

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

GIANNI MARIA MACHADO CORNACCHIA

INVESTIGAÇÃO IN-SITU DO ISOLAMENTO SONORO AO RUÍDO DE
IMPACTO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

FLORIANÓPOLIS
2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Gianni Maria Machado Cornacchia

INVESTIGAÇÃO IN-SITU DO ISOLAMENTO SONORO AO RÚIDO DE
IMPACTO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profª Drª. Elvira Barros Viveiros

Florianópolis, 2009

Gianni Maria Machado Cornacchia

INVESTIGAÇÃO IN-SITU DO ISOLAMENTO SONORO AO RUÍDO DE
IMPACTO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Esta dissertação foi julgada e aprovada perante banca examinadora de trabalho final, outorgando ao aluno o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ, da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Prof^a. Dr^a. Carolina Palermo

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Elvira Barros Viveiros – Orientadora - UFSC

Prof. Dr. João Carlos Souza – UFSC

Prof. Dr. Eduardo Jorge Félix Castells – UFSC

Prof. Max de Castro Magalhães, Ph.D. – UFMG

Florianópolis, 2009

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Marco Antonio e Tulimar e meus queridos irmãos, Gianfilippo e Giovana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e por me iluminar e proteger ao longo da minha trajetória;

Aos meus pais, Marco Antonio e Tulimar, obrigada pelo exemplo de vida, pela garra, pelo carinho e total dedicação demonstrada, por sempre apoiar meus sonhos e me incentivar a torná-los reais;

Aos meus irmãos, Gianfilippo e Giovana, pelo amor, pela amizade e pelas palavras de carinho;

Aos meus familiares, avós e avô, titios, titias e primos, obrigada por sempre acreditarem em mim!

À todos os companheiros do LabCon/UFSC (e agregados!), minha família em Florianópolis! Obrigada pelo apoio, carinho, prontidão e pelos momentos de muita alegria. Nunca esquecerei nenhum de vocês...

Aos amigos do GAAMA, Betoca, Aline, Pinduca, meu muito obrigada por vivenciarem comigo meus primeiros desafios na acústica e em especial ao meu “amigo-anjo” Lucas, pela inesgotável ajuda, dedicação, carinho e amizade!!!

À minha orientadora Prof^a Elvira Viveiros, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas;

Ao Prof. Roberto Heidrich, pelo exemplo de mestre “na vida” e na acústica e ao Prof. Paulo Borges, pelas conversas sempre positivas e enriquecedoras;

Ao Prof. Fernando Pereira pela amizade e pela acolhida. Sou muito orgulhosa de ter feito parte do LabCon/UFSC!

À todos os professores do PósARQ pelo aprendizado;

À Ivonete e a Ju pela disponibilidade e pela pronta ajuda sempre!

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado;

Às construtoras e síndicos dos edifícios ensaiados, muito obrigada pela disposição em contribuir para esta pesquisa;

Por fim, sou muito grata a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse elaborar esse trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal o diagnóstico do nível de isolamento ao ruído de impacto do sistema laje/piso de unidades residenciais, considerado um dos incômodos que mais suscita reclamações de moradores.

Inicialmente, investigaram-se quais lajes são típicas de edifícios residenciais, identificando-se três tipos: maciça, nervurada e pré-moldada. A partir daí, medições *in-situ* foram conduzidas de acordo com as normas internacionais ISO 140-7 e ISO 717-2, excitando-se as lajes dos quartos de 30 apartamentos na cidade de Florianópolis.

No chamado isolamento ao ruído estrutural de lajes, quanto maior o nível sonoro capturado no apartamento inferior, resultante da excitação da laje divisória entre pisos, menor é seu isolamento. Ao comparar os resultados das medições com aqueles prescritos por normas internacionais, foi visto que apenas 23% das amostras avaliadas apresentaram desempenho que atenda à norma menos exigente dentre as normas de todos os países europeus que utilizam o mesmo descritor de isolamento. Se for considerada a norma mais restritiva, apenas 7% conseguem atender aos requisitos estabelecidos. A grande maioria dos apartamentos ensaiados, portanto, supera os níveis máximos permitidos por aqueles países. Quanto à norma brasileira, NBR 15575-3, não há exigência de desempenho, apenas a classificação do nível de isolamento oferecido. As amostras ensaiadas, então, foram classificadas a partir dos resultados encontrados *in-situ*, que mostraram que 20% das lajes estavam na categoria superior, a de melhor desempenho, com níveis menores que 55 dB; 3% das amostras foram classificadas como de desempenho intermediário, com níveis entre 56 e 65 dB e 77% apresentaram níveis maiores que 66 dB, o que significa um desempenho acústico classificado como mínimo. Destaca-se, ainda, que 40% das amostras extrapolaram o nível máximo estipulado por essa legislação nacional, indicando a necessidade de revisão da referida norma. Por fim, os resultados indicaram que o revestimento dos pisos foram determinantes para o desempenho dos sistemas laje/piso, corroborando investigações científicas da área de isolamento de impacto.

Palavras-chave: Isolamento Acústico, Ruído de Impacto, Arquitetura.

ABSTRACT

This work has as its leading goal the diagnosis of the impact sound insulation of residential floors, one of the main sources of complaint by the occupants.

Initially, the most common types of concrete slabs found in buildings were assessed, resulting in three main categories: massive, waffle, and ribbed. From then on, field measurements were conducted in agreement with international standards ISO 140-7 and ISO 717-2, being tested 30 bedroom floors from apartments in Florianópolis.

When evaluating structural noise, the higher the noise level measured in the apartment below, resulting from the excitation of slab wall between floors, the lower its isolation is. Comparing the measurements results with the ones available in the international and national standards, only 23% of the evaluated samples were able to comply with the least restrictive standard in the European countries that use the same descriptor of isolation. If the most restrictive standard is considered, just 7% comply with the requirements. This means that the majority of the tested dwellings are below the required performance in those countries. In relation to the Brazilian standard, NBR 15575-3 doesn't demand a sound insulation performance level; it just classifies impact sound insulation correlating the field measured level with the reference values and its respective performance levels. With the test samples it was possible to classify the acoustic performance from the values obtained in-situ, which showed that 20% of the evaluated slabs had a performance considered to be superior, showing levels below 55 dB; 3% of the samples were classified as having an intermediate performance, with levels between 56 and 65 dB; and 77% of the evaluated dwellings had their levels above 66 dB, being classified as having a minimum acoustic performance. It was also shown that 40% of samples surpassed the maximum level stipulated by the national legislation, indicating the need for a revision of that standard. Finally, the floor covering is confirmed to be the main determining factor for the structural insulation level of floors, corroborating other scientific research in the area of isolation of impact.

Keywords: Sound Insulation, Impact noise, Architecture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquema dos temas de estudo do GAAMA.	3
Figura 1.2 – E-mail encaminhado ao LabCon solicitando informações sobre desempenho lajes.	5
Figura 2.1 – Exemplo de fonte de ruído de impacto.	13
Figura 2.2 – Esquema da transmissão do ruído de impacto.....	17
Figura 2.3 – Esquema da transmissão sonora direta e indireta.....	19
Figura 2.4 – Nível sonoro de impacto padronizado em faixa de frequência e a indicação do valor do nível ponderado, $L'nTw$, de 86 dB, obtido de acordo com a ISO 717-2(1996).	23
Figura 2.5 – Força transmitida e o tempo de duração de uma batida em uma superfície rígida (concreto) e uma superfície com revestimento.	33
Figura 2.6 – Força transmitida pela tapping machine sobre uma mesma laje de concreto com e sem revestimento.	33
Figura 3.1 – Esquema de ensaio do nível de isolamento de ruído impacto.	44
Figura 3.2 – Máquina de impacto, marca Brüel & Kjær, modelo 3207.	45
Figura 3.3 – Equipamentos e software utilizados na medição de isolamento de impacto.	46
Figura 3.5 – Figura já apresentada agora evidenciando os parâmetros medidos.	49
Figura 3.6 – Exemplos de como foi feita colocação da máquina de impacto na sala da fonte.....	49

Figura 3.7 – Exemplos de como foi feito a medição de L2.	51
Figura 3.8 – Exemplos de como foi feito a medição de T2.	53
Figura 4.1 – Porcentagem dos tipos de lajes encontradas nos edifícios avaliados.	55
Figura 4.2 – Porcentagem de participação de cada tipo de revestimento de piso nos quartos avaliados.	56
Figura 4.3 – Histograma da espessura das lajes avaliadas sem contrapiso.	58
Figura 4.4 - Histograma da espessura final das lajes avaliadas.	58
Figura 4.5 - Histograma da área de piso dos quartos avaliados.	60
Figura 4.6 – Histograma do volume dos quartos avaliados.	60
Figura 4.7 – Tempo de Reverberação dos diferentes quartos avaliados, identificados pelo tipo de laje: NV – nervurada, MC – maciça, PM – pré-moldada e PP – pré-moldada protendida.	63
Figura 4.8 – Tempo de Reverberação dos quartos sem móveis para os diferentes tipos de lajes: NV – nervurada, MC – maciça, PM – pré-moldada e PP – pré-moldada protendida.	64
Figura 4.9 – Tempo de Reverberação médio espacial para todos os quartos avaliados sem móveis e o desvio padrão, σ , para cada banda de frequência.	65
Figura 4.10 - Tempo de Reverberação dos quartos com móveis para os diferentes tipos de lajes: NV – nervurada, MC – maciça, PM – pré-moldada e PP – pré-moldada protendida.	65

Figura 4.11 - Tempo de Reverberação Médio para todos os quartos com móveis e o desvio padrão, σ , para cada banda de frequência.	66
Figura 4.12 – Nível sonoro de impacto padronizado da laje de todos os quartos – caso laje nervurada.	68
Figura 4.13 – Nível sonoro de impacto em duas situações distintas: piso em concreto e piso em madeira.	70
Figura 4.14 – Nível sonoro de impacto padronizado da laje de todos os quartos – caso laje maciça.	70
Figura 4.15 – Nível sonoro de impacto padronizado da laje de todos os quartos – caso laje pré-moldada.	72
Figura 4.16 – Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos avaliados com laje nervurada.	73
Figura 4.17 - Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos avaliados com laje maciça.	74
Figura 4.18 - Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos avaliados com laje pré-moldada.	74
Figura 4.19 – Níveis sonoros de impacto padronizado ponderado para cada tipo de laje: nervurada, maciça e pré-moldada.	75
Figura 4.20 – Exemplo de planejamento do universo de amostras de uma pesquisa de caráter estatístico com o mesmo tema proposto.	76
Figura 4.21 – Nível sonoro de impacto padronizado para todas as lajes com revestimento cerâmico.	78
Figura 4.22 – Nível sonoro padronizado médio de todos os quartos com revestimento cerâmico.	79

Figura 4.23 - Nível sonoro de impacto padronizado para todas as lajes com revestimento laminado de madeira.....	80
Figura 4.24 - Nível sonoro padronizado médio de todos os quartos com revestimento em laminado de madeira.	81
Figura 4.25 - Nível sonoro de impacto padronizado para todas as lajes no contrapiso.	82
Figura 4.26 - Nível sonoro padronizado médio de todos os quartos com lajes no contrapiso.	83
Figura 4.27 – Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos com revestimento cerâmico.	84
Figura 4.28 - Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos com revestimento laminado de madeira.	85
Figura 4.29 - Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos com revestimento no contrapiso.....	86
Figura 4.30 – Escala hierárquica para diferentes tipos de revestimento de piso em relação ao valor de $L'nTw$	87
Figura 4.31 – $L'nTw$ dos apartamentos avaliados com laje nervurada e os níveis de desempenho de impacto da nova proposta para a NBR.	91
Figura 4.32 - $L'nTw$ dos apartamentos avaliados com laje maciça e os níveis de desempenho de impacto da nova proposta para a NBR.	91
Figura 4.33 - $L'nTw$ dos apartamentos avaliados com laje pré-moldada e os níveis de desempenho de impacto da nova proposta para a NBR.	92

Figura 4.34 – Porcentagem dos níveis de desempenho pelos critérios da adotados no presente estudo.....	92
Figura 4.35 – L'nTw dos apartamentos avaliados com laje nervurada e os níveis máximos permitidos pela Áustria, França, Bélgica, Reino Unido e Espanha.....	94
Figura 4.36 - L'nTw dos apartamentos avaliados com laje maciça e os níveis máximos permitidos pela Áustria, França, Bélgica, Reino Unido e Espanha.....	94
Figura 4.37 - L'nTw dos apartamentos avaliados com laje Pré-Moldada e os níveis máximos permitidos pela Áustria, França, Bélgica, Reino Unido e Espanha.....	95
Figura 4.38 - Porcentagem referente aos quartos avaliados que seguem os níveis estipulados pelos países europeus.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre medições in-situ para L'nw avaliadas na Itália por Buratti e Moretti (2007).	27
Tabela 2.2 – Resultado da alteração com relação a uma laje de concreto armado com 12 cm de espessura com a colocação do revestimento de piso avaliados por Conrad (2002).	30
Tabela 3.2 – Principais conjuntos de norma para isolamento sonoro.	40
Tabela 3.3 – Isolamento sonoro mínimo em normas de países europeus.	42
Tabela 3.1 – Nível sonoro de impacto ponderado para medições in-situ.	43
Tabela 4.1- Código de identificação, tipo de laje e tipo de revestimento dos apartamentos avaliados.	62
Tabela 4.2 – Desvio padrão, σ , do TR para todos os quartos sem móveis com os resultados encontrados por Días e Pedrero (2005).	67
Tabela 4.3 – Desvio padrão, σ , do TR para todos os quartos com móveis com os resultados encontrados por Días e Pedrero (2005).	67
Tabela 4.4 – L'nT, em 1/1 oitava, do quarto NV-12.	69
Tabela 4.5 - L'nT, em 1/1 oitava, do quarto NV-13.	69
Tabela 4.6 - L'nT, em 1/1 oitava, do quarto MC-03.	71
Tabela 4.7 - L'nT, em 1/1 oitava, do quarto PM-01.	72

Tabela 4.8 – Características arquitetônicas e o $L'nTw$ de dois apartamentos ensaiados de laje nervurada.....	86
Tabela 4.9 – Nível sonoro de impacto ponderado para medições in-situ.	88
Tabela 4.10 – Critério de classificação das lajes ensaiadas de acordo com nível sonoro de impacto Ponderado, $L'nTw$, para medições in-situ.	90

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	International Organization for Standardization
L_n	Nível sonoro de impacto normalizado em laboratório
L'_n	Nível sonoro de impacto normalizado in-situ
L'_{nw}	Nível sonoro de impacto normalizado ponderado
L'_{nT}	Nível sonoro de impacto padronizado in-situ
L'_{nTw}	Nível sonoro de impacto padronizado ponderado
B₂	Nível de ruído de fundo
L₂	Nível sonoro de ruído de impacto
T₂	Tempo de reverberação

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE SIGLAS	XV
SUMÁRIO.....	XVI
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações sobre o Tema	1
1.2 Relevância	3
1.3 O Caso Brasileiro	6
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo Geral	7
1.4.2 Objetivos Específicos	7
1.5 Delimitações da Pesquisa	8
1.6 Conteúdo da Dissertação	8
2 CONCEITUAÇÃO	10
2.1 Som e Ruído.....	10
2.2 Conforto Acústico	11
2.3 Ruído de Impacto	12
2.4 Isolamento Sonoro	15
2.4.1 Isolamento sonoro estrutural.....	16

2.4.2	Transmissão sonora direta e indireta.....	18
2.4.3	Descritores de isolamento ao ruído de impacto...	21
2.4.4	Descritor acústico de avaliação de isolamento sonoro <i>in-situ</i>	24
2.4.5	Isolamento de ruído de impacto.....	25
2.5	Efeito de Revestimento de Piso no Isolamento	32
2.6	Sistemas Estruturais.....	35
2.6.1	Definição de lajes em concreto	35
2.6.2	Tipos de lajes	36
3	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE ISOLAMENTO DE IMPACTO	39
3.1	Introdução.....	39
3.2	Normas Internacionais.....	39
3.3	Norma Nacional.....	43
3.4	Método de Medição <i>In-situ</i>	44
3.5	Universo de Amostras Avaliadas	47
3.6	Parâmetros Medidos	48
3.6.1	Medição do nível sonoro de impacto / L2	50
3.6.2	Medição do nível de ruído de fundo / B2	50
3.6.3	Tempo de reverberação / T2.....	52
4	RESULTADOS	55
4.1	Tipos de Lajes	55
4.2	Revestimento de Piso.....	56
4.3	Espessura das Lajes	57
4.4	Área e Volume Médio dos Quartos Avaliados.....	59

4.5	Análise do Tempo de Reverberação / TR	63
4.6	Níveis Sonoros de Impacto para cada Tipo de Lajes	68
4.6.1	Laje nervurada	68
4.6.2	Laje maciça	70
4.6.3	Laje pré-moldada	71
4.6.4	Análise do nível sonoro único / L'nTw.....	72
4.7	Níveis Sonoros de Impacto em Função do Revestimento de Piso.....	77
4.7.1	Revestimento cerâmico.....	77
4.7.2	Revestimento em laminado de madeira.....	79
4.7.3	Laje no contrapiso	81
4.7.4	Análise do nível sonoro ponderado e o tipo de revestimento de piso	83
4.8	Avaliação do Desempenho Sonoro das Lajes Avaliadas Frente às Normalizações.....	88
4.8.1	Algumas considerações sobre norma brasileira ..	88
4.8.2	Avaliação dos resultados de acordo com a norma brasileira.....	90
4.8.3	Avaliação dos resultados de acordo com as normas dos países europeus.....	93
5	CONCLUSÃO.....	97
5.1	Considerações Finais	97
5.2	Sugestões de Trabalhos Futuros	99
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

APÊNDICE110

Apêndice A. Características construtivas dos quartos
avaliados e respectivo nível de isolamento
sonoro de impacto ponderado.....110

Apêndice B. Resultados individuais de cada medição.....112

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações sobre o Tema

A história da arquitetura apresenta um panorama de variadas inovações tecnológicas nas construções de diversos povos no mundo. No entanto, Duarte (2005) destaca que, em certo ponto da história, o avanço da tecnologia começou a significar uma constante regressão na eficiência do isolamento acústico das edificações.

Em razão do crescimento das grandes cidades e do aumento da densidade demográfica, houve o surgimento de uma nova concepção arquitetônica para otimizar o aproveitamento do espaço urbano, na qual há praticamente uma obrigatoriedade à verticalização das edificações. Paralelamente a essa evolução, desenvolveu-se uma condição de importância vital nos dias atuais: a redução dos custos de produção, que tem como consequência a diminuição das espessuras e que culmina com a diminuição das estruturas entre partições de ambientes. Paredes, fachadas, divisórias e lajes menos espessas e/ou constituídas de materiais menos densos, acarretam maior transmissão sonora entre os ambientes. O processo é observado pelo ponto de vista da qualidade acústica das habitações, tem se oposto ao bem estar da população (QUEIROZ e VIVEIROS, 2008).

Por outro lado, ao longo do tempo, à medida que as construções foram ficando mais leves, o nível do ruído ambiental nas grandes cidades cresceu de forma exponencial (DUARTE, 2005). Isto se deve primeiramente aos níveis sonoros produzidos pelo tráfego, proporcional ao fluxo de veículos, que aumenta continuamente nas cidades. Em segundo lugar, em função do acelerado crescimento das cidades, que teve seu início com o fim da Segunda Guerra Mundial e que, a partir dos anos 60, alcançou níveis surpreendentes. Em decorrência desses fatores, todos os tipos de degradação ambiental são encontrados no ambiente urbano, sendo que há lugar de destaque na sociedade moderna para a questão da poluição sonora (NARDI, 2008). A autora salienta, ainda, que o nível de ruído ambiental em todo o mundo tem sido motivo de preocupação para os pesquisadores. Esforços estão sendo empregados para a execução de

mapeamentos sonoros, que auxiliam o planejamento de estratégias para redução dos níveis de ruído.

Além do ruído urbano, a arquitetura contemporânea convive com uma gama de novos equipamentos, os quais oferecem conforto e praticidade à vida do homem do século XXI, mas, também em sua maioria, aumentam a produção do ruído interno das unidades residenciais. A vida moderna trouxe consigo, infelizmente, a elevação dos níveis de ruído nas habitações como um todo. Níveis sonoros advindos de equipamentos de serviços domésticos são uma das principais causas de incômodo em edifícios residenciais (GERRETSEN, 2008).

A demanda de qualidade de vida pelos cidadãos em relação, principalmente, aos ambientes edificados, vem crescendo rapidamente face à evolução cultural das populações e ao incremento das múltiplas fontes de incômodo e tensão da vida cotidiana. Há quem considere o conforto acústico como um conceito de caráter subjetivo, porém cada vez mais se procura traduzir essa subjetividade em parâmetros de caráter objetivo, isto é, mensuráveis (NETO e BERTOLI, 2008). As autoras enfatizam essa questão quando afirmam que é possível que a grande maioria da população não saiba como avaliar esse desconforto, mas é certo de que a sua ausência está cada vez mais perceptível e, por isso, a exigência de morar ou trabalhar em ambientes acusticamente confortáveis está se tornando cada vez mais frequente.

O presente trabalho insere-se dentro do projeto “Qualidade Acústica do Ambiente Construído no Brasil” desenvolvido pelo GAAMA, Grupo de Acústica Arquitetônica e do Ambiente Construído, UFSC, que tem como objetivo investigar as relações entre as diversas instâncias do ambiente construído e sua qualidade acústica, desde a componente do edifício até a escala do urbano, visando caracterizar o conforto acústico das edificações brasileiras. Neste trabalho, o foco do estudo é a questão do ruído de impacto em lajes entre unidades em edificações multifamiliares. A Figura 1.1 apresenta de forma esquemática as linhas de pesquisa desenvolvidas pelo grupo

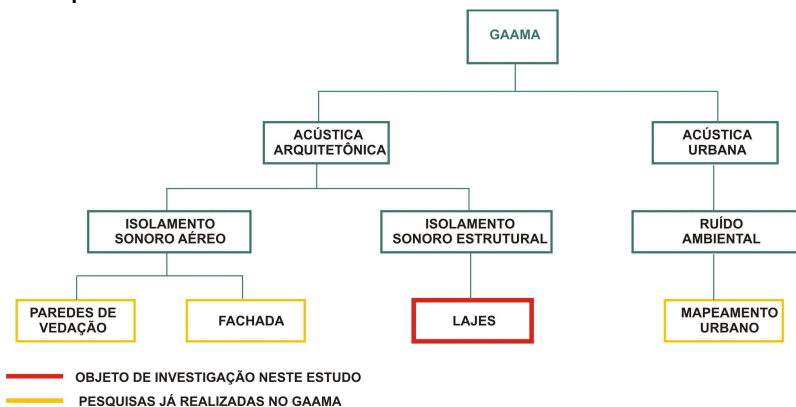


Figura 1.1 – Esquema dos temas de estudo do GAAMA.

Para responder qual o nível de isolamento sonoro estrutural das lajes em edificações residenciais típicas no país que o estudo foi proposto.

1.2 Relevância

Esse estudo tem como foco a caracterização do nível de isolamento sonoro das lajes usualmente encontradas em edifícios de apartamentos na cidade de Florianópolis. Este assunto, infelizmente, é muitas vezes esquecido no país, mas configura-se como importante quesito para o usuário, haja visto o grande número de reclamações quanto ao nível de ruído proveniente de outros apartamentos dentro de um mesmo edifício. Exemplos clássicos desse ruído são o caminhar de sapato de salto alto, o arrastar de um móvel ou a queda de um objeto, uma reforma no andar de baixo, o trepidar de uma máquina de lavar roupa, enfim, todos eles sendo caracterizados pelo contato direto de um objeto rígido com uma superfície dura.

O estudo do isolamento sonoro estrutural é de grande importância, principalmente em território nacional, uma vez que esse campo específico do conhecimento não se beneficia das informações e avanços tecnológicos advindos de outros países pois pois o isolamento sonoro estrutural é fator dependente do

sistema construtivo (VIVEIROS, 2006). Assim a melhora no grau de isolamento ao ruído de impacto das edificações no país só poderá ser atingida através do conhecimento gerado localmente, pois os sistemas construtivos de edificações residenciais em outros países são muito distintos dos nacionais. Alguns dos artigos apresentados no *International Conference on Noise Control Engineering - Internoise (2005)*, por exemplo, tratavam de avaliação de desempenho de isolamento estrutural de partições piso/teto, típicas nos diferentes países: (i) laje estrutural + camada de isolamento térmico + camada de acumulação de calor e acabamento, da Korea (SEO e JEON, 2005); (ii) piso + placa OSB + vigas de madeira + placas OSB, da França (KOUYOUMJI, 2005); (iii) TCCF = *timber concrete composite floor* = piso + contrapiso + isolamento de vibração + laje de concreto + estrutura em madeira + forro, da Suíça (SCHMID, 2005) e (iv) piso + acabamento em placa OSB + vigas de madeira + placa de gesso, dos Estados Unidos (GATLAND II, 2005). Com esses quatro exemplos pode-se observar como os sistemas construtivos diferem das lajes maciças em concreto ou das lajes nervuradas e pré-moldadas, largamente utilizadas no Brasil.

O problema do ruído de impacto está presente em praticamente todos os países. Segundo Dongen (2001), na Holanda o ruído de vizinhança incomoda aproximadamente 1/3 das residências. Patrício (2001) afirma que, em Portugal, vários problemas de ruído de impacto surgiram com a rápida construção de lajes entre os apartamentos para atender à demanda do mercado. Devido à redução das cargas atuantes e à utilização de novas tecnologias, muitas dessas lajes tiveram problemas em atender às normas vigentes no país. Grimwood (1997) revelou, em estudo realizado na Inglaterra e País de Gales, quais eram os tipos de ruídos estruturais que mais causam desconforto aos vizinhos: 95% dos entrevistados relataram ouvir os passos do caminhar dos vizinhos do andar superior, 68% disseram escutar as batidas de portas e armários, 50% percebiam o acionamento dos comandos hidráulicos dos banheiros, 41% ouviam o uso de máquinas de lavar roupa e 23% dos entrevistados revelaram perceber os barulhos feitos nos trabalhos domésticos nas cozinhas. Gerretsen (2003) ressalta que é contraditório que, ao mesmo tempo em que a sociedade exige níveis mais baixos de

ruído, há um aumento de fontes de ruído interno e por fontes externas principalmente entre vizinhos.

