, chegou-se a atingir assim 50 dB que é considerado como nível de desempenho superior (≤ 55 dB). Nota-se que os materiais resilientes tem as melhores características para atenuação do ruído de impacto e a técnica de piso flutuante é mais vantajosa se comparada com as técnicas tradicionais, uma vez que possibilitou ganhos muito expressivos no isolamento ao ruído. Todo esse ganho deu-se ao material resiliente e seu comportamento de deformar-se e voltar a forma original, absorvendo assim grande quantidade do ruído de impacto induzido no revestimento do sistema.

No estudo de caso 5, sai o porcelanato e entra no seu lugar como revestimento o laminado de madeira, nota-se que o valor obtido 56 dB é considerado como nível de desempenho intermediário, entretanto o valor é muito próximo do estudo de caso 3, afirmando assim que o material resiliente tem um desempenho excelente e apresentou uma vantagem em relação a todos os materiais analisados. A diferença nos valores entre o estudo de caso 3 e 5 está apenas no revestimento dos dois casos, mas pode-se perceber que nos dois tipos esse não foi o diferencial no ensaio.

O gráfico de barras a seguir, deixa mais claro os valores de cada estudo de caso:

Figura 39 – Gráfico comparativo do nível de ruído de impacto nos diferentes sistemas



Fonte: Glauber & Hercules, 2016

6. Conclusões

Apesar de beneficiar-se também com o avanço tecnológico, a construção civil esbarra ainda em fatores antigos, pensamentos tradicionais e técnicas antigas ainda perduram. Várias novidades são lançadas na área de revestimentos, mas os sistemas construtivos não acompanham esses avanços, entretanto de nada adianta ter ambientes bonitos, bem arquitetados e não ter o conforto acústico no interior destes ambientes.

Com os estudos feitos neste trabalho e a comparação entre os diferentes sistemas, vê-se que os pisos flutuantes são uma excelente solução e reduzem o ruído causado pelos impactos nos pisos. Sabe-se que o piso flutuante deve ser bem projetado e ter cuidados especiais na sua execução para que o piso flutuante mantenha as características desejadas no projeto. Para imóveis adquiridos onde a fase de acabamento já foi concluída, é necessário usar outra técnica menos eficaz, como carpetes, forros falsos para tentar amenizar os transtornos.

Para o nosso estudo especificamente, a técnica de piso flutuante se sobressaiu quando comparado com técnicas tradicionais e ao compararmos os gráficos dos resultados, a lã de vidro (material resiliente), destacou-se atingindo sempre valores na casa dos 50 dB para suas composições.

7. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151 Avaliação dos níveis de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, ABNT 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-3 (ABNT,2013) Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, ABNT 2008.

CBIC – Câmara Brasileira da indústria da construção. Guia orientativo para norma de desempenho à ABNT NBR 15575-4 (ABNT,2013). Capítulo 10 - Desempenho acústico – 2014. Fortaleza – 2013.

MANUAL PROACÚSTICA SOBRE A NORMA DESEMPENHO. Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013, Edificações habitacionais – Desempenho. Indianópolis – 2013.

ISOVER SAINT-GOBAIN. Sistema OPTIMA piso – Tratamento acústico de ruídos de impacto para pisos, Produtos para piso. Campo Belo, 2013.

MARTINS, L.A.C; SAHB, C.A.S.; NETO, M.F.F. Conforto acústico de apartamentos residenciais quanto ao ruído de impacto. In: Anais da Conferência Latino Americana de Construção Sustentável, 1. Encontro Nacional do Ambiente Construído, 10. São Paulo, 2004.

CESVA – Sound Level Meter and Spectral Analyser. Disponível em <<http://www.cesva.com/en/products/sound-level-meters/sc310/>>. Acesso em 21 de dezembro de 2015.

Halliday D., Resnick R.; Walker J. Fundamentos da Física 2 - Gravitação, Ondas e Termodinâmica - 4ªedição. [S.I.]: LTC, 1996

CARVALHO, R. P. Acústica Arquitetônica. Brasília: Thesaurus, 2006.

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

ANIMA ACÚSTICA. E-book: Acústica de Edificações, Pisos – Desempenho acústico. Florianópolis – 2012.

Júnior, Prof^o José de A. F. (Versão 2013). Construção Civil II (TC-025) – Pisos em edificações. Curitiba, Paraná – Universidade Federal do Paraná, 2013.

Pedroso, Miguel A. T. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS MODERNAS COMPOSIÇÕES DE PISOS FLUTUANTES QUANTO AO DESEMPENHO NO ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO, Santa Maria, RS: 2007. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em engenharia civil.

Ferraz, Rafaela. ATENUAÇÃO DE RUÍDO DE IMPACTO EM PISOS DE EDIFICAÇÕES DE PAVIMENTOS MÚLTIPLOS, Belo Horizonte, MG: 2008. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de título de engenheiro civil.

SILVA JUNIOR, Otávio Joaquim da. Avaliação de intensidade sonora em edificações, Recife, PE: 2012. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de título de engenheiro civil.

Losso, M. A. (março de 2003). QUALIDADE ACÚSTICA DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES EM SANTA CATARINA: AVALIAÇÃO E ELABORAÇÃO DE DIRETRIZES PARA PROJETO E IMPLANTAÇÃO. Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Florianópolis, Santa Catarina.

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