O Brasil não foge à regra, mas as pesquisas no tema são escassas e muito recentes. Esse fato pode ser observado a partir do momento que as construtoras começam a se preocupar com a questão, na tentativa de adaptarem-se às exigências dos compradores de imóvel e, infelizmente, o assunto não é de domínio dos profissionais que atuam na área. Empresários do ramo voltam-se às universidades, ansiosos por obterem informações que possam auxiliá-los na melhoria de seus projetos. A Figura 1.2 mostra, como exemplo, um dos vários e-mails enviada à Prof. Elvira Viveiros, este encaminhado por engenheiro com atuação em construtora, que buscava o Laboratório de Conforto Ambiental, LabCon, no qual o GAAMA se insere, para obter informações sobre desempenho acústico de lajes. Infelizmente não há resposta positiva a ser dada.

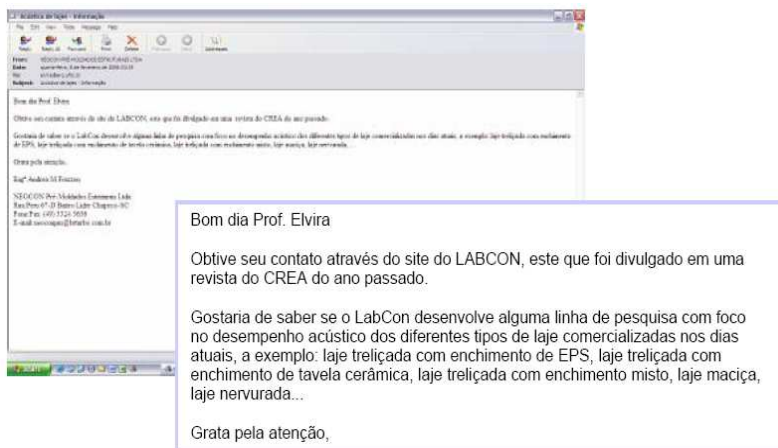


Figura 1.2 – E-mail encaminhado ao LabCon solicitando informações sobre desempenho lajes.

A resposta a este e-mail será dada ao final do presente trabalho, o qual avalia o desempenho acústico para isolamento sonoro de impacto dos principais sistemas construtivos utilizados em lajes no setor da construção civil brasileira.

1.3 O Caso Brasileiro

No Brasil é fato notório para qualquer um que more em apartamento que os ruídos estão presentes em casa, seja vindo do vizinho de lado, de cima ou da rua. É contraditório que o envelope da casa, que surgiu para dar abrigo e proteção ao homem, seja tão ineficiente quando se trata da proteção contra o ruído, justamente quando se vive em grandes aglomerações urbanas com os mais altos níveis de ruídos (DUARTE, 2005). Como a qualidade acústica das edificações nunca mereceu atenção por parte dos projetistas no país, o resultado desse descaso histórico é uma falta de isolamento sem precedentes. Talvez a explicação da desatenção seja pelo fato do desempenho acústico ser um atributo invisível da edificação, conforme foi discutido em artigo de Duarte e Viveiros (2005), já que o grau de isolamento é fruto do sistema construtivo e dos materiais empregados na edificação, mas esses são elementos “ocultos” aos olhos de futuros moradores. O comprador do imóvel, que pela força da lei de mercado poderia transformar a situação, não tem como avaliar *a priori* a condição. O defeito da construção aparecerá quando já for tarde demais e o morador estará sozinho para tentar reverter a situação.

Outro fator que merece destaque é a comprovação de que o grau de isolamento acústico entre ambientes é praticamente constante para qualquer padrão de acabamento da edificação (alto, médio, baixo e popular), ou seja, o desempenho acústico das edificações brasileiras é independente da quantidade de recursos investidos, como demonstra estudo apresentado também pelo GAAMA, conduzido por Polli (2007).

No Brasil não há estímulo financeiro, direto ou indireto, que favoreça a busca pela qualidade acústica da edificação. Ao contrário, quando o custo final da edificação é diretriz exclusiva de projeto, o isolamento acústico tenderá a deterioração. Por outro lado, em países de clima mais frio, o desempenho acústico da edificação é, mesmo que indiretamente, beneficiado. Medidas de contenção do desperdício de energia são favorecidas pelo governo, acarretando a preocupação de se manter o aquecimento das casas. Por conseguinte, reforça-se o envoltório da edificação, que é sempre um fator positivo para a acústica. Ou

seja, em países de clima quente, como o Brasil, nem a tipologia arquitetônica que contempla o conforto térmico favorece, nem há a obrigação na forma da lei (VIVEIROS, 2006).

A acústica de edificações no Brasil e, mais especificamente, o isolamento acústico, têm sido mais associado às engenharias, provavelmente pela natureza dinâmica do fenômeno físico. No entanto, é na fase do projeto arquitetônico de um edifício que a qualidade de seu isolamento será determinada, mesmo que nenhuma consideração tenha sido feita. O fato da acústica não ser levada em conta nos projetos que compõem o exercício profissional cotidiano do arquiteto não significa que não haverá um desempenho acústico específico, mas sim que ele acontecerá fora do controle do projetista (DUARTE e VIVEIROS, 2006). Portanto, identificar escolhas de sistemas e materiais construtivos é de suma importância, pois determinam o isolamento acústico. Kihlman (1994) ressalta que a qualidade sonora de qualquer edificação só se inicia com um planejamento adequado nas etapas iniciais de projeto e, posteriormente, através de uma correta execução dessas especificações durante a construção do mesmo. O autor ainda ressalta que o grande desafio para arquitetos e engenheiros da atualidade é construir residências nas quais o isolamento sonoro atenda os níveis mínimos exigidos sem contar com gastos extras.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Investigar *in-situ* o isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais na cidade de Florianópolis.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Identificar e caracterizar os sistemas estruturais horizontais típicos existentes para edifícios de apartamentos em Florianópolis;
2. Quantificar experimentalmente o nível de isolamento sonoro de impacto em sistema laje/piso;

3. Caracterizar, do sistema laje/piso, o elemento determinante no isolamento sonoro ao ruído de impacto;
4. Comparar o nível de isolamento sonoro de impacto encontrado com diretrizes da norma brasileira e de normas européias.

1.5 Delimitações da Pesquisa

A presente pesquisa apresenta as seguintes delimitações:

- O estudo analisa o comportamento sonoro ao ruído de impacto de sistemas laje/piso em quartos de edifícios residenciais da cidade de Florianópolis;
- Nem sempre foi possível levantar com detalhes as características físico-construtivas dos sistemas laje/piso em avaliação. No entanto, a pesquisa é uma investigação in-situ, não sendo necessária, portanto, essa identificação para fins de classificação dos tipos de lajes consideradas;
- O trabalho não tem caráter estatístico. O universo de amostras foi selecionado de forma aleatória com a intenção de diagnosticar como se encontra o isolamento ao ruído de impacto de sistemas laje/piso de edifícios residenciais.

1.6 Conteúdo da Dissertação

A dissertação é composta de seis capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema de ruído de impacto, evidencia a relevância do estudo proposto, contextualiza o assunto dentro da realidade brasileira e aponta os objetivos da presente pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta o estado da arte do tema isolamento ao ruído de impacto, dando um panorama geral com relação às pesquisas desenvolvidas, tanto no Brasil como em outros países do mundo tendo, dessa forma, o objetivo de definir os principais conceitos que envolvem o tema transmissão sonora

estrutural. Ainda, caracteriza os descritores acústicos de análise quanto ao isolamento sonoro de impacto e os sistemas estruturais horizontais típicos encontrados na construção civil brasileira

O Capítulo 3 se foca na caracterização do método de avaliação de isolamento sonoro ao ruído de impacto *in-situ* e apresenta os níveis de desempenho exigidos pela normalização brasileira e europeia.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados do estudo realizado referentes às questões do desempenho acústico dos sistemas construtivos avaliados. É apresentada, também, uma discussão a respeito dos níveis sonoros de impacto encontrados em campo dentro do contexto da norma brasileira e das principais normas europeias em vigor atualmente.

No Capítulo 5 têm-se as conclusões obtidas no estudo. Ainda é apresentado as potencialidades do trabalho realizado e sugestões para pesquisas futuras.

Por último, o Capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas da dissertação.

2 CONCEITUAÇÃO

2.1 Som e Ruído

O som é a sensação percebida pelo ouvido, resultado da variação da pressão estática causada por um meio em vibração, gerando ondas sonoras. Entretanto, não são todas as flutuações de variação da pressão que produzem a audição quando atingem o ouvido humano. O som só ocorrerá quando a amplitude dessa flutuação e a frequência com que ela se repete estiverem dentro de determinada faixa de valores, sendo esses os dois fatores que caracterizam o som. Dessa forma, pelo parâmetro da amplitude, a variação de nível de pressão sonora está compreendida entre o limiar da audição, indicada pelo 0 dB, e o limiar da dor, em torno de 140 dB. Com relação à faixa de frequência, as ondas sonoras devem estar no intervalo de 20 Hz a 20 kHz para que a sensação auditiva ocorra.

Há uma distinção entre som e ruído. Para Bistafa (2006), som é a sensação produzida no sistema auditivo, mas com uma certa conotação positiva, e ruído é o som sem harmonia, em geral com carga negativa. É evidente que com o passar dos anos o ruído nas cidades tem se tornado um somatório de vários tipos de som oriundos das mais diversas fontes.

É sabido que as consequências do ruído à saúde humana são adversas. Além da perda da audição propriamente dita, existem outros efeitos, tais como aceleração da pulsação, aumento da pressão sanguínea e estreitamento dos vasos sanguíneos. Períodos de exposição a níveis de pressão sonora altos podem causar sobrecarga do coração, causando secreções anormais de hormônios e tensões musculares. Pesquisas do *Institute of Environment and Health* (1997) alertam que essas alterações geram, em consequência, nervosismo, fadiga mental, frustração e prejuízo na produtividade. Também existem queixas de dificuldades mentais e emocionais que se manifestam como irritabilidade, fadiga, mau ajustamento em situações diferentes e conflitos sociais entre operários expostos ao ruído. A situação é preocupante, pois a agressão direta e cumulativa dos efeitos à saúde pode afetar adversamente futuras gerações, considerando

a degradação dos ambientes residenciais, sociais e de aprendizagem (NARDI et al., 2008).

A vida nas grandes cidades tem significado a convivência com o excesso de ruído de forma cada vez mais intensa. Relata Arizmendi (198–) que, mediante estudo comparativo entre países com diferentes níveis de industrialização, a capacidade auditiva de um habitante da África Central com 80 anos é igual à de um nova-iorquino com 18 anos. Por isso a importância da residência em dar abrigo a essas agressões – o ruído excessivo.

2.2 Conforto Acústico

O conceito de conforto acústico sugere uma sensação de bem-estar, de tranquilidade emocional e de satisfação em momentos de trabalho e lazer. É interessante salientar que em diversas situações a sensação de conforto não é percebida pelas pessoas, mas o incômodo causado pela sua falta logo gera insatisfação (ORAL et al., 2004).

Rasmussen (2004) completa o conceito de conforto acústico como aquele que pode ser caracterizado pela ausência de som indesejado e por atividades acústicas que não causam incômodo às pessoas. A autora estabelece que tanto pode ser desagradável estar exposto ao ruído de vizinhos como também igualmente incomodante saber que a sua atividade pode ser ouvida por outras pessoas, causando nelas uma sensação de desconforto.

Nos grandes centros urbanos atuais, uma parcela significativa da população busca apartamentos com grandes espaços internos, varandas, churrasqueiras, *playgrounds*, quase um verdadeiro centro de lazer em seus condomínios. Portanto, *a priori*, a atenção do consumidor está voltada para as dezenas de itens de lazer e comodidade que as construtoras oferecem. Infelizmente, muitas vezes, o conforto acústico só é lembrado quando, depois de estar vivendo nesses espaços, os moradores passam a escutar, por exemplo, a conversação dos vizinhos do lado ou o caminhar no andar de cima, isto é, quando o ruído começa a atrapalhar o sossego (NETO e BERTOLI, 2008).

Em pesquisa realizada em 110 apartamentos na região de Goiânia, Martins et al. (2004) obtiveram os seguintes resultados

em relação ao conforto acústico das habitações: 73,40% enquadraram-se na classificação como péssimo, ruim ou regular, 26,60% foram considerados bons e nenhum foi considerado ótimo. Os autores constataram que 47,68% dos incômodos estão relacionados aos ruídos do pavimento superior, 34,44% relacionam-se com barulhos externos e 12,58% são oriundos dos vizinhos laterais. A conclusão foi que há uma insatisfação generalizada em relação ao conforto acústico. Sheridan e Maluski (2000) apontam, ainda, que muitas pessoas se dizem insatisfeitas com a qualidade acústica de suas residências, mesmo quando expostos aos níveis sonoros permitidos pela legislação.

Gonzaga (2003 apud Polli 2007) em pesquisa na cidade de Porto Alegre, identificou as preferências dos compradores de imóveis residenciais de três dormitórios, com peças que variavam entre 75 e 250 mil reais. Dentro de uma lista de 12 itens, o atributo mais procurado pelos clientes foi a orientação solar, com 76,1% de frequência de ocorrência, seguida pela localização, com 75,0% e pela presença de elevador no edifício, com 72,7%. Os atributos menos procurados foram a presença de gás central, com 50% de ocorrência, seguido pela vaga de estacionamento, com 54,3%. O isolamento acústico apareceu na pesquisa como o 9º atributo mais procurado, com 56,6% de preferência. Polli (2007) conclui que há sim uma grande procura por parte dos consumidores por itens como espaços amplos, orientação solar e localização mas que, cada vez mais, o isolamento acústico figura entre os itens citados embora seu posicionamento não permita ainda visualizá-lo como imprescindível, mas já revela uma preocupação dos moradores com o assunto.

2.3 Ruído de Impacto

Sons gerados por pisadas e quedas de objetos sobre as lajes, exemplos de maior destaque dos chamados ruídos de impacto, provocam grande desconforto em edifícios de apartamentos por serem ouvidos claramente em outros ambientes. A normas técnicas NBR 15575-3:2008, da ABNT, define o ruído de impacto como sendo aquele produzido pela percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar. Na

verdade, trata-se de uma excitação por contato, na qual a estrutura se torna um eficiente sistema irradiador de energia sonora em ampla faixa de frequência, devido ao movimento vibratório induzido pela excitação localizada. A Figura 2.1 mostra um exemplo de ruído de impacto.

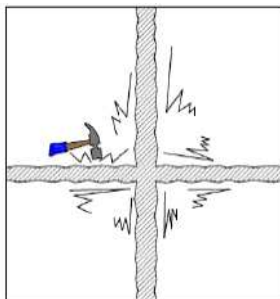


Figura 2.1 – Exemplo de fonte de ruído de impacto.
Fonte: Pedroso (2007).

O isolamento sonoro de impacto é a propriedade acústica mais importante a ser considerada dentro de um projeto arquitetônico, uma vez que, como aponta Rindel, (2007), os requisitos para o isolamento sonoro aéreo serão suficientes se os requerimentos para ruído de impacto forem conhecidos, já que a transmissão estrutural é mais complexa que a transmissão via ar. O autor ainda coloca que a especificação construtiva de sistemas estruturais de lajes, por exemplo, são geralmente mais complicadas do que os componentes de vedação vertical, e os vários tipos de revestimento de piso existentes fazem com que seja cada vez mais difícil desenvolver modelos preditivos confiáveis.

É importante observar que quanto mais rígida for uma superfície ou objeto, mais ruído é gerado e, ao mesmo tempo, quanto mais macio e elástico for um dos elementos, menos ruído é produzido. Para ilustrar esse fato imagina-se o ruído produzido pelo vizinho do andar superior caminhando sobre um tapete, material com alguma resiliência, e sobre um piso cerâmico, material rígido. Whicher (2005) descreve que em termos de sonoridades, o ruído de impacto gerado pelo caminhar deve ser de 4 a 8 vezes mais alto em um piso de madeira do que um piso

de carpete sob uma mesma laje, fazendo assim a correlação entre o ruído gerado a partir de superfícies mais rígidas e mais elásticas.

Uma vez que a vibração é transmitida a um componente estrutural, como a laje de piso, por exemplo, ela se propaga com através dessa componente. Ao atingir um elemento que tenha flexibilidade à vibração, como um piso ou parede, a vibração pode forçar a partição a oscilar e, assim, o ruído é gerado. A eficiência na radiação dependerá da razão entre as dimensões da partição, do amortecimento e da frequência de excitação e, segundo Knudsen (1988), a grandeza da potência instantânea de vibração envolvida é muitas vezes maior que aquelas produzidas por fontes comuns de ruído aéreo.

Gerretsen (1976) já considerava que isolamento sonoro de impacto é um problema importante nas habitações. O autor comenta que a porcentagem de pessoas que escutam seus vizinhos caminhando é muito maior que a porcentagem de quem se diz ser incomodado por isso. Entretanto, o autor afirma que não existe uma resposta direta para esse questionamento, ou seja, se o incômodo é baseado na pura detecção do ruído ou pela intensidade com que ele é percebido, mas é certo que o julgamento é mais negativo quando se percebe o ruído como alto. Foram estudados casos no qual o ruído era percebido, mas como ele não estava alto, não gerava incômodo.

A qualidade acústica de piso de apartamentos é descrita através de níveis sonoros de impacto normalizado medidos em ambientes de recepção por meio de uma fonte sonora padronizada, denominada máquina de impacto, do inglês *tapping machine*. A caracterização desse tipo de ruído através de um número único ponderado, proposta pela ISO 717-2 (1996), nem sempre mostra uma boa correlação entre a percepção e o incômodo gerado a partir dele. Uma série de outros parâmetros, como o tipo de excitação (por exemplo, uma pessoa adulta caminhando, uma criança pulando ou correndo), a hora do dia que se percebeu o ruído, a atividade sendo executadas no momento, dentre outras, forma uma série de variáveis para se ter ou não o incômodo entre vizinhos (Thaden, 2004).

No Brasil, as fontes de ruído que mais causam incômodo às pessoas são objetos que caem no chão, pessoas andando de

sapatos e arrastar de móveis, sendo o último o que mais causa irritação (MARTINS et al., 2004).

2.4 Isolamento Sonoro

Sharland (1979) define isolamento, seja térmico, elétrico ou sonoro, como a maneira de prover uma barreira para um fluxo de energia que, no caso, é a energia sonora. A barreira, então, impõe determinada atenuação à transmissão da energia ao longo do caminho de propagação que, genericamente, denomina-se isolamento sonoro.

Rindel (2007) salienta que para o conforto acústico ser alcançado em um edifício, certos requisitos devem ser seguidos para obtenção de um adequado nível de isolamento sonoro, seja aéreo, de impacto, provenientes do ruído de tráfego ou de outras atividades internas do edifício. O mesmo autor considera que um isolamento sonoro pobre entre as unidades residenciais pode causar restrições nas atividades cotidianas e, ainda, ser o motivo de muitos conflitos sociais. Essa mesma idéia foi exposta por Grimwood (1997) e Rasmussen (2004) dando relevância ao fato de que o isolamento sonoro é um fator determinante nas relações diárias entre as pessoas.

A percepção do ruído de vizinhos é um importante indício quanto à qualidade acústica dos edifícios, tanto os comerciais quanto aqueles de moradia. É sabido que os requerimentos quanto à sua qualidade são praticamente os mesmos há 50 anos, entretanto, a situação sonora ao redor dos edifícios tem apresentado aumento considerável. Atualmente a indústria da construção civil está se movendo cada vez mais na direção dos conceitos da construção sustentável e, desta forma, a aplicação de materiais e métodos construtivos tem sofrido modificações cada vez mais velozes (GERRETSEN, 2003).

O mesmo autor faz ainda um panorama atual entre as questões da cidade moderna e do edifício propriamente dito, na qual destaca-se a tendência de concentrarem-se várias funções da vida contemporânea ao redor das residências. A cidade compacta abriga hoje, em um mesmo local, várias funções, como o morar, o trabalhar, o lazer, o comprar, o locomover e, todos eles, próximos entre si. Fica claro que essa concentração de

várias atividades e, como consequência, várias fontes de ruído, tem fortes implicações acústicas no contexto urbano. Nos edifícios em si, há um aumento considerável no número de instalações técnicas no que diz respeito às questões de conservação de energia, condicionamento interno e conforto ambiental para os habitantes, surgindo assim os chamados prédios inteligentes – do inglês *smart buildings* – e, conseqüentemente, gerando um aumento das fontes de ruído interno. A proposta por edifícios mais sustentáveis ainda afeta os métodos construtivos e os materiais utilizados. É notável o aumento do uso de estruturas cada vez mais leves, destacando-se aí os elementos pré-fabricados para os edifícios. Critérios como a montagem rápida, a limpeza em obra e o baixo custo acabam tendo maior poder de decisão e, portanto, os requisitos para um boa qualidade acústica são relegados ao método intitulado por Gerretsen (2003) de “*trial-and-error*” traduzindo-se, tentativa e erro.

No intuito de seguir a atual tendência, não é mais possível basear os projetos de arquitetura nas experiências do passado. Além disso, os métodos e os materiais atualmente empregados estão em contínua mudança, fazendo com que seja quase impossível que se conheça em tempo todas as inovações tecnológicas. Em vista disso, um dos recursos largamente usados é o da simulação computacional, numa tentativa de prever as características acústicas finais das construções. Ao mesmo tempo, os métodos de medição *in-situ* são ainda apontados como necessários para caracterizar o desempenho acústico dos edifícios e seus elementos, pois é através dos ensaios que se conhece índice de isolamento sonoro real entre as partições.

2.4.1 Isolamento sonoro estrutural

O som pode se propagar através de uma construção tanto por via aérea como por via estrutural e, portanto, as fontes sonoras podem ser classificadas de dois modos – os gerados no ar e os gerados na estrutura. O foco do presente trabalho é o isolamento sonoro estrutural, que será melhor definido e detalhado a seguir.

Ruídos estruturais são aqueles produzidos pelo choque de elementos sólidos ou líquidos transmitidos através de elementos também líquidos ou sólidos e, às vezes, parcialmente pelo ar, até o nosso corpo, sendo percebido sob forma de vibração ou sensação sonora. O ruído de impacto, pode se propagar até nossos ouvidos através do ar depois de atravessar um elemento sólido ou líquido. Por exemplo: o ruído de um objeto que cai sobre a laje, o caminhar de uma pessoa no pavimento superior ou a reforma de um apartamento do andar de baixo.

Patrício (2008) salienta que ruído de impacto pode, devido à rigidez das ligações existentes ao longo do edifício, propagar-se com grande facilidade através de toda a malha definidora dos espaços de utilização, estabelecendo campos sonoros, eventualmente intensos, em compartimentos razoavelmente distantes do local de origem da excitação. Por este fato, o autor ressalta que o ruído de impacto pode ser mais potencialmente incomodativo do que os sons aéreos. A Figura 2.2 abaixo ilustra de forma esquemática a transmissão direta e indireta de um ruído estrutural.

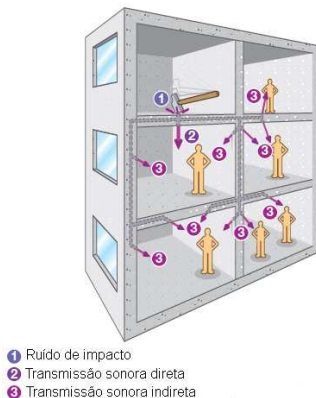


Figura 2.2 – Esquema da transmissão do ruído de impacto.
Fonte adaptado: Isover, 2005.

A redução da transmissão ao ruído de impacto de componentes da edificação requer mecanismos distintos de atenuação da transmissão sonora aérea. Os procedimentos

envolvidos no aumento do isolamento acústico de paredes de vedação ou de fachadas diferem por completo quando o objetivo é aumentar o isolamento ao ruído de impacto transmitido, por exemplo, por lajes de piso. Para o isolamento de ruído aéreo, quanto maior a massa, mais eficiente é o sistema, enquanto que para o isolamento estrutural é recomendável aumentar o amortecimento do sistema piso-estrutura. Ou seja, a falta de pesquisas sobre o tema, no Brasil, retroalimenta a baixa qualidade de isolamento das edificações, pois mesmo se houver uma iniciativa de algum empreendedor, ela pode não ser bem sucedida por falta de conhecimento específico.

Decorre daí as corretas escolhas de sistemas construtivos e materiais, visando o adequado isolamento sonoro de determinada partição do edifício, seja paredes de vedação, fachadas ou lajes, tem início nas primeiras fases do projeto arquitetônico, tendo implicações em todas as futuras fases do empreendimento. Oliveira (1994) salienta que cada etapa de projeto tem seus respectivos custos e são totalmente dependentes e determinantes em todo o processo construtivo. De modo simplificado, as fases de projeto são assim discriminadas: projeto arquitetônico, construção e vida operacional. Oliveira (1994) cita Marca e L.McGowan (1988) quando coloca que é alta a porcentagem de erros que ainda podem ser identificados nas fases de concepção do projeto e, o mais importante, o custo e o tempo para se corrigirem esses erros aumentam de acordo com o avanço do projeto. Por exemplo, quando se identifica um erro nas etapas iniciais de um projeto, esse implicará um custo de 2 vezes mais no montante final, 10 vezes mais se o erro estiver na etapa de construção e 100 vezes mais na etapa pós-ocupação e manutenção do mesmo. Dessa forma, um projeto arquitetônico que não considerou os requerimentos para o adequado isolamento acústico nas suas etapas iniciais terá a sua correção praticamente inviabilizada depois que a obra for executada.

2.4.2 Transmissão sonora direta e indireta

O isolamento sonoro é determinado não apenas por partições que dividem os ambientes mas, também, por elementos secundários como paredes adjacentes, lajes e tetos, que são

capazes de transmitir o som da sala da fonte para a sala de recepção (KIHLMAN, 1994). Dessa maneira há dois meios de transmissão sonora: uma parcela da transmissão acontece diretamente através do elemento da partição e outra que acontece de modo indireto através das partições secundárias, como pisos, tetos e paredes adjacentes, os chamados flancos. Na língua inglesa essa transmissão recebe o nome de *flanking transmissions*.

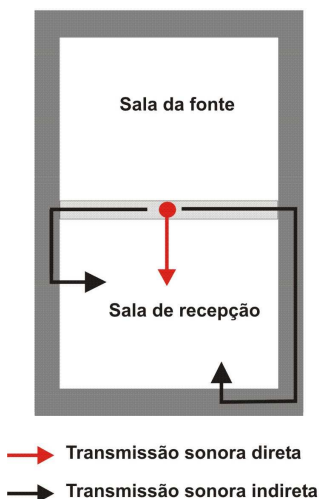


Figura 2.3 – Esquema da transmissão sonora direta e indireta.

Gerretsen (1979) apresenta, de forma resumida, um breve histórico a respeito da importância da caracterização da transmissão sonora indireta para as medições *in-situ*. Em 1962 foi introduzida na Alemanha uma norma determinando os valores mínimos requeridos de isolamento entre as unidades habitacionais. O índice constituiu-se em um dos primeiros requerimentos a dar atenção à participação das partições, tanto paredes de vedação como pisos, mas exigia pouca atenção para o som transmitido por vias indiretas. Os resultados na prática mostravam que o procedimento era insuficiente em vista dos requisitos tidos como os mínimos adequados. Essa foi a principal razão para que a *Building Research Foundation* – Fundação de

Pesquisa em Edificações da Alemanha – promovesse diversos programas de pesquisa no intuito de melhor entender e quantificar a transmissão sonora entre as partições. Essas pesquisas revelaram a importância da contribuição indireta na transmissão sonora total entre as unidades residenciais. Esse novo programa teve início em 1970 e a partir de então é amplamente utilizado em todo o mundo.

Considerar em uma medição a contribuição da parcela indireta é o fator determinante que estabelece a diferença entre uma medição feita em laboratório e uma realizada *in-situ*. Na primeira, apenas a parcela direta é avaliada, ou seja, na condição em laboratório quer apenas se avaliar a partição em questão sem a contribuição das transmissões laterais, enquanto que na medição *in-situ* é avaliado o somatório das parcelas direta e indiretas ao mesmo tempo. Em edifícios com sistemas construtivos tradicionais, como estrutura em concreto, a transmissão indireta pelos flancos é aproximadamente 50% da transmissão sonora total entre dois ambientes quaisquer (RINDEL, 2007).

O índice de redução sonora para a parcela de som direta depende da condição à qual a partição é submetida e não apenas pela quantidade e tipo de material utilizado. Consequentemente, os índices que são medidos em laboratório são completamente distintos das situações *in-situ*. Dessa maneira, medições *in-situ* são necessárias quando o objetivo principal é quantificar a transmissão, principalmente a estrutural.

Em 1999, Patrício fez uma investigação com o intuito de quantificar a parcela da transmissão indireta. Essa quantificação foi feita a partir da medição dos níveis de vibração estabelecidos numa laje e numa parede de alvenaria adjacente, com dois acelerômetros instalados, sendo um diretamente na laje e outro na parede. Esse conjunto de elementos de construção permitiu definir uma junção estrutural tipo T com o painel referido. A excitação utilizada foi a da máquina de percussão normalizada.

O componente em teste era uma laje maciça em concreto, com espessura de 10 cm e uma massa superficial média de 250 kg/m². Quanto à parede de alvenaria, era constituída por tijolos cerâmicos de dimensões nominais de 30 m x 20 m x 11 m, rebocado em ambas as faces, apresentando uma massa por

unidade de área de 140 kg/m². Foram utilizados 3 pontos de medição e 3 pontos de excitação. Os níveis de vibração em ambos os elementos encontram-se muito próximos entre si nas baixas frequências, começando a divergir significativamente a partir da banda de 400 Hz, já com valores superiores a 10 dB.

É importante assumir, no entanto, que o comportamento da parede testada é, de modo geral, típico em relação ao comportamento das outras 3 paredes restantes. Portanto, foi possível concluir que, para sons de impacto, a transmissão marginal tem maior influência nas bandas das baixas frequências do que nas restantes bandas do espectro (PATRÍCIO, 1999).

2.4.3 Descritores de isolamento ao ruído de impacto

A seguir serão detalhadas as principais definições utilizadas para a análise de ruído de impacto a partir das diretrizes propostas pela ISO 140-7 (1998).

Nível Sonoro de Impacto Normalizado em laboratório (L_n)

A capacidade da estrutura em transmitir energia sonora ao ser excitada mecanicamente recebe o nome de nível sonoro de impacto normalizado.

$$L_n = L_2 + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ [dB]} \quad (1)$$

onde L₂ é o 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 é a área das superfícies de absorção da sala receptora em m² e A₀ é a área de absorção de referência, igual a 10 m².

Na situação em laboratório a parcela de ruído indireta não é considerada.

Nível Sonoro de Impacto Normalizado in-situ (L'_n)

Para a situação *in-situ*, quando há transmissão pelos flancos, o nível sonoro de impacto normalizado é dado por:

$$L'n = L2 + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ [dB]} \quad (2)$$

onde A é a área das superfícies de absorção da sala receptora em m² e A₀ é igual a 10 m².

Nível Sonoro de Impacto Padronizado in-situ (L'nT)

O nível sonoro de impacto padronizado *in-situ*, L'nT, é dado por:

$$L'nT = L2 - 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ [dB]} \quad (3)$$

onde T é o tempo de reverberação na sala de recepção, em segundos, e T₀ é o tempo de reverberação de referência, igual a 0,5 s.

Nível Sonoro de Impacto Padronizado Ponderado (L'nw)

O nível sonoro de impacto padronizado ponderado (L'nTw) é o número único de isolamento de ruído de impacto em edificações, derivado 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 especificados na norma ISO 717-2 (1996).

A Figura 2.4 mostra como é feita a leitura do nível sonoro de impacto padronizado ponderado a partir da curva final em frequência de uma medição realizada *in-situ*.

A curva final apresenta o comportamento do ruído de impacto já sendo computados os fatores de correção pertinentes ao ruído de fundo e ao tempo de reverberação, também medidos *in-situ*. Na mesma figura aparecem as curvas de referência da norma ISO 717-2 (1996) - curva de referência em azul e a curva deslocada em vermelho. Ambas são usadas seguindo os procedimentos metodológicos da norma para se identificar o

número único – nível sonoro de impacto padronizado ponderado, L'_{nTw} , valor esse lido a 500 Hz ao encontrar a curva deslocada, como demonstra a linha tracejada em verde.

A norma define, também, o chamado termo de Adaptação Espectral – C_i , o qual representa o valor, em dB, que deve ser adicionado ao número único ($L'_{nTw} + C_{i,50-2500}$). Esse termo de adaptação representa o fator de correção para as baixas frequências, caracterizando de uma maneira mais real o espectro sonoro do caminhar sobre uma laje.

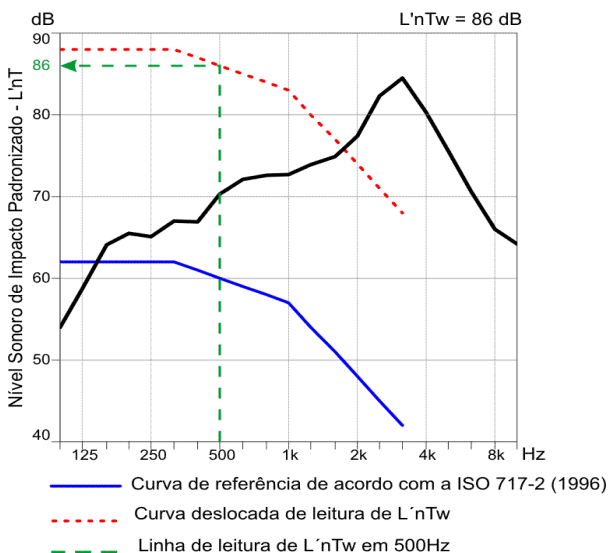


Figura 2.4 – Nível sonoro de impacto padronizado em faixa de frequência e a indicação do valor do nível ponderado, L'_{nTw} , de 86 dB, obtido de acordo com a ISO 717-2(1996).

Nível Sonoro de Impacto Normalizado Ponderado (L'_{nw})

Da mesma forma que o L'_{nTw} , o nível sonoro de impacto normalizado ponderado (L'_{nw}) é também um número único do isolamento de ruído de impacto em edificações, derivado dos valores em bandas de 1/1 oitava ou de 1/3 de oitava do nível sonoro normalizado de impacto (L'_n), de acordo com o procedimento especificado na norma ISO 717-2 (1996). O L'_{nw}

também apresenta o termo de correção para as baixas frequências dado por $L'nTw + Ci,50-2500$.

2.4.4 Descritor acústico de avaliação de isolamento sonoro *in-situ*

Vale aqui fazer uma diferenciação entre o significado de um isolamento para ruído aéreo para um ruído de impacto, a fim de ter uma melhor caracterização do fenômeno em si. Para o isolamento aéreo o que é de fato medido é a diferença de nível entre duas partições, portanto, quanto maior essa diferença, melhor o isolamento. No caso de ruído estrutural o que é mensurado são os níveis absolutos de isolamento, significando que quanto menor o nível de ruído de impacto, melhor é o isolamento. Portanto, para este estudo, os menores valores são traduzidos em uma melhora em termos de isolamento estrutural.

Para fazer uma avaliação a respeito dos resultados obtidos nas medições é fundamental a escolha dos descritores acústicos de forma adequada. Para decidir-se entre $L'nw$ e $L'nTw$ para avaliação de ruído de impacto *in-situ*, Vermeir (2003) usou simulações no método SEA, do inglês *Statistical Energy Analysis*. Foram feitas medições entre dois tipos de ambientes distintos – entre salas e entre banheiros de um mesmo edifício. Pelo parâmetro $L'nw$ encontrou-se um valor de isolamento entre banheiros de 62 dB e para a sala um isolamento de 65 dB. Pelo $L'nTw$ verificou-se nível de isolamento sonoro de impacto de 58 dB entre salas, e entre banheiros, 65 dB. O autor salienta que é mais correto prever que o nível sonoro de impacto diminua quando se tem volume de ambientes maiores. Dessa forma foi possível concluir que, pelos cálculos realizados no estudo proposto, o parâmetro $L'nTw$ é o que melhor quantifica o isolamento de ruído de impacto *in-situ*.

Jangniatinskis e Fiks (2004) apresentaram o estudo “*Applications of different descriptors for in-situ sound insulation*”, no qual afirmam que o descritor $L'nTw$, aplicado a salas de recepção em grandes volumes, mostra melhor concordância em termos de isolamento de impacto, quando comparado ao $L'nw$.

Diante de todas as pesquisas já realizadas na área, adotou-se, na presente pesquisa o nível sonoro de impacto padronizado ponderado, L'nTw. É importante apontarmos que a NBR 15575-3:2008 também faz uso desse descritor para avaliar o nível sonoro de impacto.

2.4.5 Isolamento de ruído de impacto

Neste item será apresentado o estado da arte sobre ruído de impacto, apresentando algumas pesquisas realizadas no Brasil e no resto do mundo.

Já é uma realidade na sociedade moderna o fato de que um dos grandes problemas que afligem as pessoas que vivem em edifícios residenciais tem ligação direta com a questão relativa ao isolamento sonoro de impacto. Este fato tem despertado cada vez mais pesquisas no mundo inteiro interessadas não apenas em caracterizar o fenômeno da transmissão sonora via componentes da edificação, como, também, descrever matematicamente o seu fenômeno, avaliar o nível sonoro de impacto em situações tanto em laboratório quanto *in-situ* e, ainda, ser capaz de analisar e estabelecer o grau de melhora encontrado com soluções para este tipo de problema.

Os primeiros estudos destacáveis no assunto, sendo inclusive referência para a comunidade científica da área, são datados do final da década de 70 e início da década de 80, tendo como autor o pesquisador alemão Eddy Gerretsen, nas quais ele critica a metodologia adotada pela comunidade científica para a avaliação do nível de isolamento sonoro de impacto em lajes. Em seu trabalho "*A new system for rating impact insulation*" (1976) o autor comparou, tendo por bases a experiência prática, o método usual que utiliza a máquina de impacto para avaliação de ruído estrutural em relação a outras possíveis fontes de ruído de impacto, como o caminhar de pessoas. O pesquisador, ao final de seu trabalho, concluiu que a máquina de impacto proposta pelas diretrizes da ISO é a melhor opção encontrada para a avaliação de ruído de impacto em habitações, uma vez que o método melhor se adéqua à vida cotidiana e ainda ressalta que a adoção de equipamentos capazes de imitar o caminhar de

peças não se faz necessário e é até indesejável, já que ela produziria menores níveis de ruído, podendo inclusive prejudicar os ensaios em situações na qual o ruído de fundo é muito alto. Em 1994, Gerretsen conduziu outra pesquisa cujos resultados serviram de base para a proposta da normalização alemã para ruído de impacto, inclusive fazendo adoção de outras curvas e valores de referência.

Os estudos do pesquisador alemão tiveram grande importância dentro do cenário científico, pois em função deles muito se aprendeu a respeito do método de avaliação e equipamentos utilizados, não apenas restritos à Alemanha, mas contribuindo de modo geral para todos os países. Entretanto, é importante frisar que atualmente as pesquisas sobre o tema ruído de impacto estão se voltando cada vez mais para as especificidades locais, ou seja, focados para a realidade construtiva típica de determinado país e, inclusive, interessadas em questões subjetivas quanto ao grau de incômodo da população com relação ao ruído estrutural. Portanto, é comum, em uma busca sobre o tema de ruído de impacto, retornarem pesquisas que não traduzem a realidade encontrada no nosso país. Em muitos casos percebem-se trabalhos voltados para investigação dos níveis sonoros de impacto obtidos em experimentos em laboratório, sendo que o maior número de estudos tem seu foco na avaliação das possíveis soluções construtivas para o problema, como é o caso dos estudos da transmissão sonora em pisos flutuantes e forros suspensos.

Em Portugal, Patrício (2002) realizou estudo a respeito dos principais tipos de revestimento de piso encontrados na engenharia civil portuguesa. Para tanto, o autor analisou diversas amostras de materiais de enchimento de lajes não homogêneas, nervuradas, de 25 cm de espessura, em duas situações distintas, em laboratório e em três situações *in-situ*. O trabalho consiste, portanto, numa análise a respeito de qual sistema apresenta melhor desempenho acústico para a situação de pisos flutuantes. O autor coloca, ainda, que o sistema português reflete em grande parte a realidade construtiva dos países europeus, a qual se caracteriza, de modo geral, por sistemas leves, compostos predominantemente por madeira. E, de modo esquemático, as amostras eram formadas pelos seguintes materiais: fina camada

de PVC + uma camada de cortiça ou compensado de madeira, em alguns casos seguidas por outra camada de compensado de cortiça ou madeira, + uma camada de PVC.

Na Itália, Buratti e Moretti (2006) fizeram uma investigação a respeito da performance de diferentes materiais usados na composição de pisos flutuantes, a fim de avaliar o nível sonoro de impacto presente entre pisos de apartamentos. Os materiais analisados foram: revestimento em carpete; PVC; aglomerado de cortiça; aglomerado de cortiça e uma camada externa de PVC; borracha reciclada e camada externa de PVC; aglomerado composto de madeira e cortiça; borracha sintética e revestimento externo em carpete com subcamada também em carpete. Os resultados mostraram que é necessário que os pisos flutuantes tenham uma cuidadosa instalação para garantir níveis satisfatórios de isolamento ao ruído de impacto, uma vez que os melhores resultados foram encontrados na situação em carpete, com índice de atenuação ao ruído de impacto de 35 dB, enquanto que os pisos flutuantes em borracha tiveram um nível de atenuação de 14 dB.

Em medições *in-situ* os autores fizeram uma comparação entre a situação de uma laje ainda no contrapiso e outras duas com revestimento em carpete, e os resultados quanto o desempenho de cada tipo é apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Comparação entre medições *in-situ* para L'_{nw} avaliadas na Itália por Buratti e Moretti (2007).

Piso	Nível de impacto normalizado L'_{nw} [dB]
Piso sem revestimento	70
Piso com revestimento em carpete	48
Piso com revestimento em carpete e camada resiliente sob o piso	36

Rindel (2007) fez uma investigação a respeito do nível de ruído de impacto em lajes típicas encontradas na Dinamarca. O autor separou as lajes em três grupos principais, as chamadas lajes pesadas, médias e leves. As construções tidas como pesadas são aquelas que são construídas em concreto, as

médias são formadas pela combinação de concreto e madeira e as leves são aquelas compostas apenas por estruturas de madeira, compensado de madeira e placas de gesso. A média dos valores mostrou uma diferença em torno de 6 dB entre as componentes pesadas e leves, sendo registrado nas lajes pesadas os menores níveis de isolamento traduzindo-se assim num melhor isolamento sonoro e, nos sistemas leves, os maiores níveis, ou seja, um menor isolamento. A dispersão entre os valores encontrados foi muito grande. Por exemplo, o menor nível sonoro de impacto normalizado, L'_{nw} , para uma situação de laje pesada foi de 57 dB enquanto que o maior foi de 69 dB e, para a situação de lajes leves esse nível variou de 45 e 60 dB.

Diversos países estão envolvidos com o assunto de isolamento ao ruído de impacto, não apenas Europa e EUA. Na Coreia, os trabalhos de Yang et al. (2007) e Im e Chung (2007) ilustram esse fato. Em ambos os trabalhos, os pesquisadores investigam soluções para melhorar o nível de isolamento sonoro de impacto entre ambientes, com o objetivo de atingir o nível que a norma local estabelece como aceitável. Vale ressaltar que o sistema construtivo da Coreia se difere de todos os outros sistemas construtivos de lajes de outros países – caracteriza-se por uma laje de concreto maciço de, aproximadamente, 13,5 cm mais uma camada de 'Odol', material usado entre-camadas para piso flutuante com propriedades resilientes, e também de isolante térmico, medindo 11,5 cm de espessura. As pesquisas se voltam numa tentativa de analisar as várias formas de uso do Odol, variando na primeira pesquisa os revestimentos de piso e na segunda a espessura final da laje.

No Japão, Nakamori e Yoshimura (2007) apresentaram um trabalho de avaliação em laboratório do desempenho de vários tipos de pisos flutuantes usados no país. Os autores apontam que, além das vantagens de isolamento acústico, o piso flutuante proporciona outras vantagens, como a possibilidade da instalação de tubulações hidráulicas e elétricas por baixo dos revestimentos de piso, mas ressaltam que a predição da performance desse sistema é complexa em razão das possibilidades que o sistema possui.

Hoda (2006), em seu estudo no laboratório de acústica HBRC – *Housing & Buildings Research Centre* – na cidade de

Cairo, no Egito, teve como objetivo avaliar o nível de atenuação de impacto em uma laje de concreto com diferentes tipos de enchimentos e revestimentos. O estudo de caso proposto era constituído de uma laje de concreto maciço de 12 cm de espessura, com piso cerâmico ou vinílico e sem revestimento algum, com diversos materiais de enchimento, destacando o poliestireno expandido com diferentes espessuras e a espuma com uma fina camada de borracha, em um ou ambos os lados. A situação da laje com revestimento cerâmico de 30 x 30 cm e 5 mm de espessura obteve um L'_{nw} de 70 dB, representando o caso com índice mais alto, ou seja, com o pior desempenho, enquanto que a amostra mais eficiente, com o menor nível, registrou um L'_{nw} de 50 dB, foi a laje com uma dupla camada com o seguinte preenchimento: 1,5 mm de borracha, mais uma camada de lã de vidro, mais 6 mm de poliestireno expandido, novamente a camada de lã de vidro e mais a camada de borracha.

No cenário brasileiro, as pesquisas sobre isolamento de ruído de impacto ainda são incipientes. Até onde seja de conhecimento da autora, não há no país estudo que tenha como foco o diagnóstico da condição de isolamento de sistemas laje/piso no setor residencial da construção civil brasileira. Entretanto, há estudos voltados para as possíveis soluções do problema quanto ao baixo nível de isolamento ao ruído de impacto, seja através de análise em laboratório ou *in-situ* de diversos materiais disponíveis no mercado nacional.

Conrad (2002) fez uma investigação comparativa entre diversos revestimentos para pisos no que diz respeito ao isolamento quanto ao ruído de impacto. Foram ensaiados em laboratório amostras de revestimentos para pisos em borrachas, materiais sintéticos, carpetes em várias espessuras, com e sem uso de base isolante, e piso laminado de madeira, com e sem uso de tapetes. A análise dos resultados obtidos nos ensaios foi feita agrupando-se os materiais com características semelhantes. Foi verificado que os materiais que apresentaram melhores resultados no isolamento ao ruído de impacto nem sempre foram os de maior espessura e sim os mais resilientes. A Tabela 2.2 apresenta o resultado da melhora de isolamento ao ruído de impacto que se obteve com o uso dos revestimentos de piso

ensaiados em relação ao isolamento oferecido por uma laje de concreto armado com 12 cm de espessura.

Tabela 2.2 – Resultado da alteração com relação a uma laje de concreto armado com 12 cm de espessura com a colocação do revestimento de piso avaliados por Conrad (2002).

Revestimento de Pisos	ΔL [dB]
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 com piso flutuante	11,0
Laminado de madeira + piso flutuante + tapete	22,4 a 30,2

Pedroso (2007) avaliou, em laboratório, diversas composições de pisos flutuantes com o objetivo de quantificar e comparar o desempenho de materiais resilientes usados em sua composição, apontando, ainda, a relação custo/benefício. Pelos critérios acústicos, o autor coloca que a lâ de vidro é o material mais eficiente dentre os materiais resilientes pesquisados, com melhor rendimento e, também, com melhor desempenho ao longo do espectro de frequência. Com relação ao aspecto financeiro, o autor coloca que há várias combinações possíveis entre custo de material versus desempenho acústico, que varia de acordo com cada situação em particular. Como exemplo, foi apresentado uma primeira situação com o material *densiflex*, com custo médio de R\$ 7,00/m², que oferecia melhora de 8 dB no isolamento ao impacto, enquanto um segundo material, lâ de vidro, tinha um custo médio de R\$ 14,00/m², mas oferecia uma melhora em torno de 23 dB no isolamento.

Para o grupo dos trabalhos realizados *in-situ* destacam-se os estudos de Ferraz et al. (2007), no qual foi analisado o comportamento acústico do sistema piso flutuante constituído de manta de polietileno, contrapiso e tábua corrida, instalado sobre laje nervurada em cabaça, complementado com forro suspenso em gesso e lâ de vidro sob a laje. Os resultados apontaram um nível sonoro de impacto normalizado ponderado (L'_{nw}) de 51 dB.

Pereyron e Santos (2007) realizaram testes em uma laje nervurada em três estágios de acabamento: laje em “osso”, com

contrapiso sobre material resiliente e, ainda, laje com contrapiso, sobre material resiliente e forro de gesso. Para a primeira situação foi encontrado um L'_{nw} de 61 dB, na segunda, um nível de 64 dB, e, na terceira, 55 dB. É importante ressaltar, ainda, que o descritor usado para quantificar o nível sonoro dos dois trabalhos brasileiros apresentados, e inclusive dos trabalhos de outros países como o da Itália e Dinamarca, não é o mesmo utilizado no presente estudo e nem é o índice adotado como referência pela NBR 15575:2008. Tanto a referida norma quanto os resultados obtidos neste trabalho utilizam o nível sonoro de impacto padronizado ponderado (L'_{nTw}).

Ferraz et al. (2008) apresentaram o desempenho ao ruído de impacto de dois tipos de lajes comumente encontrados no Brasil, com relação aos critérios demandados pela norma brasileira NBR 15575-3:2008 em comparação com os níveis de referência recomendados pela *Federal Housing Administration*, FHA do *United States Department of Housing and Urban Development*, HUD (1974) dos Estados Unidos. Os ensaios propostos pelos autores foram realizados em quartos e tiveram como direcionamento de teste os procedimentos descritos pela ISO 140-7 (1998) e o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, L'_{nTw} , foi calculado segundo procedimentos da ISO 717-2 (1996) e a classe de isolamento de impacto, CII, foi calculada pela ASTM E 989:1989. O primeiro caso de estudo foi uma laje maciça, em concreto armado de 10 cm de espessura cujo nível sonoro de impacto padronizado ponderado, L'_{nTw} , segundo a norma ISO foi de 62 dB e pela ASTM, a CII foi de 48 dB. O segundo caso foi uma laje pré-moldada em estrutura metálica com 8 cm de espessura e o L'_{nTw} , pela ISO, foi de 65 dB e a CII, pela ASTM, foi de 45 dB. Os estudiosos concluíram que há uma grande diferença com relação aos valores de referência previstos pelas duas normas e apontam ainda que há, pelos casos estudados, uma maior coerência com relação aos valores que seguiram a norma americana.

Atualmente alguns estudos apontam seus interesses em avaliar a eficiência de novos materiais aplicáveis em pisos flutuantes. Carvalho et al. (2008) testaram o emprego de resíduo de pneu como material resiliente, apostando aí, além das

propriedades físicas do material, o fator econômico e ecológico que o produto possui. O estudo comparou o isolamento sonoro obtido com o uso do resíduo de pneu com o obtido com lã de vidro, mantas de borracha e de poliestireno. Os resultados mostraram um comportamento semelhante entre os resíduos de pneu e a lã de vidro, obtendo portanto, um bom resultado quanto ao seu desempenho acústico.

2.5 Efeito de Revestimento de Piso no Isolamento

Os revestimentos de piso, entendidos no presente trabalho como um sistema complementar à laje estrutural dos edifícios, contribuem significativamente na transmissão de sons de impacto (PATRÍCIO, 2008).

O índice de redução de impacto sonoro em situações com revestimento é expresso através da diferença entre os valores de índice de isolamento sonoro de impacto em uma situação da laje com o contrapiso e de uma outra situação com revestimento. O tempo de impacto é fortemente relacionado com as características elásticas dos materiais de revestimento, principalmente em baixas frequências (PATRÍCIO, 2002). Conrad (2002) ilustra este pensamento quando compara um piso duro, por exemplo, que se deforma pouco com o impacto e, por outro lado, um piso deformável, no qual o amortecimento e o tempo de transmissão são maiores, sendo portanto, menor a amplitude da força de contato.

A resposta sonora em ambos os pisos é muito distinta, pois no primeiro caso se produz um som de alta frequência e no segundo o som se reduz para as baixas frequências.

A força de impacto produzida em uma laje de concreto e de uma outra batida numa situação com revestimento pode ser vista na Figura 2.5. Por esta figura, Patrício e Piedade (2000) concluíram que as propriedades elásticas do revestimento do piso fazem aumentar a duração do impacto e, como consequência, há a diminuição da força total transmitida.

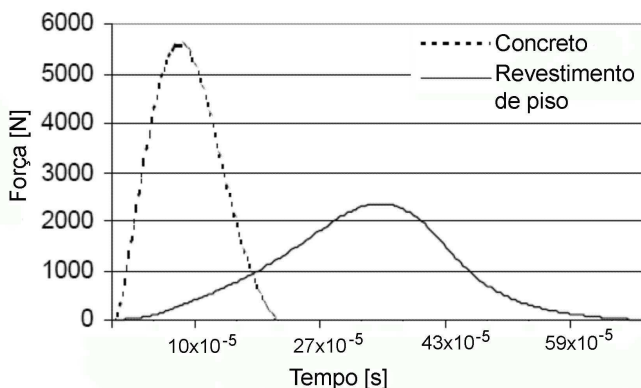


Figura 2.5 – Força transmitida e o tempo de duração de uma batida em uma superfície rígida (concreto) e uma superfície com revestimento.
 Fonte adaptado: Patrício e Piedade (2000)

Os autores ainda fazem uma comparação entre força efetiva transmitida por um martelo da máquina de impacto em uma situação de laje no contrapiso e em outra com a laje já com revestimento, como pode ser visto na Figura 2.6.

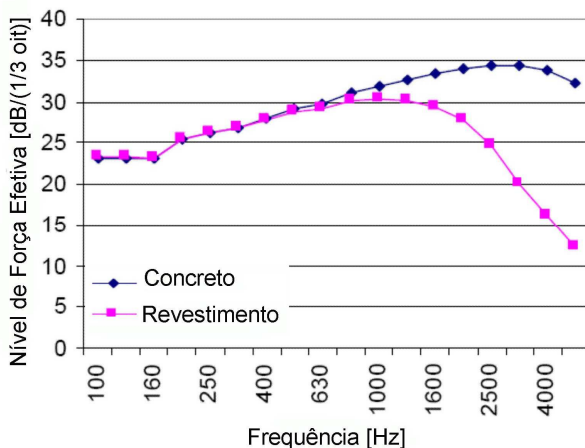


Figura 2.6 – Força transmitida pela *tapping machine* sobre uma mesma laje de concreto com e sem revestimento.
 Fonte adaptado: Patrício e Piedade (2000)

É importante apontar que a energia transmitida em ambos os casos é a mesma, pois as características físicas e dinâmicas do processo da queda dos martelos não mudam, isto é, o martelo é o mesmo e a altura com que ele cai também é a mesma. Entretanto, é possível perceber comportamentos distintos nas faixas de frequência para ambos os casos: verifica-se nas frequências mais baixas uma grande similaridade para ambas as curvas de força transmitida e nas altas frequências, percebe-se uma menor força transmitida quando o piso tem revestimento.

Entretanto, Patrício (2002) aponta que a o índice de redução sonora de impacto para um mesmo revestimento sobre uma mesma laje se mostra diferente, tanto quando comparados os valores em laboratório versus situação *in-situ*, como também entre diferentes situações *in-situ*. Esse problema é sobretudo maior em situações em lajes não homogêneas. Isso pode ser justificado devido ao fato de que os níveis de impacto ponderado, L'_{nw} e L'_{nTw} , são, fundamentalmente, influenciado pelas curvas de ponderação propostas pela ISO 717-2 (1996), o que infalivelmente sofre variação ao longo da faixa de frequência. Isso pode causar muitos problemas em configurações reais, pois um mesmo tipo de revestimento, utilizado em dois casos distintos, pode apresentar níveis diferentes e, conseqüentemente, diferentes possibilidades de avaliação – um nível, por exemplo, pode estar dentro da regulamentação existente enquanto que o outro pode estar em desacordo. Essa diferença aparece com um certo grau de preocupação principalmente para os projetistas e ocupantes, que esperam valores similares de redução sonora de impacto quando se trata do mesmo tipo de material de revestimento.

Mateus e Santos (2008) reforçam essa idéia quando afirmam que é freqüente obter resultados de nível sonoro de impacto padronizado ponderado, L'_{nTw} , *in-situ* significativamente diferentes para situações aparentemente análogas, não sendo possível, portanto, chegar a um modelo de previsão que conduza sempre a um mesmo resultado.

2.6 Sistemas Estruturais

A construção civil é hoje um dos principais setores da economia brasileira e exige preocupação cada vez maior por parte dos pesquisadores, dada sua importância dentro da realidade social do país (NAPPI, 1993). Vale ressaltar que, normalmente, as inovações estão cada vez mais voltadas para os novos aspectos da construção, dando, por conseguinte, pouca ênfase aos processos convencionais, embora ainda seja comum a existência de dúvidas quanto ao uso de determinados elementos da construção. Isso fica evidente quando o autor relata que um desses problemas está localizado na etapa de definição quanto ao sistema estrutural do edifício, na qual o projetista ou proprietário, na inexistência de informações mais precisas, escolhe um tipo de laje para a sua construção que pode não ser a mais indicada para as suas reais necessidades.

Giongo (2007) explicita que a decisão de se projetar a parte estrutural de um edifício, em muitos casos, é determinada pela facilidade no local de se encontrar os materiais e equipamentos necessários para a sua construção, além da capacidade do meio técnico para desenvolver o projeto do edifício. Nappi (1993) analisa que a ausência de subsídios que pudessem formar critérios de seleção para as várias alternativas disponíveis é o ponto fundamental da questão. Em diversas ocasiões, a escolha é baseada na informação de amigos, fabricantes ou até mesmo profissionais do setor, que justificam a sua indicação através de parâmetros, por vezes, empíricos, errôneos ou incompletos.

2.6.1 Definição de lajes em concreto

Segundo Bastos (2005), as lajes são partes elementares dos sistemas estruturais dos edifícios, sendo ainda classificadas como planos bidimensionais, nas quais duas dimensões, comprimento e largura, são da mesma ordem de grandeza e bem maiores que a terceira dimensão, a espessura. Em função dessa característica as lajes são consideradas como elementos de superfície ou placas. A ABNT 6118:2003 faz a seguinte definição para as lajes: *“Elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de*

concreto são usualmente denominadas lajes. Placas com espessura 1/3 do vão devem ser estudadas como placas espessas”. Giongo (2007) define ainda que as lajes são os elementos dentro de uma construção responsáveis por receber as ações verticais, permanentes ou acidentais, atuantes nas estruturas dos pavimentos. O mesmo autor salienta que, nas estruturas usuais, as lajes representam, do conjunto total da edificação, um consumo de concreto da ordem de 50% do volume total.

Atualmente as lajes podem ser calculadas e executadas de várias formas e com diferentes materiais. Essa variabilidade de materiais permite inúmeras alternativas construtivas, com resultados tanto estruturais quanto econômicos.

De um modo geral, há três formas de se fabricarem as lajes em concreto armado, a saber:

- a) Lajes feitas inteiramente na obra, ou seja, a armadura é montada e o concreto é lançado no próprio local da obra;
- b) Lajes semi-pré-fabricadas, nas quais o elemento resistente à tração, a armadura, é executado em fábricas e o concreto, que irá resistir à compressão, é lançado no próprio local;
- c) Lajes completamente pré-fabricadas, onde todo o elemento estrutural é confeccionado na indústria e colocado, posteriormente, na obra.

2.6.2 Tipos de lajes

Laje Maciça

Lajes maciças são aquelas lajes constituídas de peças de concreto armado, com aparência semelhante a um material monolítico. Elas ainda são caracterizadas por apresentar, em toda a sua extensão, uma espessura constante e, segundo a NBR 6118:2003, essa espessura deve ser maior que 5 cm para as lajes de cobertura não em balanço, 7 cm para as lajes de piso e em balanço e 12 cm para as lajes destinadas à passagem de veículos.

Laje Nervuradas

As lajes nervuradas surgiram como uma solução técnica na qual há a substituição do concreto das lajes maciças nos locais em que o mesmo não seja solicitado a esforço (NAPPI, 1993). Nessas áreas é possível a colocação de materiais de menor resistência e densidade como forma de redução de peso e custo. Com isso há necessidade de uma laje mais espessa, fazendo com que a sua espessura seja descontínua em duas partes principais: pelas nervuras distribuídas nas duas direções e por uma mesa ligando as nervuras (GIONGO, 2007). Quanto ao aspecto construtivo, portanto, esse tipo de laje tem como particularidade a existência de nervuras inferiores que dão sustentação à mesa.

Lajes Pré-Moldadas

As lajes pré-moldadas são na verdade um tipo de laje nervurada, tendo as nervuras em uma única direção. Elas caracterizam-se por possuírem vigotas pré-moldadas de concreto armado, nos quais se apóiam blocos de cerâmica ou de concreto. Esses elementos são manufaturados em fábricas e transportados, após a sua cura, para a obra.

Segundo Bastos(2005) ela pode ser ainda classificada como:

- Laje pré-moldada unidirecional: constituída por nervuras principais longitudinais, dispostas em uma única direção. Podem ser empregadas algumas nervuras transversais, perpendiculares às nervuras principais;
- Laje pré-moldada bidirecional: constituída por nervuras principais nas duas direções;
- Pré-laje: são placas com espessura de 3 cm a 5 cm e largura padronizada, constituídas de concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura, ou mesmo no canteiro de obra. Elas podem ser unidirecionais ou bidirecionais, e as placas podem ser de concreto armado ou protendido.

É importante apontar que as lajes pré-moldadas podem ser em concreto armado ou em concreto protendido. Protensão é o processo no qual são aplicadas tensões prévias ao aço. A idéia da protensão, também comumente chamada de pré-tensão, é muito antiga e consiste basicamente em fornecer a um elemento estrutural, esforços iniciais contrários àqueles que surgirão com a aplicação de carga com o propósito principal de impedir e/ou limitar a fissuração do concreto.

Neste trabalho os resultados serão apresentados através de símbolos alfa numéricos, para preservar a identidade dos edifícios e construtoras envolvidas no estudo. Assim as amostras foram identificadas em 4 categorias definidas pelo tipo de laje:

- NV - laje nervurada,
- MC - laje maciça,
- PM - laje pré-moldada,
- PP - laje pré-moldada protendida.

3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE ISOLAMENTO DE IMPACTO

3.1 Introdução

Ao se projetar uma edificação, deve-se levar em conta a qualidade acústica do ambiente, os aspectos técnicos, os atributos subjetivos e as funções ali desenvolvidas. O respaldo técnico para os projetos são as normas. Elas sugerem padrões, modelos e parâmetros de desempenho e conforto que as edificações devem ter, de modo a garantir a segurança e a salubridade de seus usuários. A normalização é importante para gerar referenciais de qualidade, no momento em que a maioria dos usuários não tem o conhecimento técnico necessário para a avaliação do produto habitacional, e a obrigatoriedade de seu cumprimento é dada pela legislação em qualquer esfera de poder.

Um importante aspecto inerente ao assunto de normas é a padronização de procedimentos de medição, desde o uso e manejo de equipamentos e *softwares*, número mínimo de leituras e condições físico-construtivas dos locais de ensaio. As normas fornecem procedimentos bem definidos para que as medições sejam reproduzíveis e exatas.

Neste Capítulo será apresenatdo as principais normas, nacional e internacional, referente ao assunto isolamento sonoro de impacto, bem como será detalhado os métodos de ensaio *in-situ*, o *setup* das medições e os parâmetros a serem mensurados.

3.2 Normas Internacionais

Com relação às normas internacionais de isolamento sonoro, há três conjuntos de normas que tratam de isolamento de ruído de impacto: ISO 140-6(1998), ISO 140-7(1998), ISO 140-8(1998), ISO 717-2(1996) e ISO 15712-2(2005), como descritos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Principais conjuntos de norma para isolamento sonoro.

NORMAS	ANO	TÍTULO
Conjunto ISO 140		Medição do isolamento sonoro em edificações e elementos construtivos
ISO 140 – 1	1997	Medições em laboratório sem transmissão por flancos
ISO 140 – 2	1993	Precisão na determinação, verificação e aplicação dos dados obtidos
ISO 140 – 3	1995	Medições em laboratório do isolamento de ruído aéreo em elementos construtivos
ISO 140 – 4	1998	Medições em campo de isolamento de ruído aéreo entre sal
ISO 140 – 5	1998	Medições em campo de isolamento de ruído aéreo de fachadas ou elementos de fachadas.
ISO 140 – 6	1998	Medições em laboratório para isolamento de ruído de impacto de pisos
ISO 140 – 7	1998	Medições em campo para isolamento de ruído de impacto de pisos
ISO 140 – 8	1997	Piso padrão para medições em laboratórios de isolamento do ruído de impacto em pisos
ISO 140 – 9	1985	Medições em laboratório de isolamento de ruído aéreo em tetos
ISO 140 – 10	1991	Medições em laboratório de isolamento de ruído aéreo de pequenos elementos construtivos
ISO 140 – 12	2000	Medições em laboratório de isolamento de ruído aéreo e de impacto em salas sobrepostas separadas por um piso
ISO 140 – 13	1997	Diretrizes gerais
Conjunto ISO 717		Número único a partir do desempenho acústico de edificações e de seus elementos
ISO 717 –1	1996	Isolamento de ruído aéreo
ISO 717 – 2	1996	Isolamento de ruído de impacto
Conjunto ISO 15712		Estimativa do desempenho acústico de edificações a partir do desempenho de seus elementos.
ISO 15712 –1	2005	Isolamento de ruído aéreo
ISO 15712 –2	2005	Isolamento de ruído de impacto
ISO 15712 –3	2005	Isolamento de fachadas
ISO 15712 –4	2005	Radiação sonora de fachadas

Rasmussen (2004) reuniu os níveis de isolamento sonoro de impacto requerido para 24 países da Europa, apresentados na Tabela 3.2. A autora salienta que os requerimentos para o isolamento sonoro entre os países se diferenciam principalmente em termos de descritores, intervalo de frequência e, ainda, nível adotado.

Sheridan e Maluski (2000) compararam os principais parâmetros, níveis, critérios e métodos de avaliação para a qualidade acústica na França, Noruega, Suécia, Holanda, Alemanha, Suíça, Itália e Reino Unido. A conclusão é que não há uma uniformidade nas diretrizes quanto à qualidade acústica dos edifícios residenciais europeus e, como afirmam os pesquisadores, é necessário muito trabalho para estabelecer essa uniformidade.

As normas européias que compõem a Tabela 3.2 tratam do isolamento acústico, que é o principal indicativo para o conforto acústico das habitações. A recente publicação da NBR 15575:2008 apresenta-se, nesse cenário, como uma importante iniciativa brasileira com relação à adoção de uma legislação própria que avalia o desempenho de edificações.

Até bem pouco tempo o Brasil só contava com duas diretrizes, a saber: a NBR 10152:1987 – Níveis de ruído para conforto acústico e a NBR 10151:2000 – Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando conforto da comunidade. É importante destacar que essas duas normas não estabeleciam níveis mínimos de isolamento sonoro dentro de unidades habitacionais. Em contrapartida, esse critério é contemplado há décadas pelos países europeus. Na Inglaterra, a partir dos anos 80, determinadas construções tiveram suas licenças concedidas apenas mediante aprovação em testes realizados, que foram se aprimorando com o desenvolvimento e aquisição de aparelhos portáteis para realização das medições. A fiscalização provou ser o maior incentivo para a melhoria do isolamento sonoro, ajudando a diminuir o problema de barulho entre vizinhos (REYNOLDS, 1981).

Tabela 3.2 – Isolamento sonoro mínimo em normas de países europeus.

EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS			
País	Indicador	Ruído de impacto	
		Req (dB) ≤	Eq. L'nw (dB)
Dinamarca	L'n,w	58	58
Noruega	L'n,w	53	53
Suécia	L'n,w+C _{i,50-2500}	56	~56
Finlândia	L'n,w+C _{i,50-2500}	53	53
Islândia	L'n,w	58	58
Alemanha	L'n,w	53	53
Reino Unido	L'nT,w	62	~64-57
França	L'nT,w	58	~60-53
Suíça	L'nT,w+C _i	50	~52-45
Áustria	L'nT,w	48	~50-43
Holanda	Ico	≥+5	~61-54
Bélgica	L'nT,w	58	~60-53
Itália	L'n,w	63	63
Espanha	L'nT,w	65	~67-60
Portugal	L'n,w	60	60
Polónia	L'n,w	58	58
Rep. Tcheca	L'n,w	58	58
Eslováquia	L'n,w	58	58
Hungria	L'n,w	55	55
Eslovênia	L'n,w	58	58
Estônia	L'n,w	53	53
Latvia	L'n,w	54	54
Lituânia	L'n,w	53	53
Rússia	ly	67	60

Fonte: Rasmussen, 2004

3.3 Norma Nacional

No Brasil, a ABNT publicou em 12/05/2008, com validade a partir de 12/05/2010, a NBR 15575, um conjunto de normas que tem por objetivo estabelecer os requisitos e os critérios de desempenho que se aplicam aos edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Esse conjunto de normas apresenta-se dividido em seis requisitos: gerais, sistemas estruturais, pisos internos, sistemas de vedação verticais externas e internas, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários.

Na *Parte 3 – Requisitos para sistemas de pisos internos*, há considerações a respeito de ruído de impacto. Essa normativa estabelece que o piso da habitação deve proporcionar isolamento acústico adequado entre as unidades habitacionais, bem como entre as dependências de uma mesma unidade, quando destinadas ao repouso, ao lazer e à atividade intelectual. Para a avaliação do isolamento estrutural, a norma brasileira baseia-se em procedimentos metodológicos de medição de acordo com as normas ISO, seguindo preferencialmente o método da ISO 140-7 (1998), que estabelece os procedimentos de medição de isolamento sonoro *in-situ* em lajes. Quanto aos níveis de desempenho, a NBR 15575-1:2008 define três categorias de desempenho: mínimo, intermediário e superior, conforme a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Nível sonoro de impacto ponderado para medições *in-situ*.

Elemento	L'nTw [dB]	Nível de Desempenho
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, sem tratamento acústico	66 a 80	M (Mínimo)
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico	56 a 65	I (Intermediário)
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico especial	≤ 55	S (Superior)

Fonte adaptado: NBR 15575-3:2008

A norma brasileira salienta que os valores mínimos correspondem a dados representativos de ensaios realizados em edifícios habitacionais brasileiros, em lajes maciças de concreto armado, sem acabamento superficial, com espessura entre 10 e 12 cm. Aponta, ainda, que na prática, os valores encontrados podem ser menores pela colocação de acabamentos como carpetes, tacos ou assoalhos de madeira.

3.4 Método de Medição In-situ

O ensaio para a determinação do nível sonoro de impacto utiliza dois ambientes distintos. O ambiente no qual está a fonte sonora é denominada sala da fonte e a sala onde o som é percebido é denominada sala da recepção. A Figura 3.1 mostra, de forma simplificada, o esquema da medição de nível sonoro de impacto.

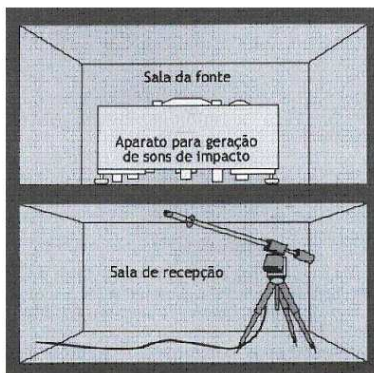


Figura 3.1 – Esquema de ensaio do nível de isolamento de ruído impacto.
Fonte: Brüel & Kjær, 1988

O ensaio consiste basicamente em excitar a laje na sala da fonte com um aparato normalizado denominado máquina de impacto, do inglês *tapping machine*. Ela é composta por cinco pequenos martelinhos de 0,5 kg cada um, que são liberados em queda livre de uma altura de 4 cm, a uma taxa de dez impactos por segundo. O efeito dessa excitação mecânica no piso é bem maior do que o efeito de pisadas, mas esse recurso é extremamente necessário para se obter um nível de pressão

sonora de impacto adequado na sala de recepção (BRÜEL & KJÆR, 1988). A Figura 3.2 mostra a máquina de impacto, modelo 3207 da marca Brüel & Kjær, adquirida utilizada nesta investigação.

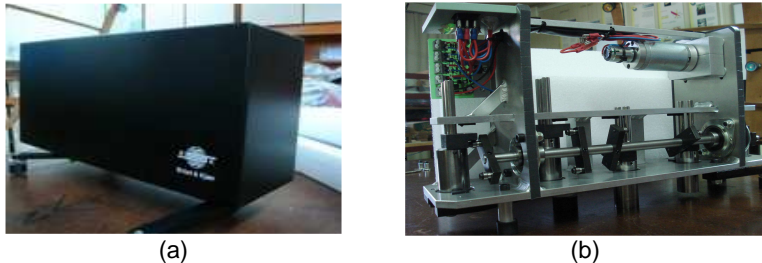


Figura 3.2 – Máquina de impacto, marca Brüel & Kjær, modelo 3207. Em (a) vista externa da máquina de impacto e em (b) a vista interna. Fonte: foto do autor.

As medições *in-situ* para isolamento de ruído de impacto seguem as determinações da ISO 140-7 (1998), que estabelece definições, formulações matemáticas, equipamentos necessários, procedimentos básicos para medição e avaliação. Os equipamentos utilizados nas medições *in-situ* de isolamento de ruído de impacto são descritos a seguir. Todos os equipamentos e softwares utilizados são da marca Brüel & Kjær e estão ilustrados na Figura 3.3.

- Medidor de nível de pressão sonora - *Investigator 2260 D* (incluindo *software Building Acoustics BZ 7204*),
- Amplificador de potência – *Power Amplifier 2716*,
- Fonte omnidirecional – *Omni Power Sound Source 4296*,
- Máquina de impacto – *Tapping Machine 3207*,
- *Software Qualifier 7830*.

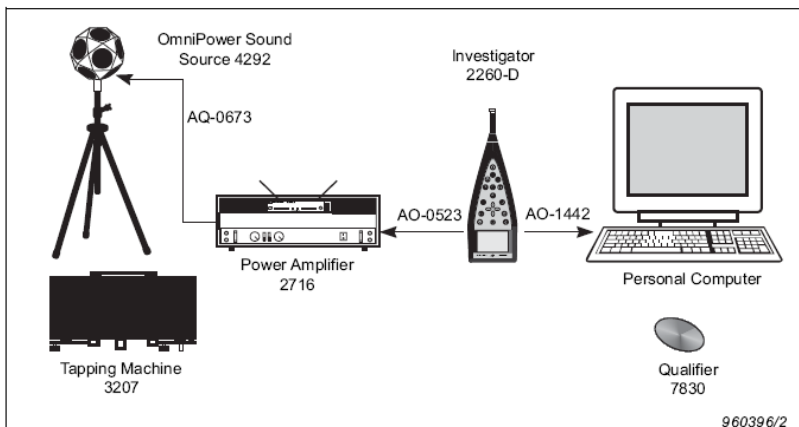


Figura 3.3 – Equipamentos e *software* utilizados na medição de isolamento de impacto.
 Fonte: Brüel & Kjær, 2006.

De acordo com a ISO 140-7 (1998), o ruído de impacto deve ser gerado em pelo menos 4 diferentes posições, aleatoriamente distribuídas no piso em teste. A distância da máquina de ruído para as extremidades do recinto deve ser de, no mínimo, 0,50 m. As posições do microfone no pavimento inferior devem manter distâncias mínimas de 0,70 m entre si, 0,50 m entre qualquer posição do microfone e superfícies do recinto e 1,0 m entre qualquer posição do microfone e o piso superior que está sendo excitado pela máquina de ruído. Um mínimo de 4 posições de microfone devem ser utilizadas, distribuídas uniformemente dentro do ambiente de medição. O número mínimo de leituras totais usando posições fixas de microfone é 6, e uma combinação de pelo menos 4 posições de microfone com pelo menos 4 posições de máquina de ruído deve ser utilizada. Para os cálculos de isolamento sonoro de impacto, deve ser considerada a média dos níveis sonoros medidos durante o ensaio (Gerretsen, 1986).

3.5 Universo de Amostras Avaliadas

Dentro dos possíveis ambientes dos apartamentos, o quarto foi o escolhido como ideal para a realização do estudo por dois motivos principais: (i) de um modo geral, a área dos quartos em apartamentos segue um padrão estabelecido, com dimensões que variam de 9 m² a 16 m² e pé-direito entre 2,50 m e 2,70 m, sendo assim, elemento comum a todas as amostras e (ii) por critérios subjetivos, o quarto é considerado, pela maioria das pessoas, como um local de repouso (quarto de dormir) e/ou trabalho intelectual (escritório), no qual os moradores percebem, com maior clareza, o ruído produzido pelos vizinhos.

Ao todo foram realizadas 32 medições, sendo que, desse universo, 30 ensaios foram validados para o estudo e 2 foram descartados por não se encaixarem dentro da proposta inicial de investigação – o primeiro apresentava laje dupla, fugindo da situação padrão encontrada na maioria das lajes residenciais, e o segundo caso foi desconsiderado pois o ambiente de recepção não se configurava como um quarto pois estavam integradas, sem separação física, quarto, sala e cozinha.

Entretanto, é importante salientar que os dois casos descartados tiveram grande relevância na pesquisa, pois foram os primeiros ensaios realizados em apartamentos reais, servindo como “medições-testes” para familiarização e treinamento da equipe de medição com equipamentos com relação às situações reais de uso e possíveis incômodos causados aos outros moradores do edifício.

Para formar o universo de amostras foi necessário entrar em contato com dois agentes principais – com os síndicos dos prédios e com as construtoras da cidade. O contato com ambos foi feito inicialmente através de cartas, nas quais era apresentado de forma resumida, o tema do trabalho e o ensaio proposto, sendo feito assim, o pedido para realizar a medição em dois apartamentos dos edifícios. Em ambos os casos, era informado que o grupo de trabalho possuía todos os equipamentos necessários para a realização do ensaio, que tanto os dados coletados quanto o nome dos edifícios e respectivas construtoras seriam sigilosos, ou seja, os prédios seriam apenas identificados através de símbolos alfa-numéricos, e, por fim, informado que o

tempo total para cada ensaio era de, no máximo, 2 horas. É importante destacar que as medições ocorreram em dias de semana e em horário comercial, numa tentativa de minimizar os transtornos causados pelo ensaio em si, que pode ser muito ruidoso.

Os apartamentos disponíveis pelas construtoras eram, na sua grande maioria, recém acabados ou em fase final da obra, não sendo, portanto, mobiliados. Em alguns casos, a medição ocorreu em apartamentos modelo, isto é, apartamentos decorados pelas construtoras com o intuito de mostrar a futuros compradores o apartamento acabado e com móveis. Nesses casos, um dos quartos do apartamento modelo era escolhido como a sala de recepção e a máquina de impacto era colocada na laje sobre o referido quarto.

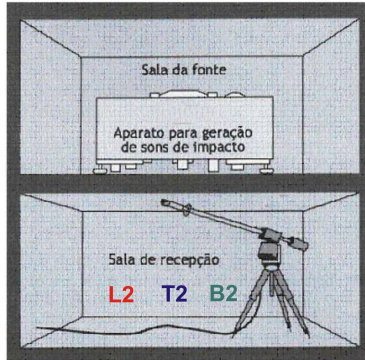
A seguir serão detalhados os procedimentos metodológicos realizados na medição.

3.6 Parâmetros Medidos

Em um ensaio de isolamento sonoro ao ruído de impacto são feitos três tipos de leituras na sala de recepção, assim descritos:

- Nível sonoro de ruído de impacto - L2;
- Nível sonoro de ruído de fundo - B2;
- Tempo de reverberação na sala de recepção - T2.

As leituras de ruído de fundo e tempo de reverberação são medidas de correção, de modo que seja possível avaliar corretamente o nível de isolamento estrutural da laje em questão, sem interferências do ruído externo e das características sonoras internas particulares de cada ambiente em questão. De forma esquemática, a medição é ilustrada na Figura 3.4.



L2 - NÍVEL SONORO DE IMPACTO
T2 - TEMPO DE REVERBERAÇÃO
B2 - RÚIDO DE FUNDO

Figura 3.4 – Figura já apresentada agora evidenciando os parâmetros medidos.

Fonte adaptado: Brüel & Kjær, 1999.

Em cada medição, a excitação foi aplicada a partir de 4 posições de máquina de impacto, distribuídas aleatoriamente no piso da sala da fonte, respeitando-se sempre a distância mínima de 0,5 m entre o equipamento e as paredes internas do ambiente. A máquina de impacto foi posicionada a 45° com relação às paredes da sala, no intuito de evitar que a excitação mecânica dos martelos do equipamento se desse em cima de uma eventual viga existente na laje em questão, conforme recomendado pela norma ISO 140-7 (1998), e ilustrada na Figura 3.5.



(a) apartamento NV-01



(b) apartamento NV-12

Figura 3.5 – Exemplos de como foi feita colocação da máquina de impacto na sala da fonte.

Fonte: Fotos do autor

3.6.1 Medição do nível sonoro de impacto / L2

Para a obtenção dos níveis de pressão sonora de impacto foi utilizado o medidor de nível de pressão sonora, *Investigator* 2260 D, movido entre posição pré-determinadas, com as janelas e portas fechadas. A ISO 140-7 (1998) estabelece 4 posições de microfone no mínimo. No presente estudo adotaram-se 5 posições de microfone, escolhidas de forma aleatória dentro do ambiente de recepção, mas de acordo com as distâncias mínimas recomendadas pela norma.

É importante destacar que a cada mudança de posição do medidor, a altura do microfone também era modificada, com a intenção de se fazer as leituras dos níveis sonoros de maneira mais bem distribuída no ambiente, respeitadas as distâncias estabelecida em norma. A altura de leitura do microfone variou de 1,15 m a 1,45 m, em função da altura do tripé onde era fixado o medidor.

As medições de nível sonoro de ruído de impacto foram registradas em bandas de 1/3 de oitavas, entre as frequências de 100 Hz a 10 kHz, sendo que a faixa mínima recomendada pela norma é de 100 Hz a 3,15 kHz. Optou-se neste trabalho por aumentar a faixa de frequência de leitura dos níveis sonoros para que se tenha maior conhecimento do comportamento das lajes ainda nas médias e altas frequências. Em cada ensaio realizado foram feitas 20 leituras de nível sonoro de ruído de impacto, L2, a partir de 4 posições de máquina de impacto na sala da fonte e 5 posições de microfone na sala de recepção. Pela ISO 140-7 (1998), o tempo mínimo de aquisição dos níveis sonoros de ruído de impacto para cada posição de microfone é de 6 s, sendo adotado neste trabalho um tempo de média de 12 s.

3.6.2 Medição do nível de ruído de fundo / B2

Para o registro do nível de ruído de fundo, B2, apenas o medidor de nível de pressão sonora *Investigator* 2260 D foi utilizado. O nível ambiente foi captado sem a presença de nenhum equipamento gerador de ruído, apenas o ruído de fundo normal à edificação, como mostra a Figura 3.6. O tempo de aquisição do valor de B2 também foi de 12s.



(a) apartamento PP-03



(b) apartamento PM-01

Figura 3.6 – Exemplos de como foi feito a medição de L2.

Fonte: Foto do autor

Como já apresentado, a leitura dos níveis sonoros de ruído de fundo é um fator de correção indispensável nos cálculos do nível de ruído de impacto, principalmente em situações *in-situ*, uma vez que ele elimina a influência de ruídos externos existentes. Dada a devida importância que essa medição tem no cálculo final, é fundamental dizer que nos ensaios feitos no presente trabalho a medição dos níveis de ruído de fundo acontecia de maneira intercalada com a medição dos níveis sonoros de impacto, numa tentativa de obter valores finais mais representativos. Para explicar melhor esse ponto, é interessante ilustrar com exemplos. Imagina-se uma medição hipotética 1 ocorrida no período da tarde, num quarto com fachada voltada para uma via de tráfego intenso, na qual a medição de ruído de fundo aconteceu por volta das 16 h e a medição de níveis de ruído de impacto por volta das 18 h. As leituras dos níveis de L2 ocorreram em um horário no qual, possivelmente, os ruídos advindos do tráfego externo foram detectados em conjunto com os níveis advindos da máquina de impacto. Nesse caso, como a leitura dos níveis de B2 foram num horário em que provavelmente o ruído do trânsito não foi significativo, o fator de correção não foi adequadamente realizado, uma vez que o real ruído que interferiu na leitura de L2 não foi computado. Numa

situação 2, imagina-se o mesmo quarto voltado para a mesma via de tráfego intenso, porém com a medição de impacto ocorrendo às 15 h, mas de modo intercalado com a leitura dos níveis de ruído de fundo, ou às 18 h também com B2 e L2 sendo medidos de maneira intercalada. Em ambas as situações do segundo exemplo, o fator de correção será de fato efetivo, uma vez que a leitura de seus níveis ocorreu quase que ao mesmo tempo com que eram feitas as leituras dos níveis advindos da laje.

Ao todo foram realizadas 10 leituras para o nível de ruído de fundo, sendo que as 5 primeiras leituras aconteceram no intervalo entre uma medição de níveis de ruído de impacto e as outras 5 finais após o término de todas as leituras de L2. É importante ainda ressaltar que os pontos de leitura de B2 são os mesmos pontos de leitura já marcados para L2.

3.6.3 Tempo de reverberação / T2

Tempo de reverberação é o parâmetro que caracteriza acusticamente um ambiente, associados aos conceitos de crescimento e decaimento sonoro. Quando uma fonte de ruído é acionada em uma sala, a pressão sonora medida em um determinado ponto crescerá na razão de uma série de pequenos incrementos, relativos às reflexões advindas das superfícies presentes no ambiente, até atingir um estado de equilíbrio no qual a energia sonora absorvida pelas superfícies é igual a energia irradiada pela fonte sonora.

Quando a fonte sonora for abruptamente desligada, a intensidade sonora existente na sala não desaparecerá de repente, e sim decrescerá gradualmente, com a razão desse decaimento ditada pela quantidade e posição do material absorvente existente na sala. Essa permanência, esse “continuar” do som, é chamado de reverberação. Kuttruff (1979) define o parâmetro como o tempo consumido para que o nível de pressão sonora dentro de uma sala decaia 60 dB após desligada a fonte sonora. O TR é função das características da sala, e pode ser descrita pela equação de Sabine a seguir:

$$TR = \frac{0,161 \cdot V}{A} [s] \quad (4)$$

sendo V o volume da sala em m^3 e A a área de absorção total em m^2 Sabins.

Nos ensaios deste trabalho a medição do tempo de reverberação foi feita na sala de recepção, usando para isso a fonte omnidirecional, o amplificador de potência e o medidor de nível de pressão sonora 2260 D, como pode ser visto na Figura 3.7.



(a) apartamento NV-06



(b) apartamento NV-10

Figura 3.7 – Exemplos de como foi feita a medição de T2.

Fonte: foto do autor

Os procedimentos *in-situ* foram baseados nas diretrizes da norma ISO 3382 (1997), consistindo de 2 posições de fonte sonora, a primeira a uma altura de 1,70 m e a outra a 1,50 m, ambas emitindo ruído rosa. Para cada posição de fonte sonora foi feita a leitura em 3 pontos distintos na sala, num total de 6 leituras ao todo de T2. Para este ensaio foi usada a técnica de ruído interrompido, com 3 decaimentos sucessivos para cada posição de microfone e com um tempo de decaimento de 4 segundos.

Da mesma forma como acontece com a determinação dos níveis de ruído de fundo, a medição do tempo de reverberação também é realizada para fins de correção pois é desconsiderado, no resultado final, as características particulares de cada ensaio analisado. Isso pode ser facilmente explicado quando analisa-se dois ambientes distintos, um com móveis e outro sem. É possível

identificar, nesses dois exemplos, o quão diferente é o comportamento acústico de um ambiente com elementos reflexivos e de um outro com materiais potencialmente absorvedores, no caso o mobiliário. Em função disso, essa diferença não pode exercer influência nos cálculos finais dos níveis sonoros de impacto. Dessa maneira, entende-se que as características acústicas internas de cada quarto ensaiado não exercem interferência nos cálculos dos níveis sonoros finais.

4 RESULTADOS

4.1 Tipos de Lajes

Como já dito anteriormente no Capítulo 3, foram selecionados 30 edifícios residenciais da cidade de Florianópolis e, como resultado desse levantamento, foi verificado que quase a metade deles, ou seja, 14 unidades, eram constituídos de lajes nervuradas, representando 46% das amostras, enquanto que as lajes maciças e pré-moldadas tiveram o mesmo número de ocorrência, 8 cada uma, num total de 27% do total de amostras. Dentro dessa análise, os apartamentos com laje pré-moldada pretendida foram considerados dentro do universo das lajes pré-moldadas, por entender que a primeira é uma variação desta última e não um outro tipo de laje.

A Figura 4.1 mostra um gráfico com a distribuição dos tipos de laje observados.

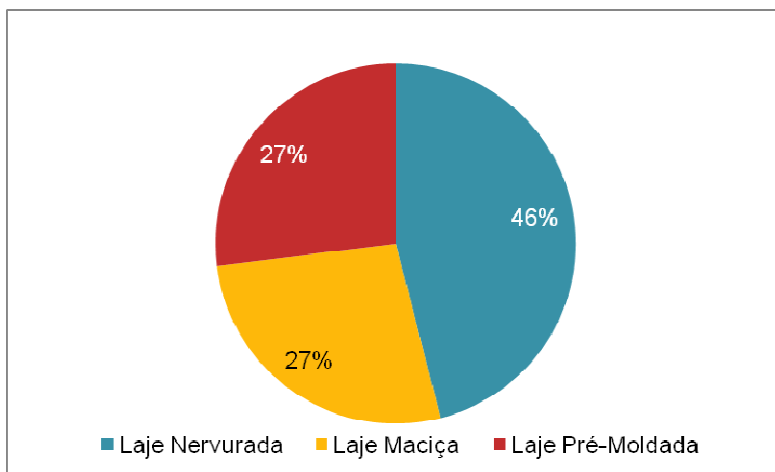


Figura 4.1 – Porcentagem dos tipos de lajes encontradas nos edifícios avaliados.

4.2 Revestimento de Piso

Nos apartamentos ensaiados foram encontrados quatro diferentes tipos de revestimento de piso, a saber: (1) revestimento cerâmico, aí incluindo a cerâmica em si e o porcelanato; (2) laminado de madeira; (3) carpete; e (4) laje ainda no contrapiso. É interessante colocar que a maioria dos casos, 57% era de revestimento cerâmico, seguidos dos laminados de madeira, com 23% dos casos, da laje ainda no contrapiso, representando 17% do total e, por último, o carpete em 3% dos apartamentos, como pode ser visto na Figura 4.2. É importante salientar que os apartamentos que ainda apresentam a laje no contrapiso são identificados como aqueles que, no dia do trabalho de campo, apresentavam-se recém inaugurados ou em fase final de obra e que ainda estavam à venda. Atualmente, é comum as construtoras definirem em projeto arquitetônico, apenas o revestimento de piso das áreas molhadas e sociais, deixando a área íntima à livre escolha dos futuros moradores, que deverão optar pela cerâmica ou pelo laminado de madeira.

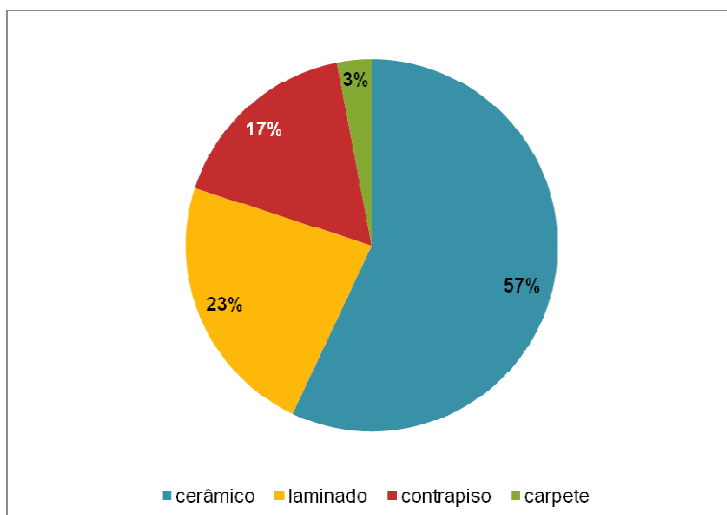


Figura 4.2 – Percentagem de participação de cada tipo de revestimento de piso nos quartos avaliados.

Uma das possíveis causas para a elevada incidência do revestimento cerâmico nos pisos dos quartos dos apartamentos avaliados está no fato de que a indústria de revestimento cerâmico tem papel de destaque dentro da economia do estado de Santa Catarina. Goularti Filho (2007) coloca que no período de 1945 a 1962 assistiu-se na economia catarinense uma verdadeira diversificação e ampliação na sua base produtiva, dentre eles o crescimento da indústria cerâmica, que se apresentava como uma das potencialidades mais dinâmicas em processo acelerado de expansão e consolidação. Cinco fortes nomes da indústria cerâmica nacional localizam-se no estado catarinense são elas Eliane, Cecrisa, Icisa, Portobello e Ceusa.

Além disso, a escolha por revestimento cerâmico é encarada pela maioria das pessoas como um tipo de piso de grande praticidade com relação à limpeza e manutenção dentro das residências. Graudez e Dantas (2007), em trabalho publicado pela Revista Brasileira de Medicina, afirmam que o carpete é um dos principais reservatórios de ácaros e fungos que podem ser suspensos no ar, podendo causar crises alérgicas. Os autores relatam que carpetes velhos podem emanar diversos tipos de poluentes e sua presença reflete na piora da qualidade do ar percebida, mesmo quando ocultos à visão. Isso talvez respalde, em boa parte, a não escolha por carpetes em residências novas e a sua substituição em apartamentos mais antigos.

4.3 Espessura das Lajes

No trabalho de campo foi feito um levantamento das espessuras das lajes que foram submetidas ao ensaio de impacto sonoro. A Figura 4.3 mostra um histograma referente às espessuras das lajes sem o contrapiso, ou comumente chamadas de lajes no osso.

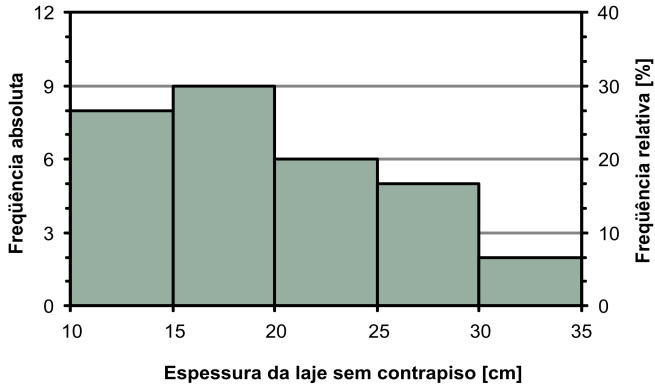


Figura 4.3 – Histograma da espessura das lajes avaliadas sem contrapiso.

Vê-se que 8 lajes, 27% dos apartamentos, tiveram espessura entre 10 e 15 cm; 9 lajes, 30%, apresentaram espessura dentro do intervalo de 15 a 20 cm; 6 lajes, 20%, se mostraram entre 20 e 25 cm; 5 lajes, 16%, entre 25 e 30 cm e apenas 2 lajes, 7%, tiveram espessura entre 30 e 35 cm.

Da mesma forma, foram levantadas junto aos engenheiros e plantas estruturais as espessuras das lajes finalizadas, ou seja, já com a colocação do contrapiso e o revestimento propriamente dito, conforme mostrado na Figura 4.4.

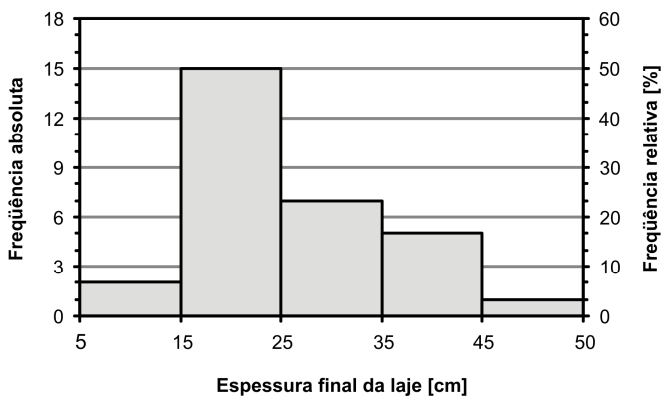


Figura 4.4 - Histograma da espessura final das lajes avaliadas.

Nota-se que 15 apartamentos ensaiados, ou seja, 50% da amostra, apresentaram uma espessura final entre 15 e 25 cm; 7 apartamentos, 23%, tiveram uma espessura final entre 25 e 35 cm; 5 amostras, 16%, entre 35 e 45 cm; 2 apartamentos, 7%, tiveram espessura entre 5 e 15 cm e apenas 1 amostra apresentou espessura final maior de 45 cm.

É possível perceber, portanto, pelas amostras analisadas no presente trabalho, que há uma tendência das lajes sem contrapiso apresentarem uma espessura entre 15 e 20 cm e uma espessura final entre 15 e 25 cm. Esse fato é reflexo da atual tendência da construção civil brasileira que tem optado pela escolha da laje nervurada como o sistema estrutural dos edifícios residenciais. Pelas características físicas já apresentadas, a espessura das lajes nervuradas é maior devido ao fato que este tipo de laje trabalhar com o sistema de vigotas de concreto armado, em média com 20 cm de espessura, sobre as quais se apóia a mesa em concreto, que apresenta em média 5 cm de espessura, seguido pelo contrapiso que recebe variação de espessura de acordo com cada projeto estrutural, mais a colocação da argamassa de assentamento e finalizando com o revestimento de piso escolhido.

4.4 Área e Volume Médio dos Quartos Avaliados

Analisando-se os parâmetros arquitetônicos dos espaços ensaiados ao ruído de impacto, foram levantadas as áreas de piso o volume dos quartos, onde foram feitas as leituras dos níveis sonoros.

A Figura 4.5 mostra as áreas de piso encontradas para os quartos avaliados. É possível notar que a grande maioria dos apartamentos avaliados, 14 do universo de 30 ensaios feitos, 47%, tiveram como área de piso para os quartos o intervalo entre 8 a 10 m²; 7 amostras, 23%, apresentaram área entre 10 e 12 m²; 5 apartamentos, 16%, possuíam área entre 12 e 14 m² e, por fim, 4 amostras, 14%, apresentaram área de piso no intervalo entre 6 e 8 m².

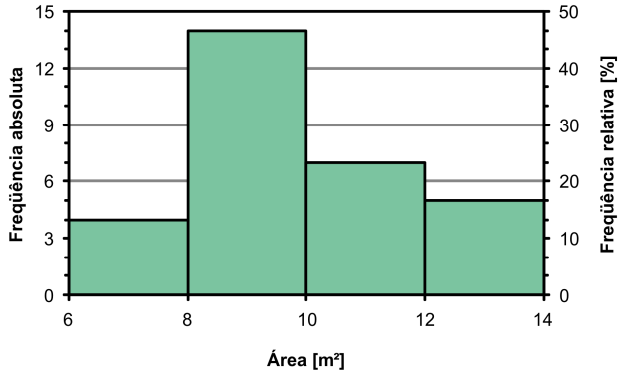


Figura 4.5 - Histograma da área de piso dos quartos avaliados.

Os volumes dos quartos encontrados em campo estão apresentados na Figura 4.6. Foi visto que 40% das amostras, ou seja, 12 apartamentos avaliados, apresentaram volume entre 20 e 25 m³; 8 apartamentos, 25% das amostras, apresentaram um volume de 25 a 30 m³; 4 amostras, 14%, apresentaram dois intervalos de volumes distintos, entre 15 e 10 m³ e 30 e 35 m³; e, por fim, 2 amostras, 2% do total de quartos avaliados, apresentaram volume entre os intervalos de 35 e 45 m³.

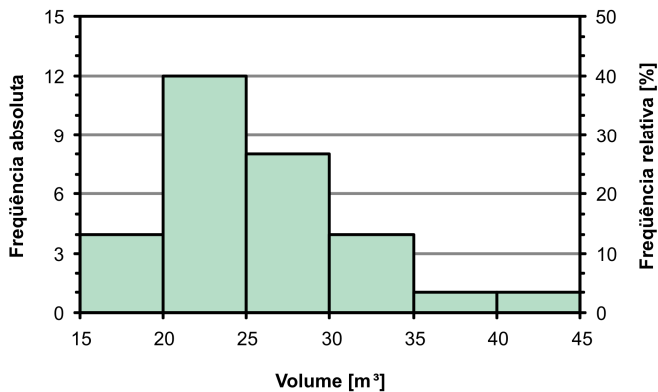


Figura 4.6 – Histograma do volume dos quartos avaliados.

Com os dados apresentados, é possível dizer que, atualmente, um apartamento típico teria laje nervurada, com revestimento cerâmico ou laminado de madeira, área de piso entre 8 m² e 12 m², e volume entre 20 m³ e 30 m³.

Retomando o que foi colocado no Capítulo 2, as amostras foram identificadas nesse estudo através de símbolos alfa-numéricos seguindo o tipo de laje, a fim de preservar a identidade dos edifícios e construtoras que participaram do trabalho:

- NV - laje nervurada,
- MC - laje maciça,
- PM - laje pré-moldada,
- PP - laje pré-moldada protendida.

A Tabela 4.1 apresenta de forma resumida, todos os apartamentos avaliados, seus respectivos códigos de identificação, o tipo de laje e o revestimento de piso de cada amostra em particular.

Tabela 4.1- Código de identificação, tipo de laje e tipo de revestimento dos apartamentos avaliados.

Código	Tipo de laje	Revestimento
NV-01	Nervurada	cerâmico
NV-02	Nervurada	laminado
NV-03	Nervurada	laminado
NV-04	Nervurada	contrapiso
NV-05	Nervurada	contrapiso
NV-06	Nervurada	laminado
NV-07	Nervurada	cerâmico
NV-08	Nervurada	contrapiso
NV-09	Nervurada	cerâmico
NV-10	Nervurada	cerâmico
NV-11	Nervurada	cerâmico
NV-12	Nervurada	cerâmico
NV-13	Nervurada	laminado
NV-14	Nervurada	contrapiso
MC-01	Maciça	contrapiso
MC-02	Maciça	carpete
MC-03	Maciça	cerâmico
MC-04	Maciça	cerâmico
MC-05	Maciça	cerâmico
MC-06	Maciça	cerâmico
MC-07	Maciça	cerâmico
MC-08	Maciça	laminado
PM-01	Pré-Moldada	cerâmico
PM-02	Pré-Moldada	cerâmico
PM-03	Pré-Moldada	cerâmico
PM-04	Pré-Moldada	cerâmico
PP-01	Pré-Moldada Protendida	cerâmico
PP-02	Pré-Moldada Protendida	laminado
PP-03	Pré-Moldada Protendida	cerâmico
PP-04	Pré-Moldada Protendida	laminado

4.5 Análise do Tempo de Reverberação / TR

A medição do tempo de reverberação, importante em um estudo de acústica arquitetônica, é o parâmetro que caracteriza o comportamento sonoro dos espaços edificados. Com a análise do TR é possível avaliar como ocorre o decaimento do som no ambiente em diferentes faixas de frequência, em função das características internas da sala, como os tipos de revestimentos utilizados, materiais e objetos presentes. A Figura 4.7 apresenta as curvas de TR de todos os quartos onde foram avaliados o isolamento sonoro de impacto.

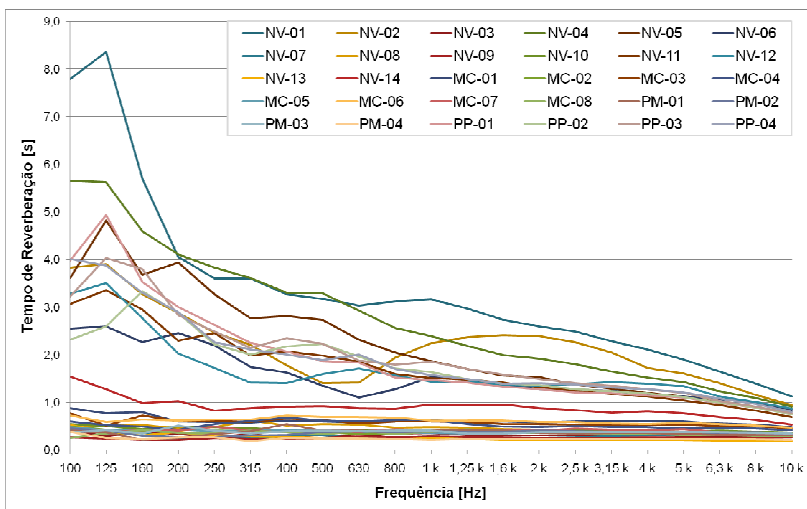


Figura 4.7 – Tempo de Reverberação dos diferentes quartos avaliados, identificados pelo tipo de laje: NV – nervurada, MC – maciça, PM – pré-moldada e PP – pré-moldada protendida.

É possível perceber dois comportamentos distintos – um grupo de ambientes apresentou TRs superiores a 1 s, com diferença de comportamento entre baixa e alta frequência, enquanto o outro grupo, apresentou valores sempre inferiores a 1 s, e suas curvas tiveram pouca variação ao longo da frequência. Essa diferença pode ser explicada pela presença ou não de móveis nos ambientes, ou seja, as curvas localizadas

predominantemente acima de 1 s são correspondentes aos quartos vazios, seja por estarem recém-entregues pelas construtoras ou porque estavam em fase final de obras. A Figura 4.8 mostra, exclusivamente, as curvas de TR dos quartos vazios.

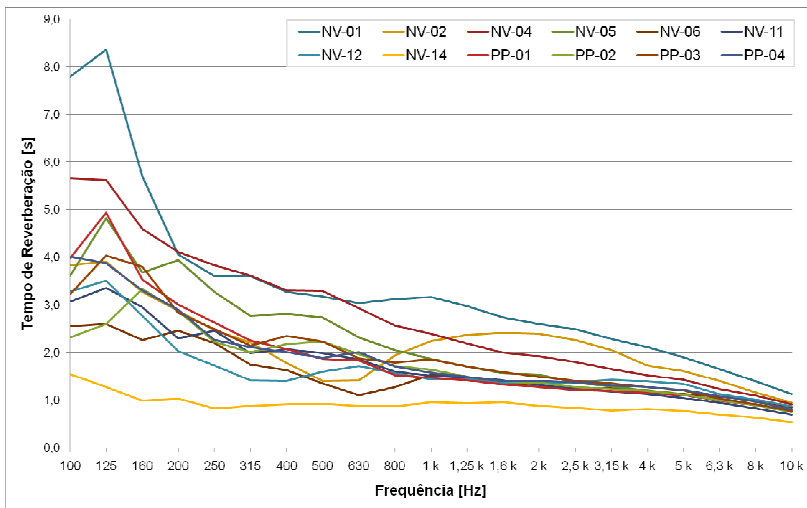


Figura 4.8 – Tempo de Reverberação dos quartos sem móveis para os diferentes tipos de lajes: NV – nervurada, MC – maciça, PM – pré-moldada e PP – pré-moldada protendida.

Todas as curvas apresentam maiores valores de TR nas baixas frequências e menores nas médias e altas. A curva do quarto NV-01 destaca-se do resto das outras curvas com valores em 100 e 125 Hz acentuadamente mais altos que as outras curvas por se tratar de dados espúrios de medição. No entanto, todas as curvas apresentam um maior espalhamento de resultado nas baixas frequências e uma maior convergência nas médias e altas. Esse fato pode ser claramente visto na Figura 4.9 onde é mostrada a curva de TR médio espacial entre amostras dos quartos vazios e o desvio padrão para cada banda de frequência.

É possível notar que os maiores desvios são nas baixas frequências. Em 125 Hz foi registrado um desvio de 1,79 s, maior

valor encontrado dentre todos os quartos sem móveis, enquanto que em 10 k houve o menor desvio, 0,15 s.

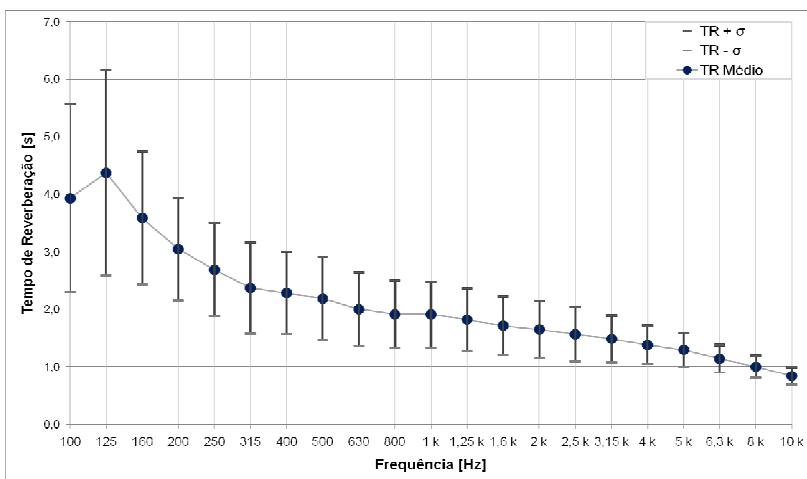


Figura 4.9 – Tempo de Reverberação médio espacial para todos os quartos avaliados sem móveis e o desvio padrão, σ , para cada banda de frequência.

O resultado da avaliação de TR para os quartos com móveis pode ser visto na Figura 4.10.

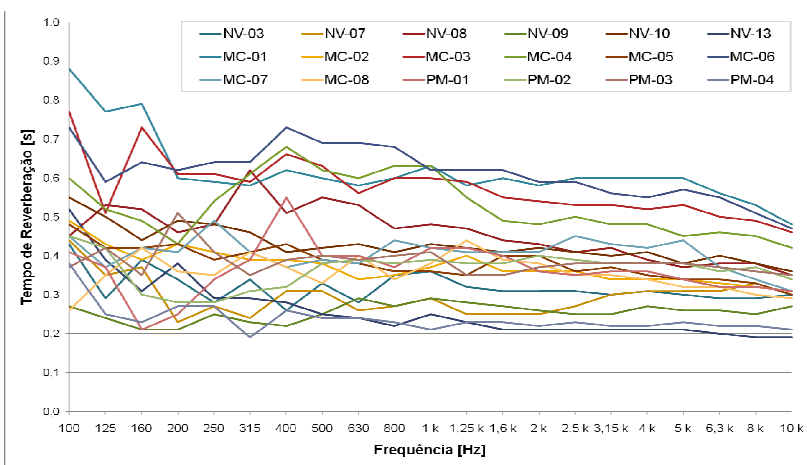


Figura 4.10 - Tempo de Reverberação dos quartos com móveis para os

diferentes tipos de lajes: NV – nervurada, MC – maciça, PM – pré-moldada e PP – pré-moldada protendida.

Pode-se perceber que todos os quartos mobiliados tiveram tempos de reverberação menores que 0,9 s, característica distinta dos quartos vazios. De modo geral, as curvas se apresentam com menor variação ao longo da faixa de frequência. Esse fato pode ser observado na Figura 4.11 na qual é apresentada a curva de TR médio e o desvio padrão para cada faixa de frequência. Nos quartos vazios, a maioria de superfícies internas tem características reflexivas, o que aumenta, por definição, o valor de TR para cada faixa de frequência.

Nota-se, também, que para os quartos com móveis há menor dispersão dos valores nas bandas de frequência, apresentando, por exemplo, em 100 Hz, um desvio padrão de 0,16 s, o maior valor registrado, e, em 10 kHz, o desvio de 0,08 s, o sendo esse o menor valor.

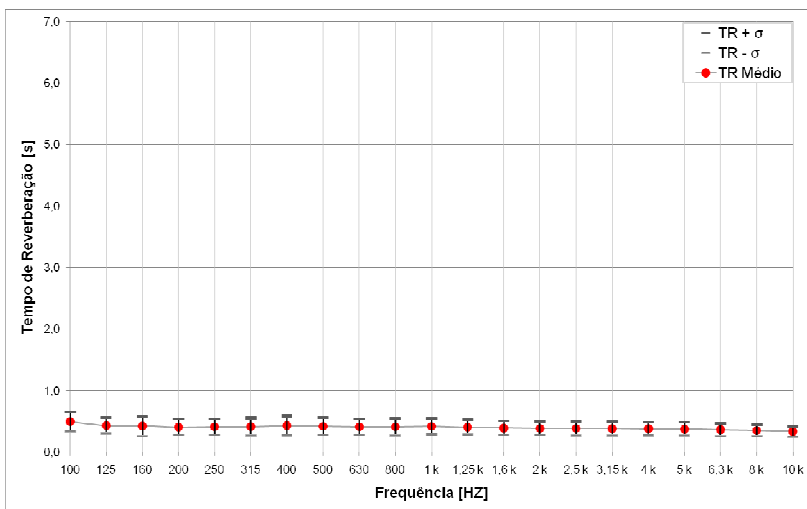


Figura 4.11 - Tempo de Reverberação Médio para todos os quartos com móveis e o desvio padrão, σ , para cada banda de frequência.

Comparando-se as Figuras 4.9 e 4.11 é possível concluir que, nos quartos com móveis, o desvio padrão apresenta-se menor, em todas as faixas de frequência.

Resultados semelhantes foram encontrados por Díaz e Pedrero (2005) no estudo *The Reverberation time of furnished rooms in dwellings*. O estudo fez uma avaliação *in-situ* de TR em 11.687 ambientes, sendo 11457 mobiliados e 230 vazios. A Tabela 4.2 apresenta a comparação entre o desvio padrão, σ , do TR para todos os quartos avaliados sem móveis analisados no presente estudo em (1) com os resultados encontrados por Díaz e Pedrero (2005) em (2).

Tabela 4.2 – Desvio padrão, σ , do TR para todos os quartos sem móveis com os resultados encontrados por Díaz e Pedrero (2005).

Freq[Hz]	100	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	10 k
(1)	1,64	1,79	0,81	0,73	0,57	0,50	0,33	0,19	0,15
(2)		0,69	0,58	0,43	0,31	0,25	0,18		

A Tabela 4.3 apresenta a comparação entre o desvio padrão, σ , do TR para todos os quartos avaliados com móveis do presente estudo em (1) com os resultados encontrados por Díaz e Pedrero (2005) em (2).

Tabela 4.3 – Desvio padrão, σ , do TR para todos os quartos com móveis com os resultados encontrados por Díaz e Pedrero (2005).

Freq[Hz]	100	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	10 k
(1)	0,16	0,13	0,13	0,14	0,13	0,11	0,11	0,09	0,08
(2)		0,16	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07		

Os autores apontaram como conclusão do estudo que o TR de ambientes sem móveis apresentam um desvio padrão maior do que nos ambientes com mobília, corroborando, portanto, com os resultados apresentados.

4.6 Níveis Sonoros de Impacto para cada Tipo de Lajes

Como já foi dito anteriormente, as medições de isolamento sonoro ao ruído de impacto foram feitas em três tipos de lajes distintos – nervurada, maciça e pré-moldada. Importante apontar que as lajes pré-moldadas pretendidas serão avaliadas dentro do conjunto das pré-moldadas. A seguir são apresentadas os resultados do nível sonoro de impacto padronizado, L'_{nT} , no espectro de frequência, para cada tipo de laje.

4.6.1 Laje nervurada

A Figura 4.12 apresenta o nível sonoro de impacto padronizado, em bandas de 1/3 de oitava, das 14 lajes nervuradas.

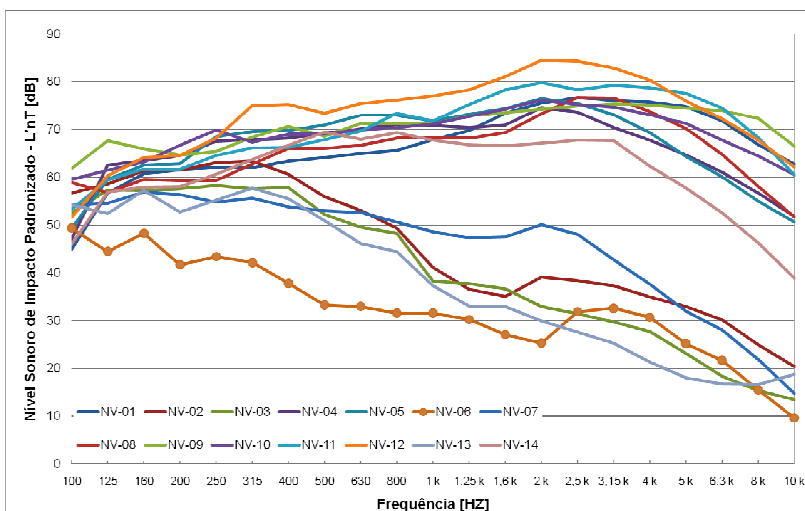


Figura 4.12 – Nível sonoro de impacto padronizado da laje de todos os quartos – caso laje nervurada.

É possível notar a existência de dois conjuntos de curvas com tendências distintas de comportamento. O primeiro formado

por curvas com tendência ascendente, ou seja, com níveis sonoros aumentando até as médias frequências e decaindo nas altas, como pode ser visto na curva do quarto NV-12, expressa em valores na Tabela 4.4: de 100 Hz até 2 kHz, há um crescimento até 84,50 dB, sendo este o maior valor registrado dos quartos dos apartamentos. A partir daí, o L'nT teve um decaimento até 62,20 dB em 10kHz.

Tabela 4.4 – L'nT, em 1/1 oitava, do quarto NV-12.

Freq[Hz]	100	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	10 k
L'nT[dB]	51,6	60,3	68,2	73,4	77,1	84,5	80,4	67,8	62,2

O segundo grupo se apresenta, de um modo geral, com tendência decrescente com o aumento da frequência, sendo perceptível, na faixa de 2 kHz a 4 kHz, conforme mostra o quarto NV-13, uma pequena elevação nos valores de L'nT, apresentada em destaque na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - L'nT, em 1/1 oitava, do quarto NV-13.

Freq[Hz]	100	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	10 k
L'nT[dB]	54,3	52,5	55,2	51,0	37,3	30,0	21,3	16,6	18,8

A curva do quarto NV-06 tem em sua composição estrutural, uma camada de material resiliente sob o revestimento de piso, configurando, assim, uma situação de piso flutuante, sendo esperado, portanto, melhor isolamento ao ruído estrutural.

Sipari (1999) apresentou resultado com duas tendências de comportamentos para um mesmo tipo de laje, como pode ser visto na Figura 4.13. O autor credita ao tipo de revestimento de piso o comportamentos das curvas. Naquele caso, a curva ascendente foi para o piso em concreto, enquanto que a curva descendente foi do piso em madeira. Essa mesma característica será discutida no item 4.7 referente à análise do isolamento para diferentes tipos de revestimento de piso ensaiado.

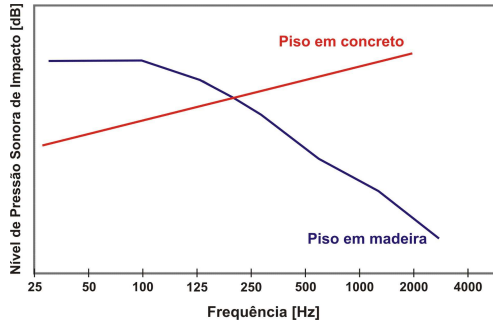


Figura 4.13 – Nível sonoro de impacto em duas situações distintas: piso em concreto e piso em madeira.
 Fonte modificado: Sipari, 1999.

4.6.2 Laje maciça

A Figura 4.14 mostra o resultado para as 8 lajes maciças avaliadas. Nota-se que, de maneira global, as curvas se mostram obedecendo a um mesmo padrão, caracterizado por um pequeno aumento dos níveis das baixas até as médias e média-altas frequências, e um decaimento a partir daí.

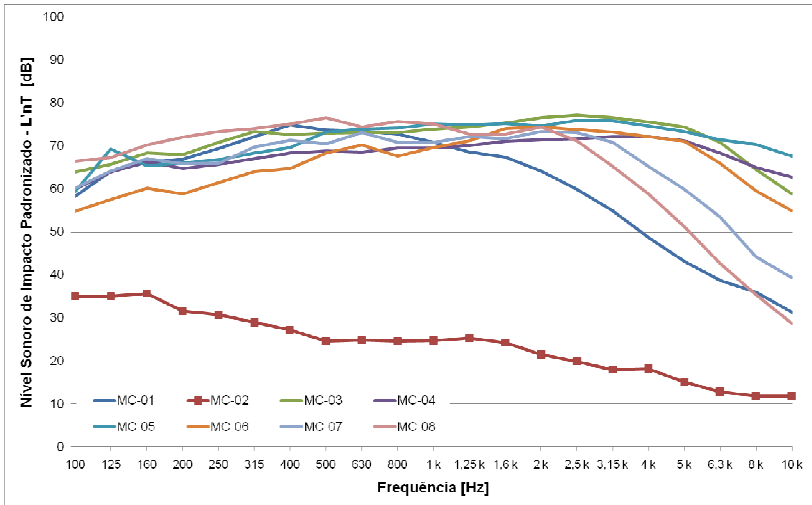


Figura 4.14 – Nível sonoro de impacto padronizado da laje de todos os

quartos – caso laje maciça.

A título de ilustração, o comportamento do quarto MC-03 está apresentado na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - L'nT, em 1/1 oitava, do quarto MC-03.

Freq[Hz]	100	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	10 k
L'nT[dB]	63,9	65,7	70,8	73,0	73,9	76,6	75,6	64,5	63,9

A curva do quarto MC-02 apresenta-se destacada na Figura 4.14, pois esse possui o revestimento de piso em carpete, sendo esperado, portanto, um melhor isolamento frente às demais curvas.

4.6.3 Laje pré-moldada

A Figura 4.15 apresenta o resultado das 8 lajes pré-moldadas avaliadas, sendo que desse total, 4 lajes são do tipo pré-moldada protendida. É possível notar a tendência dos maiores valores de nível sonoro apresentarem-se próximo às frequências de 2 kHz a 4 kHz, com um decréscimo nas altas frequências. A

Tabela 4.7 mostra os valores de L'nT do quarto PM-01 a título de ilustração.

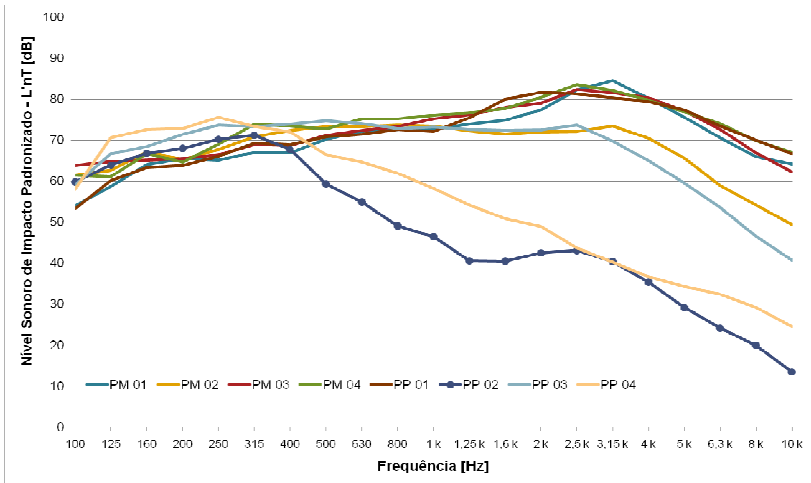


Figura 4.15 – Nível sonoro de impacto padronizado da laje de todos os quartos – caso laje pré-moldada.

Tabela 4.7 - L'nT, em 1/1 oitava, do quarto PM-01.

Freq[Hz]	100	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	10 k
L'nT[dB]	54,0	58,7	65,1	70,3	72,7	77,4	80,3	66,0	54,0

A curva do apartamento PP-02 aparece em destaque na Figura 4.15 em razão dessa laje possuir uma camada de material resiliente sob o revestimento de piso, situação semelhante ao apartamento NV-06 já apresentado, tendo, portanto, características acústicas próprias de piso flutuante, distintas das configurações estruturais dos demais apartamentos avaliados.

4.6.4 Análise do nível sonoro único / L'nTw

A análise através de um número único proposto pela ISO 717-2 (1996) é importante para fins de comparação dos diferentes desenhos frente ao tipo de laje utilizada nos edifícios residenciais.

Na Figura 4.16 são apresentados os valores de níveis sonoros de impacto padronizado ponderados para os quartos

avaliados com laje nervurada. O menor valor de $L'nTw$ encontrado para a laje nervurada foi de 41 dB no quarto NV-06 e o mais alto foi de 89 dB no apartamento NV-12, tendo aí, portanto, uma diferença de 48 dB para esse tipo de laje.

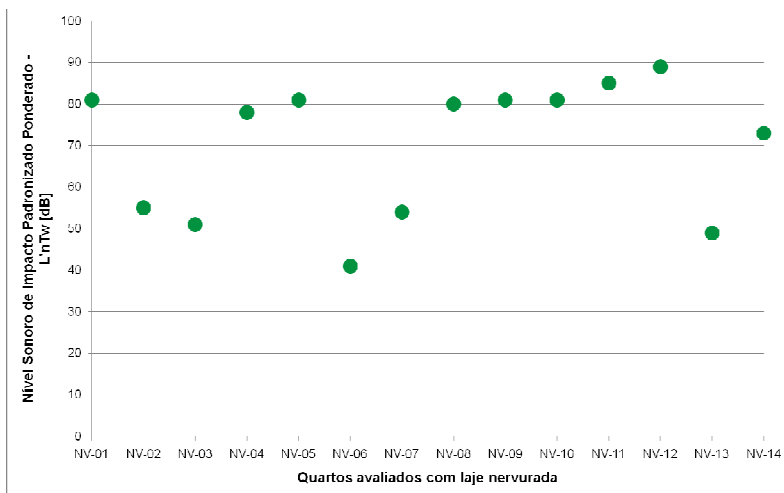


Figura 4.16 – Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos avaliados com laje nervurada.

Para a laje maciça, o menor valor encontrado de $L'nTw$ foi de 30 dB no quarto MC-02 enquanto que o maior foi de 82 dB encontrado no MC-03, representando para esse tipo de laje uma diferença de 52 dB, como pode ser visto na Figura 4.17.

Para a laje pré-moldada, o menor valor de $L'nTw$ foi de 61 dB na amostra PP-02 e o maior valor de 87 dB foi visto em dois quartos, PM-04 e PP-01, tendo portanto uma diferença de 26 dB para esse tipo de laje, conforme Figura 4.18.

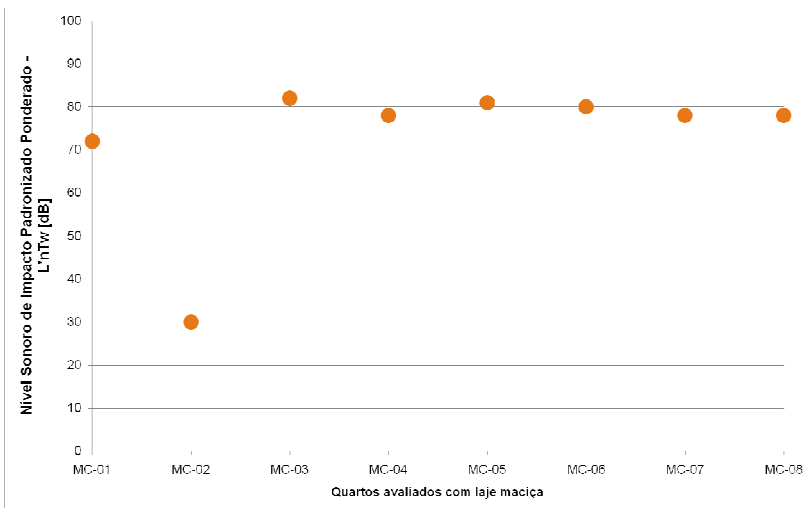


Figura 4.17 - Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos avaliados com laje maciça.

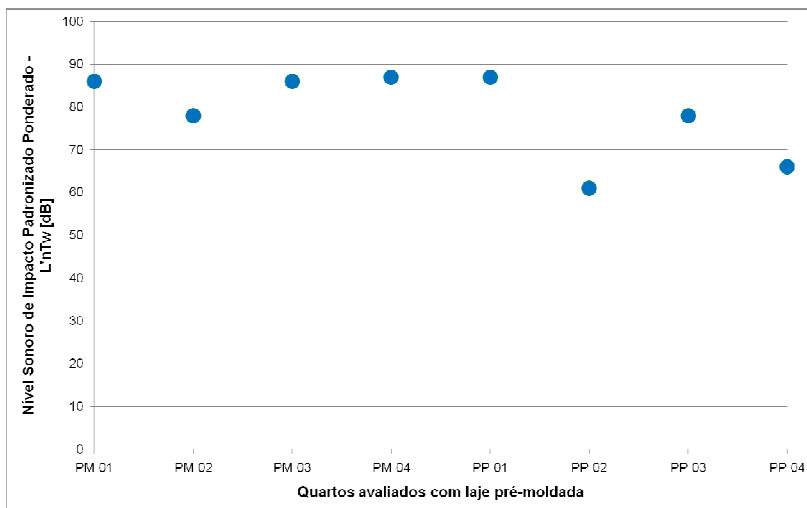


Figura 4.18 - Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos avaliados com laje pré-moldada.

Relembrando o que já foi colocado no Capítulo 2, Rindel (2007) salienta que é possível encontrar grande diferença entre o maior e o menor valor de nível sonoro de impacto padronizado ensaiado *in-situ*, principalmente em se tratando de lajes consideradas pesadas, como é o caso das lajes nervurada, maciça e pré-moldada, todas elas tendo o concreto como principal elemento compositivo.

Comparando os três tipos de laje avaliados e os respectivos níveis sonoros de impacto, não há indícios suficientemente fortes que mostrem uma relação direta entre eles, visto que é grande a variabilidade de valores de L'_{nTw} existente para cada tipo de laje. Portanto, só é possível afirmar que não se consegue obter um padrão no presente momento, com o número de amostras apresentadas.

Várias tentativas foram feitas no intuito de buscar uma tendência de comportamento entre o nível sonoro de impacto e o tipo de laje, inclusive através de testes estatísticos, entretanto, não houve resultado com correlação significativa. A Figura 4.19 mostra os valores de L'_{nTw} para todos os quartos avaliados.

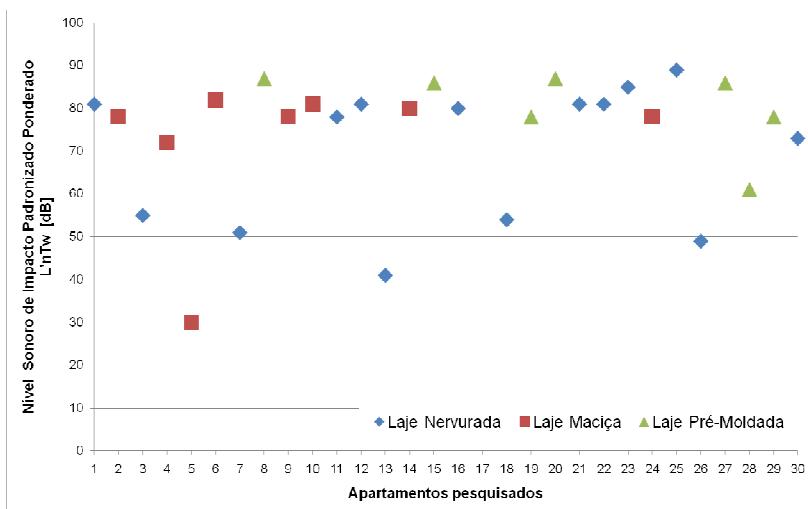


Figura 4.19 – Níveis sonoros de impacto padronizado ponderado para cada tipo de laje: nervurada, maciça e pré-moldada.

O universo de amostras do presente estudo consistiu de 30 apartamentos, sendo 14 com tipo laje nervurada, 8 com tipo maciça e 8 com tipo pré-moldada. Para que este estudo tivesse um significado estatístico, com análises precisas e capazes de estabelecer relações entre o nível sonoro de impacto e as diversas variáveis envolvidas nesse sistema, como tipo de laje, tipo de revestimento e espessura final da laje, seria necessário um conjunto muito maior de amostras, classificadas de acordo com critérios bem estabelecidos, fugindo ao escopo de uma dissertação de mestrado com tempo limitado de execução.

Como exemplo, a Figura 4.20 mostra, de forma esquemática, como seria a proposição para uma pesquisa com caráter estatístico.

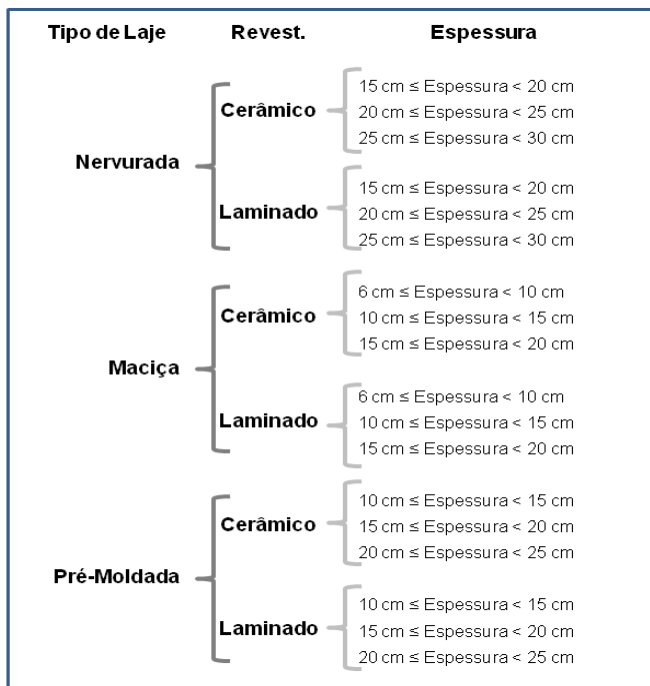


Figura 4.20 – Exemplo de planejamento do universo de amostras de uma pesquisa de caráter estatístico com o mesmo tema proposto.

Nota-se que o universo total da amostra foi criado a partir de 3 critérios bem estabelecidos e controlados, sendo eles o tipo de laje (nervurada, maciça e pré-moldada), o tipo de revestimento de piso (cerâmico e laminado) e os intervalos de espessura para cada tipo de laje, definindo assim, ao todo, 18 categorias distintas. Para compor o número total de medições seriam necessárias 30 medições por categoria, número que classifica estatisticamente a amostra como grande, resultando em um total de 540 medições. Dessa maneira, é possível notar que a análise desse tipo se comporta de modo fatorial, na qual o universo de amostras é formado por categorias delimitadas e caracterizadas e por um grande número de amostras dentro de cada categoria. Só dessa forma a pesquisa enquadraria-se dentro de padrões estatísticos tendo, a partir daí, quantidade de amostras condizentes para cada categoria, de forma a poder-se relacioná-las entre si.

4.7 Níveis Sonoros de Impacto em Função do Revestimento de Piso

Após a apresentação dos resultados quanto ao isolamento sonoro de impacto e o tipo de laje, é necessária fazer a análise quanto à influência que o tipo de revestimento de piso exerce no isolamento. A seguir são apresentadas os níveis sonoros de impacto padronizado, por frequência, organizadas de acordo com o tipo de revestimento de piso: cerâmico, laminado de madeira e lajes ainda no contrapiso.

4.7.1 Revestimento cerâmico

A Figura 4.21 apresenta todas as curvas obtidas dos ensaios em revestimento cerâmico independente do tipo de laje. É possível perceber, um comportamento semelhante entre todas as curvas, apresentando os valores maiores nas médias e altas frequências.

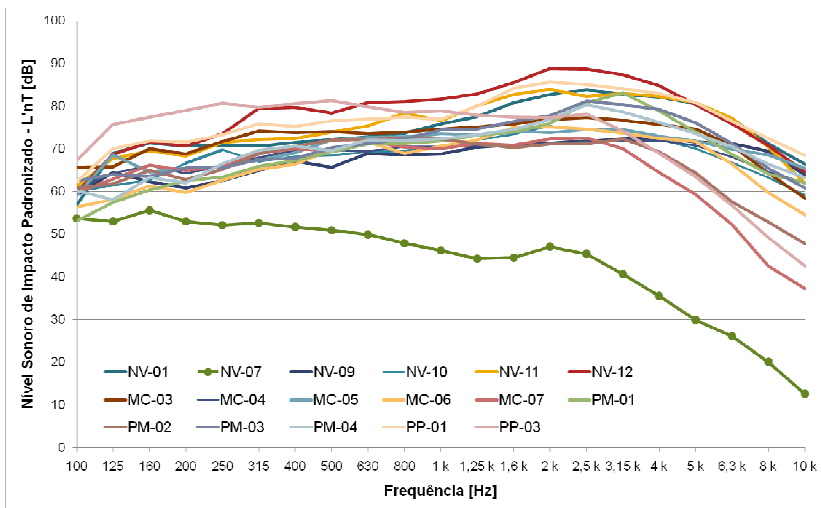


Figura 4.21 –Nível sonoro de impacto padronizado para todas as lajes com revestimento cerâmico

A curva NV-07 aparece na Figura 4.21 em destaque porque o apartamento possui características que o distingue do restante dos demais. Estruturalmente, esse sistema piso/estrutura é formado por laje nervurada de 28 cm de espessura, mais uma camada de 15 cm de contrapiso e, por fim, o revestimento cerâmico. O contrapiso dessa laje recebeu espessura maior que o usual pois se trata de um apartamento no último andar do edifício, usado como local de passagem do sistema de tubulação hidráulica de todo o prédio. Essa laje foi considerada dentro da presente análise por se comportar como uma laje única, como as demais lajes avaliadas e, não como uma laje dupla.

A Figura 4.22 apresenta o nível sonoro de impacto padronizado médio sobre o desvio padrão para cada banda de frequência entre todos os quartos com revestimento cerâmico. É importante destacar que, em ambos os cálculos, a curva do apartamento NV-07 não foi considerada.

O maior desvio padrão apresenta-se nas altas frequências, 8,51 dB em 8 kHz e 8,84 dB em 10 kHz; enquanto que os menores valores foram em 100 Hz, com um desvio padrão de

3,36 dB, e, em 1 kHz com 3,56 dB. Dessa maneira, o desvio padrão teve uma variação total de 5,48 dB.

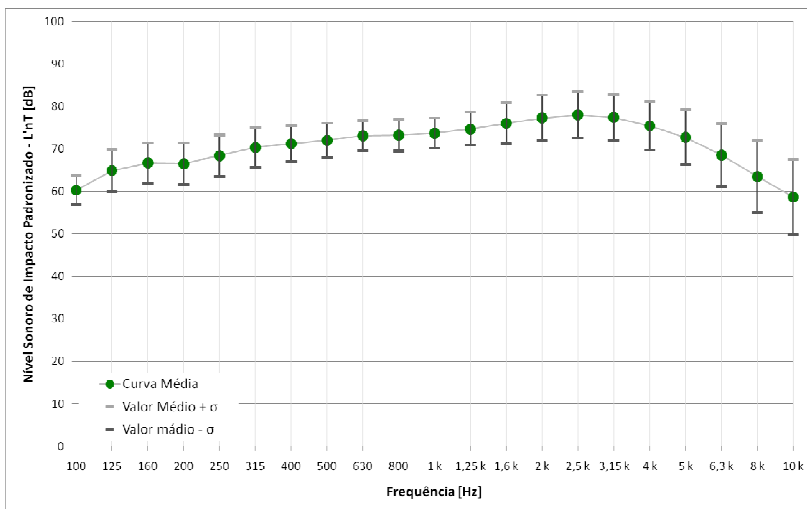


Figura 4.22 – Nível sonoro padronizado médio de todos os quartos com revestimento cerâmico.

4.7.2 Revestimento em laminado de madeira

O comportamento das curvas do nível sonoro de impacto padronizado com piso em laminado de madeira pode ser observado na Figura 4.23. É possível perceber um comportamento semelhante entre todas as curvas, apresentando os maiores níveis nas baixas frequências, decaimento nas médias frequências, um leve incremento nas médio-altas, e, novamente, um decaimento nas altas frequências.

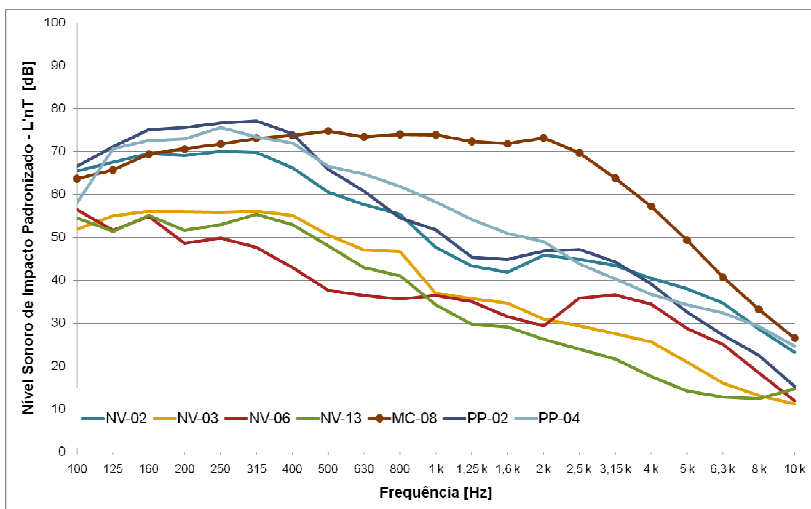


Figura 4.23 - Nível sonoro de impacto padronizado para todas as lajes com revestimento laminado de madeira.

É possível perceber pela figura que a curva do quarto MC-08 apresenta-se destacada do comportamento das demais curvas. Uma possível razão é devido ao piso em laminado de madeira encontrado nesse local ser mais espesso que os demais revestimentos em laminado testados. Esse apartamento data da década de 90, refletindo assim o material e a tecnologia empregada na época.

Da mesma forma como foi apresentado para o revestimento cerâmico, foi calculado o nível sonoro de impacto médio para as lajes com piso em laminado de madeira, como pode ser visto na Figura 4.24.

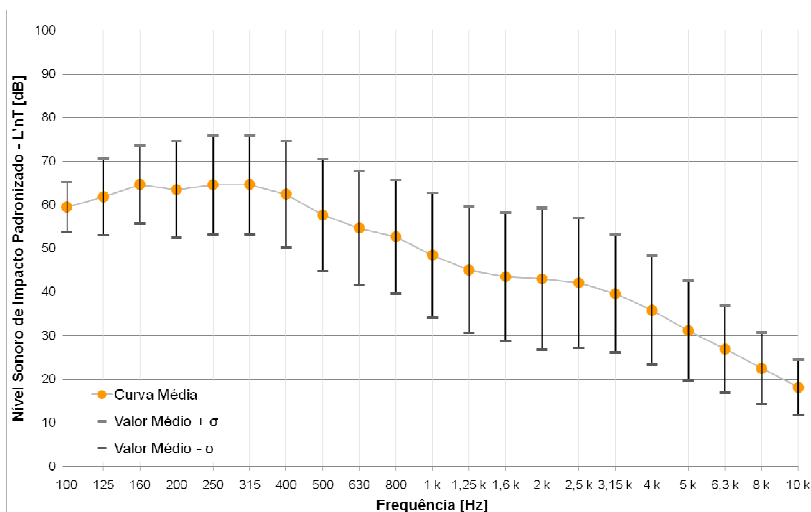


Figura 4.24 - Nível sonoro padronizado médio de todos os quartos com revestimento em laminado de madeira.

O maior desvio padrão foi registrado para a frequência 2 KHz com valor de 16,25 dB e o menor valor 5,72 dB foi registrado em 100 Hz. A variação total alcançada pelo desvio padrão, para esse tipo de revestimento foi de 10,53 dB.

4.7.3 Laje no contrapiso

Como já foi dito anteriormente, algumas medições de isolamento ao ruído de impacto aconteceram com a laje ainda no contrapiso, ou seja, sem a colocação do revestimento propriamente dito. A Figura 4.25 apresenta o resultado dos 5 ensaios nessa configuração. De modo geral, o comportamento da curva se assemelha à curva do revestimento cerâmico, na qual é possível perceber um aumento dos valores a partir das baixas frequências, atingindo os maiores níveis nas frequência médias e médio-altas e, novamente, um decaimento, registrando, em certos casos, os menores níveis nas altas frequências. Essa semelhança é devido ao fato de que, tanto o revestimento cerâmico como o contrapiso usado nas lajes, são materiais rígidos.

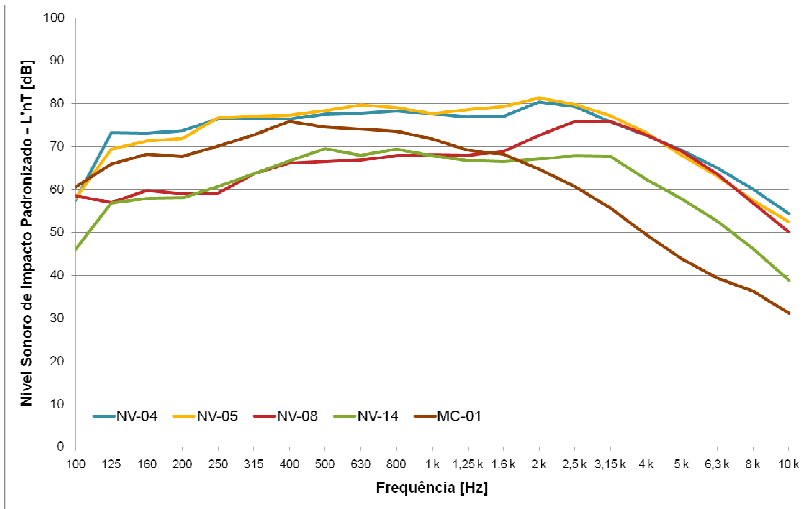


Figura 4.25 - Nível sonoro de impacto padronizado para todas as lajes no contrapiso.

A Figura 4.26 apresenta o nível sonoro de impacto padronizado médio sobre o desvio padrão para cada banda de frequência entre todos os quartos com laje ainda no contrapiso. O maior desvio padrão foi registrado para a frequência 5 KHz com valor de 10,44 dB e o menor valor 1,78 dB foi registrado em 1 kHz. A variação total alcançada pelo desvio padrão, para esse tipo de revestimento foi de 8,66 dB.

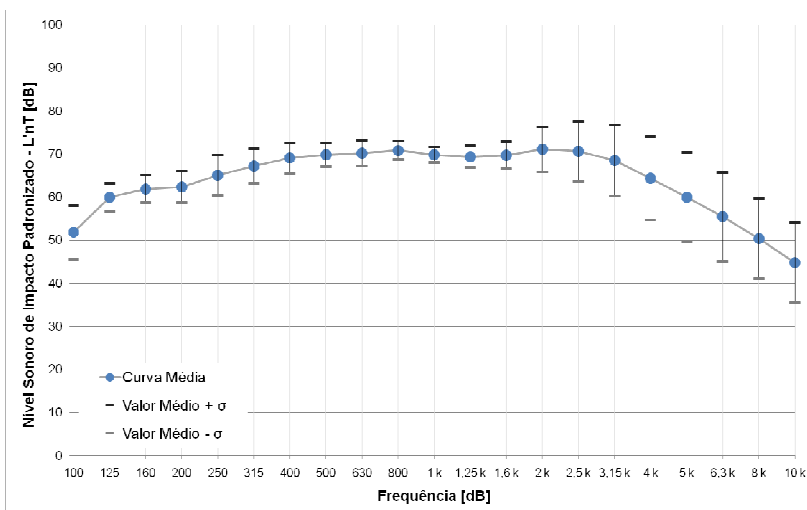


Figura 4.26 - Nível sonoro padronizado médio de todos os quartos com lajes no contrapiso.

4.7.4 Análise do nível sonoro ponderado e o tipo de revestimento de piso

A análise do nível sonoro de impacto padronizado ponderado proposto pela ISO 717-2 (1996) tem importância dentro da presente análise para avaliar, de uma maneira global, a influência do revestimento de piso no isolamento sonoro ao ruído de impacto.

A Figura 4.27 mostra os níveis sonoros de impacto padronizado ponderado, $L'nTw$, de todos os quartos avaliados com revestimento em piso cerâmico, organizados em ordem crescente. É possível perceber que o menor valor registrado foi 54 dB na amostra NV-07, seguida pelo valor de 78 dB nos apartamentos MC-04, MC-07, PM-02 e PP-03 e o maior foi o NV-12 com um índice de 89 dB; dando, dessa maneira, uma diferença de 35 dB entre o menor e o maior nível registrado.

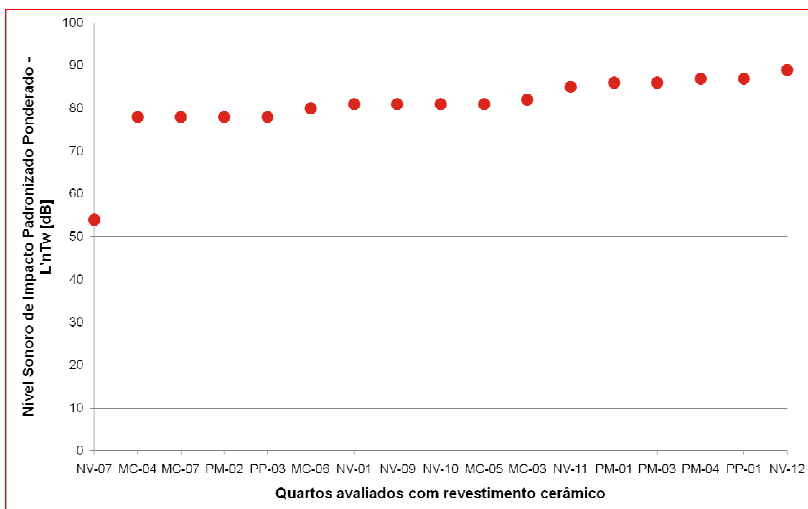


Figura 4.27 – Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos com revestimento cerâmico.

Hoda (2006) aponta que lajes de concreto que são revestidas com materiais de revestimentos rígidos, como é o caso de pedra, cerâmica e alguns tipos de madeira mais espessa, apresentam baixo nível de isolamento sonoro de impacto e, em função disso, são considerados pelos padrões internacionais de desempenho internos das edificações como inaceitáveis. O autor afirma que nesse caso há necessidade de se colocar uma camada de material resiliente entre o revestimento e a estrutura da laje, a fim de proporcionar maior isolamento, chegando-se à uma melhora de até 21 dB com a colocação de material emborrachado em conjunto com camada de espuma em ambos os lados.

A Figura 4.28 apresenta os níveis sonoros de impacto padronizado ponderado de todos os quartos avaliados com piso em laminado de madeira, organizados também em ordem crescente. É possível notar que o menor nível encontrado foi o de 41 dB para o apartamento NV-06, porém vale ressaltar que esse apartamento possui sistema de piso-flutuante; seguido pelo apartamento NV-13 com um L'_{nTw} de 49 dB, enquanto que o maior valor registrado foi obtido no quarto MC-08, com o nível de

isolamento de 78 dB, lembrando que o revestimento de piso desse quarto é o laminado de madeira espesso. Desse modo, a diferença entre o menor e o maior valor registrado foi de 37 dB.

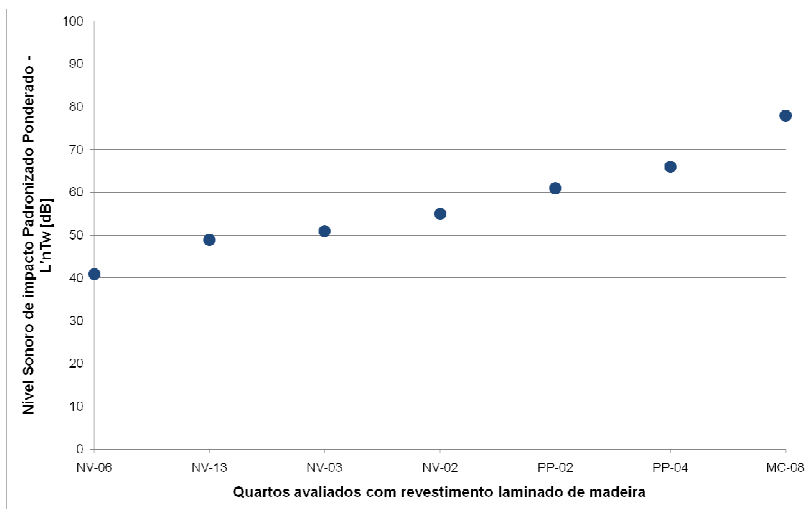


Figura 4.28 - Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos com revestimento laminado de madeira.

A Figura 4.29 apresenta os valores correspondentes aos níveis sonoros de impacto padronizado ponderado dos apartamentos avaliados ainda no contrapiso. O menor $L'nTw$ foi encontrado no quarto MC-01 com o valor de 72 dB, enquanto que o maior índice foi registrado no quarto NV-05 com 81 dB. Pode-se perceber, entretanto, que a diferença entre os valores foi de 9 dB, sendo esta a menor diferença entre todas as três configurações de revestimentos apresentadas. Essa diferença menor decorre do fato de que não há diferença significativa na composição desses elementos de contrapiso.

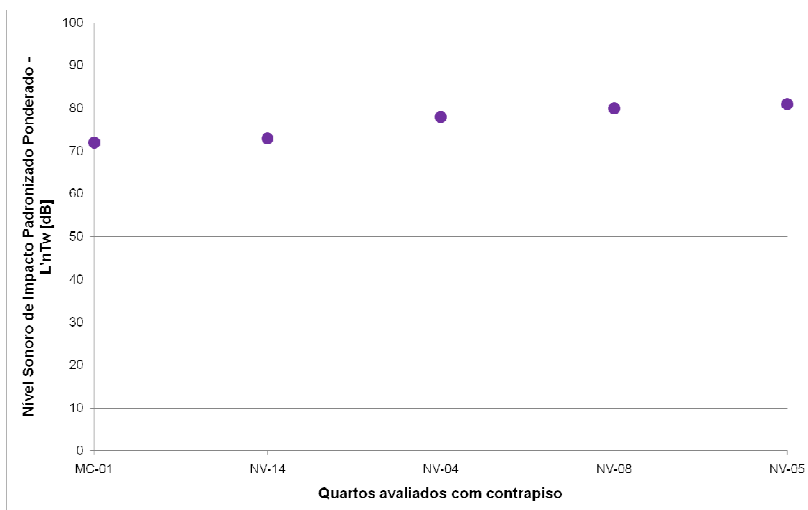


Figura 4.29 - Nível sonoro de impacto padronizado ponderado para todos os quartos com revestimento no contrapiso.

Este estudo aponta que o tipo de revestimento de piso é o fator determinante para o nível de isolamento sonoro de impacto, indicando que a característica de amortecimento da componente que recebe impacto é determinante para o comportamento acústico final do sistema estrutural. Os autores Patrício (2002), (2008) e Conrad (2002) já apontavam a importância do revestimento na quantificação dos níveis sonoros de impacto, mas ainda não se tinham, até o presente momento, resultados de medições *in-situ* de sistemas típicos brasileiros. Corroborando esta interpretação apresenta-se na Tabela 4.8. dois apartamentos com características arquitetônicas semelhantes, sendo o revestimento de piso a única distinção significativa entre ambos.

Tabela 4.8 – Características arquitetônicas e o L'nTw de dois apartamentos ensaiados de laje nervurada.

Código:	Área [m ²]	Volume [m ³]	Espes. [cm]	Piso fonte	L'nTw[dB]
NV-01	10,2	27,0	32	cerâmico	81
NV-02	9,9	25,6	32	laminado	55

Analisando-se apartamentos NV-01 e NV-02, é possível perceber que ambos possuem o mesmo tipo de laje, no caso, nervurada; tanto a área de piso na qual foi feita a excitação pela máquina de impacto, 10,2 m² em NV-01 e 9,9 m² em NV-02, quanto o volume do quarto de recepção dos níveis sonoros são muito parecidos, 27,0 m³ em NV-01 e 25,6 m³ em NV-02 e ambos os apartamentos possuem mesma espessura final da laje acabada, 32 cm.

No entanto, no apartamento NV-01 o piso é cerâmico e o L'nTw obtido é de 81 dB, enquanto que no apartamento NV-02 o piso é de o laminado em madeira e obteve um L'nTw de 55 dB, tendo, portanto, uma diferença significativa de 26 dB.

A Figura 4.30 mostra, de forma esquemática e qualitativa, uma faixa hierárquica entre os diferentes tipos de revestimento de piso, sendo à esquerda, o menor valor de L'nTw, representando assim um melhor isolamento ao ruído de impacto e, ao final da escala, o maior L'nTw, e, conseqüentemente, um isolamento mais baixo.



Figura 4.30 – Escala hierárquica para diferentes tipos de revestimento de piso em relação ao valor de L'nTw.

Como era esperado, percebe-se que os revestimentos mais elásticos são aqueles que proporcionaram um menor L'nTw e portanto, maior isolamento. Em contrapartida, os revestimentos mais rígidos são aqueles que registraram maior valor de L'nTw, e, conseqüentemente, menor isolamento.

Dentre os apartamentos ensaiados neste estudo, é possível apontar o quarto MC-02, com revestimento em carpete, como de menor valor de L'nTw, 30 dB, e, por outro lado, o quarto NV-12, com revestimento cerâmico, apresentou o maior valor de L'nTw, 89 dB. Cabe aqui ainda uma ressalva, o carpete usado no ensaio, por exemplo, foi considerado na presente análise, como um material bem elástico, pois se tratava de um carpete grosso e de boa qualidade.

Quanto ao revestimento em laminado de madeira entre o contrapiso e as régua de madeira do revestimento em si, é colocado uma manta de polietileno, com espessura variando de 2 mm a 5 mm, com a função de regularizar a base onde serão colocadas as régua de madeira contribuindo assim para o isolamento, pois trata-se de um material resiliente que amortece a vibração advinda das peças de madeira para a estrutura do edifício.

4.8 Avaliação do Desempenho Sonoro das Lajes Avaliadas Frente às Normalizações

Para qualificar o desempenho do isolamento de impacto das lajes foram comparados níveis de isolamento medidos com aqueles encontrado em normas, tanto brasileira, quanto internacionais de países europeus que adotam o mesmo descritor $L'nTw$ em suas legislações.

4.8.1 Algumas considerações sobre norma brasileira

A NBR 15575:2008 já apresentada no Capítulo 3, será novamente mostrada na Tabela 4.9 para que seja possível um maior entendimento com relação às consideração que serão feitas na mesma.

Tabela 4.9 – Nível sonoro de impacto ponderado para medições *in-situ*.

Elemento	$L'nTw$ [dB]	Nível de Desempenho
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, sem tratamento acústico	66 a 80	M (Mínimo)
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico	56 a 65	I (Intermediário)
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico especial	≤ 55	S (Superior)

Fonte adaptado: NBR 15575-3:2008

A classificação da norma brasileira quanto ao isolamento sonoro de impacto em relação à duas categorias distintas, elemento e L'nTw, não se mostra adequada.

A categoria “elemento” caracteriza o sistema estrutural do edifício em relação à presença ou não de tratamento acústico especial, enquanto que o L'nTw fornece apenas intervalos de valores de referência para a classificação de desempenho. É importante salientar que a norma brasileira não define o que vem a ser um “tratamento acústico” nem “tratamento acústico especial”.

É fundamental ainda que se tenha atenção ao fato de que a questão do isolamento sonoro ao ruído de impacto deve ser considerada como parte integrante da concepção arquitetônica, não fazendo distinção se um determinado edifício possui ou não um tratamento específico. O cuidado com o fenômeno da transmissão sonora estrutural deve ser levado em consideração em qualquer tipo de projeto e isso deve ser entendido principalmente por arquitetos e engenheiros. Dessa forma, não se deve fazer distinção entre um projeto com e sem tratamento acústico, ao contrário, todos os projetos devem ser encarados como projetos acústicos com apenas tipos de sistemas estruturais diferentes.

Toma-se como exemplo o quarto NV-13. Nesse não há qualquer tipo de tratamento acústico, entendido aqui como a colocação de material resiliente sob o piso e, no entanto, o mesmo apresentou um L'nTw de 49 dB. Pela NBR, haveria uma imprecisão na sua classificação pois, considerando-se o valor L'nTw alcançado, pode-se classificá-lo com “nível de desempenho superior” mas, ao mesmo tempo, a amostra não possui nenhum tipo de tratamento acústico.

Outro aspecto discutível é que a norma brasileira apresenta o maior nível de L'nTw como 80 dB. O quarto NV-05 ensaiado no contrapiso, como na norma brasileira, obteve um L'nTw de 81 dB, portanto, não se enquadrando em nenhuma das categorias. Outros apartamentos aqui avaliados apresentaram níveis de até 89 dB como o NV-12.

Dessa forma, os resultados indicam que a classificação ao desempenho ao isolamento sonoro ao ruído de impacto deve

levar em consideração somente os níveis obtidos através dos ensaios em campo e não mais o caracterizar segundo o critério “elemento”. Os resultados mostraram também que não se deve limitar o valor máximo para o nível sonoro de impacto padronizado ponderado em 80 dB. Foi pensado durante a elaboração do presente estudo na criação de uma nova categoria de desempenho, mas por razões internas, se optou a adotar os critérios conforme a Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Critério de classificação das lajes ensaiadas de acordo com nível sonoro de impacto Ponderado, L'nTw, para medições *in-situ*.

L'nTw [dB]	Nível de Desempenho
> 66	M (Mínimo)
56 a 65	I (Intermediário)
≤ 55	S (Superior)

Os resultados dos quartos ensaiados serão discutidos de acordo com a classificação proposta na Tabela 4.10.

4.8.2 Avaliação dos resultados de acordo com a norma brasileira

Na avaliação de níveis de isolamento sonoro ao ruído de impacto avaliados *in-situ* em relação à norma brasileira, separaram-se os resultados em função do tipo de laje, nervurada, maciça e pré-moldada.

A Figura 4.31 mostra os níveis de L'nTw dos apartamentos com laje nervurada e as diferentes faixas de classificação da NBR. Dos 14 ensaios realizados, 5 apartamentos se enquadram dentro do nível de desempenho superior, com índices menores que 55 dB; nenhum apartamento analisado teve um desempenho considerado intermediário; e, a grande maioria, 9 quartos apresentaram níveis de desempenho mínimo com valores de L'nTw maiores que 66 dB.

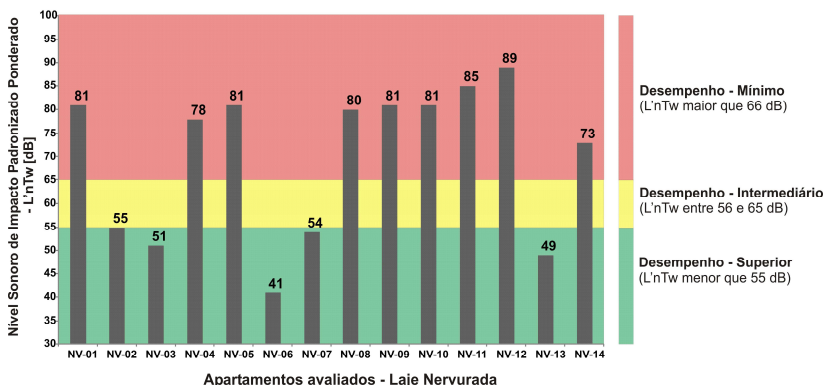


Figura 4.31 – L'nTw dos apartamentos avaliados com laje nervurada e os níveis de desempenho de impacto da nova proposta para a NBR.

A comparação entre o L'nTw dos apartamentos avaliados com laje maciça e a NBR pode ser visto na Figura 4.32. Para esse grupo de amostras apenas 1 apartamento apresentou um desempenho considerado superior, sendo importante apontar que esse apartamento possui carpete como revestimento de piso; nenhum tem desempenho intermediário e os outros 7 apartamentos apresentam desempenho mínimo.

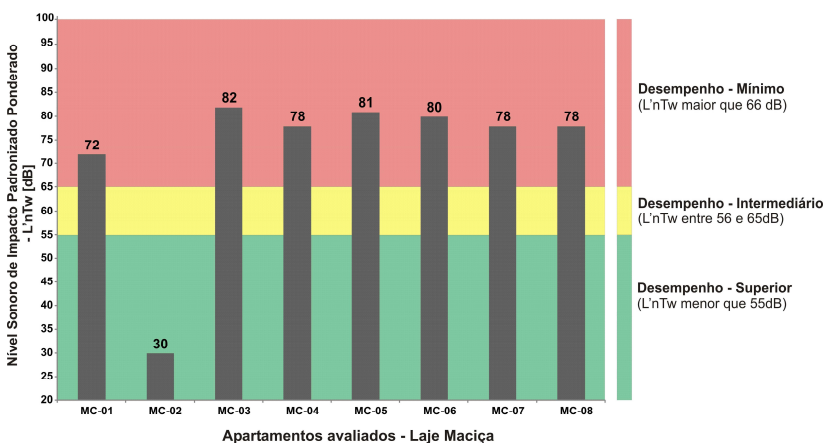


Figura 4.32 - L'nTw dos apartamentos avaliados com laje maciça e os níveis de desempenho de impacto da nova proposta para a NBR.

A avaliação para a laje pré-moldada pode ser vista na Figura 4.33. Para esse caso, não há nenhuma amostra que se enquadre dentro dos critérios de desempenho superior; apenas 1 apartamento apresenta desempenho intermediário com valor de 61 dB e, 7 apartamentos registram desempenho mínimo, com $L'nTw$ superiores a 66 dB.

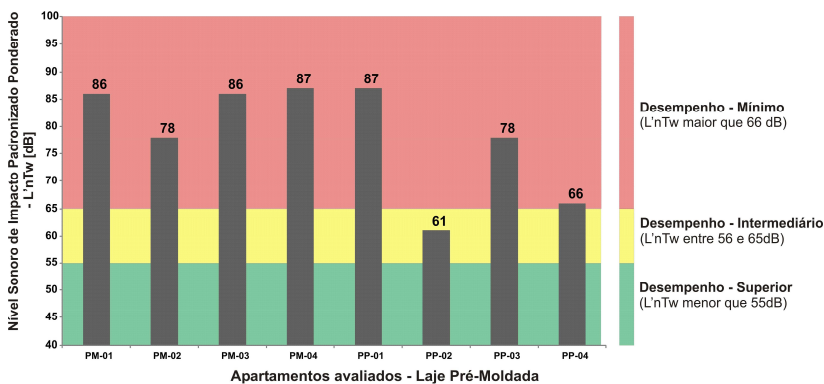


Figura 4.33 - $L'nTw$ dos apartamentos avaliados com laje pré-moldada e os níveis de desempenho de impacto da nova proposta para a NBR.

A avaliação global quanto ao desempenho de todos os apartamentos avaliados pode ser visto na Figura 4.34 abaixo.

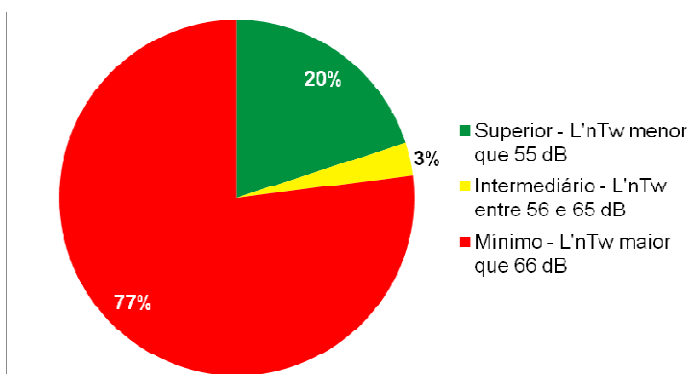


Figura 4.34 – Porcentagem dos níveis de desempenho pelos critérios da adotados no presente estudo.

Segundo os critérios de desempenho da norma brasileira percebe-se que 20% das lajes avaliadas apresentam desempenho superior com níveis inferiores a 55 dB; apenas 3% obtiveram desempenho intermediário entre 56 e 65 dB e, a grande maioria, 77% dos quartos avaliados, registram um desempenho mínimo, com valores de $L'nTw$ maiores que 66 dB.

4.8.3 Avaliação dos resultados de acordo com as normas dos países europeus

Foi feita uma comparação entre os níveis de isolamento sonoro ao ruído de impacto encontrados no presente estudo e os limites estabelecidos por países europeus que também adotam o descritor $L'nTw$ nas suas legislações, caso da Áustria, França, Bélgica, Reino Unido e Espanha. O país com o $L'nTw$ mais restritivo é a Áustria, permitindo valores até 48 dB; seguida pela França e Bélgica, com limite máximo de 58 dB; depois o Reino Unido, com 62 dB e, por fim, a Espanha, é o país menos restritivo do grupo, cujo, valor máximo de $L'nTw$ aceitável é 65 dB.

A Figura 4.35 mostra a comparação dos resultados dos apartamentos com laje nervurada com relação aos demandados pelos países europeus mencionados. É possível notar que, dos 14 apartamentos avaliados, apenas o quarto NV-06, com o $L'nTw$ de 41 dB, apresentou índice a ser aceito pela Áustria, sendo que essa laje apresenta revestimento em laminado de madeira e piso flutuante na sua composição estrutural; 5 amostras (NV-02, 03, 06, 07, 13) tiveram seus níveis inferiores a 58 dB, valor que seria aceito pela França e Bélgica, sendo que dentre esses, 4 amostras possuíam revestimento em laminado de madeira. Por fim, os 9 apartamentos restantes (NV-01, 04, 05, 08, 09, 10, 11, 12, 14), tem um desempenho inaceitável até para os níveis mais exigidos pela Espanha, pois excedem os 65 dB previstos naquele país.

A avaliação com relação à laje maciça pode ser vista na Figura 4.36. Nesse conjunto de amostras é visto que, das 8 lajes avaliadas, 7 quartos apresentam níveis superiores ao máximo permitido pela legislação espanhola. Apenas a amostra MC-02,

atingiu os níveis exigidos pela legislação austríaca. Essa laje é revestida em carpete.

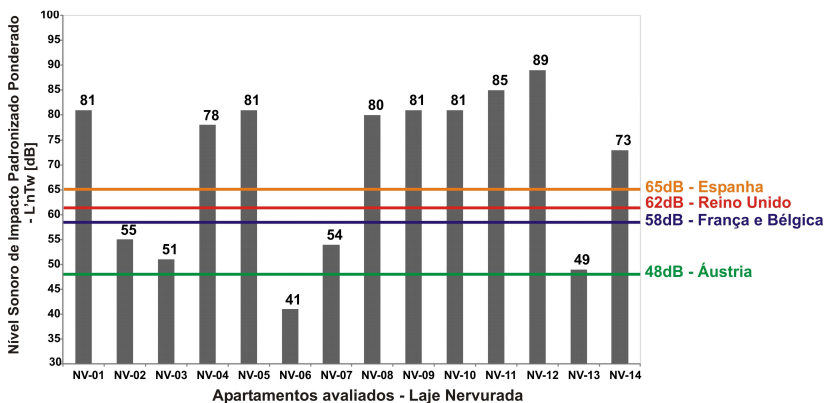


Figura 4.35 – L'nTw dos apartamentos avaliados com laje nervurada e os níveis máximos permitidos pela Áustria, França, Bélgica, Reino Unido e Espanha.

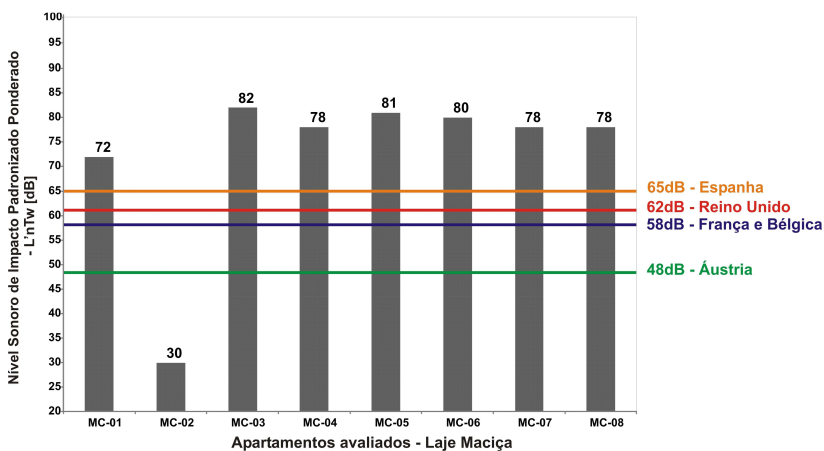


Figura 4.36 - L'nTw dos apartamentos avaliados com laje maciça e os níveis máximos permitidos pela Áustria, França, Bélgica, Reino Unido e Espanha.

A Figura 4.37 apresenta a comparação entre os níveis obtidos dos apartamentos avaliados com laje pré-moldada. É

possível perceber que nenhuma amostra se encaixou nos padrões exigidos pela Áustria, França e Bélgica.

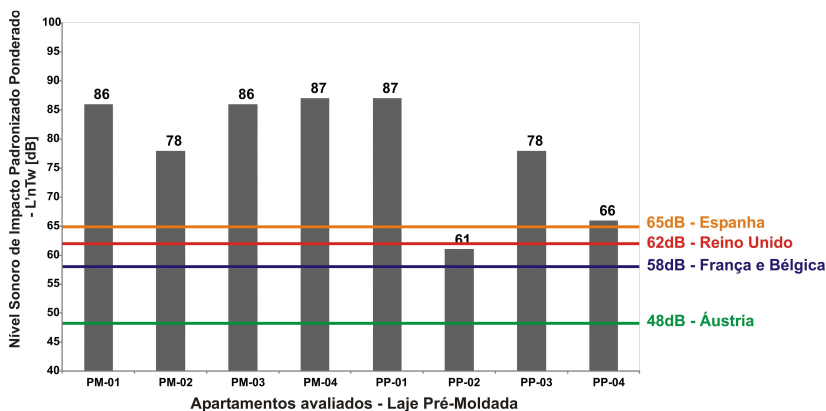


Figura 4.37 - L'_{nTw} dos apartamentos avaliados com laje Pré-Moldada e os níveis máximos permitidos pela Áustria, França, Bélgica, Reino Unido e Espanha.

Apenas o quarto PP-02, com valor de 61 dB, ficou abaixo do estabelecido pelo Reino Unido, que é de 62 dB. Essa laje é revestida com laminado de madeira e possui material resiliente sob o piso. O restante, 7 apartamentos, tiveram níveis acima do limite previsto pela Espanha, que é de 65 dB.

A Figura 4.38 apresenta, de forma resumida, a avaliação comparativa entre todos os níveis sonoros de impacto relativos ao universo estudado e os limites máximos permitidos pela legislação de cada de cada país europeu considerado.

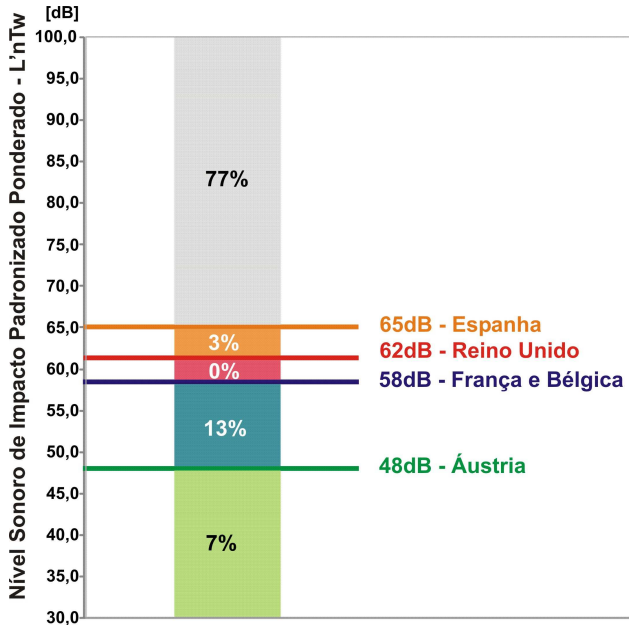


Figura 4.38 - Porcentagem referente aos quartos avaliados que seguem os níveis estipulados pelos países europeus.

De modo resumido é apresentado de forma acumulativa a percentagem de amostras ensaiadas em relação à legislação de países europeus. É visto que apenas 7% das amostras ficaram abaixo do valor aceitável estipulado pela Áustria; 20% (7%+13%) das amostras atendem a exigência proposta pela França e Bélgica e, 23% (7%+13%+3%) das amostras se apresentam de acordo com as diretrizes do Reino Unido e Espanha. Por fim, conclui-se que a grande maioria dos apartamentos avaliados, 77%, tem níveis de isolamento ao ruído de impacto que excedem o valor máximo permitido para os padrões dos países europeus avaliados.

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações Finais

Esta dissertação apresentou e discutiu os resultados de medições *in-situ* de isolamento ao ruído de impacto de lajes em edifícios residenciais. Inicialmente, foi apresentado o estado da arte em transmissão sonora estrutural e definidos os principais parâmetros, normas e procedimentos de ensaio que concernentes ao tema. A seguir, foram caracterizados sistemas laje/pisos típicos existentes em edifícios de apartamentos, tomando como estudo de caso as edificações de Florianópolis. Nesse levantamento identificaram-se os diferentes tipos de sistemas construtivos mais utilizados em edifícios residenciais. Como resultado dessa etapa apontaram-se três tipos de lajes mais usadas: maciça, nervurada e pré-moldada. Na sequência, apresentaram-se os resultados dos ensaios acústicos propriamente ditos, baseados nas diretrizes das normas ISO 140-7 (1998) e ISO 717-2 (1996). Como local de ensaio foi escolhido o dormitório em edifícios residenciais perfazendo um total de 30 ensaios. Os valores obtidos experimentalmente foram comparados com os limites máximos estabelecidos em normas internacionais e nacional.

De maneira geral, com relação aos níveis sonoros de impacto medidos no interior dos apartamentos avaliados, pode-se concluir que:

1. Comparando os níveis sonoros de impacto dos três tipos de laje avaliados, nervurada, maciça e pré-moldada, não há indícios suficientemente fortes que indiquem uma relação direta entre o sistema construtivo utilizado e o nível sonoro resultante, visto que é grande a variabilidade de valores de $L'nTw$ para cada tipo de laje. Nas lajes nervuradas, a variação entre o melhor e o pior desempenho foi de 48 dB e, para as lajes maciças, a diferença foi de 52 dB entre o menor e o maior índice. Por fim, nas lajes pré-moldadas, a variação foi de 26 dB, configurando-se o tipo de laje com menos variação de níveis de isolamento. Portanto, com o universo de amostras ensaiadas não se pode estabelecer um relação

entre o nível sonoro de impacto padronizado e o tipo de laje utilizada.

2. Os resultados respaldam a afirmação de que o tipo de revestimento de piso é determinante para o nível de isolamento sonoro de impacto, indicando que a característica elástica da componente que recebe o impacto é que irá exercer influência no comportamento acústico final do sistema estrutural. Os níveis mais baixos, de melhor isolamento, foram os obtidos com revestimento em carpete, seguidos pelos pisos revestidos em laminado de madeira, as lajes no contrapiso e, por último, os pisos com revestimento cerâmico.
3. Pelos resultados obtidos é possível afirmar que o nível de desempenho acústico das lajes brasileiras não atende aos níveis mínimos de isolamento exigidos por normas internacionais. Em particular, foram estudadas as diretrizes da Áustria, França, Bélgica, Reino Unido e Espanha, países que adotam em suas legislações o mesmo descritor acústico de impacto usado na norma brasileira e na presente pesquisa – $L'nTw$. Dentre esses países, a Espanha é o país mais tolerante com relação ao isolamento ao ruído de impacto, com nível máximo permitido de 65 dB, enquanto a Áustria, país com nível mais restritivo, permite um valor máximo de 48 dB. Das lajes ensaiadas, apenas 7% atendem a exigência austríaca, sendo que a grande maioria, 77% dos quartos avaliados, supera o índice espanhol, o mais permissivo, mostrando, dessa forma, que o desempenho das lajes estudadas está muito aquém do mínimo exigido pelos padrões internacionais.
4. Com relação à norma brasileira NBR 15575-3 não foi possível estabelecer relação entre o critério “elemento” e “desempenho” para a classificação dos níveis de isolamento ao ruído de impacto encontrados *in-situ* conforme aquela diretriz. Em consequência, a avaliação foi feita exclusivamente seguindo os valores $L'nTw$ obtidos *in-situ*. Os resultados mostraram que 20% das amostras foram

enquadradas como de desempenho superior, 3% dos apartamentos avaliados como intermediário e, 77% na pior classificação, de desempenho mínimo. Destaca-se ainda, que foram obtidos valores superiores à 80 dB, que é o nível máximo previsto na legislação nacional.

5.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

Em continuidade a este estudo, sugere-se os seguintes temas:

- Aumentar do universo de amostras de forma a permitir um tratamento estatístico do mesmo;
- Investigar outras regiões do país para verificar se os resultados encontrados no presente trabalho podem ser generalizados.
- Investigar o isolamento ao ruído sonoro de impacto em edifícios comerciais e de uso-público uma vez que é esperado que nesses tipos de edifícios os sistemas construtivos sejam diferentes dos encontrados nos edifícios residenciais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard classification for determination of impact insulation class. ASTM E989, 1989.

ARIZMENDI, L.J. Tratado Fundamental de Acustica en la Edificacion. Pamplona: EUNSA, [198-].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Níveis de ruído para conforto acústico. NBR-10152, 1987.

_____. Acústica - Avaliação do ruídos em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. NBR-10151, 2000.

_____. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 6118, 2003.

_____. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. NBR 15575. Parte 1: Requisitos gerais, 2008.

_____. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. NBR 15575. Parte 3: Requisitos para sistemas de pisos internos, 2008.

BASTOS, P.S.S. **Vigas e lajes de concreto armado**. Apostila ministrada na disciplina Sistemas Estruturais I, do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2005.

BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2006.

BRÜEL & KJÆL. Measurements in building acoustics. Dinamarca, 1988.

_____. Building Acoustics: with 2260 investigator, BZ 7204 and BZ 7207. Dinamarca, 1999.

_____. **BP 1691-17. Product data** – Type 2260-D with BZ 7204 and Qualifier Type 7830, 2006. Disponível em: <<http://www.bksv.com/doc/bp1691.pdf>>. Acesso em 24 maio 2009.

BURATTI, C; MORETTI, E. Impact noise deduction: Laboratory and field measurements of different materials performances. In: EURONOISE, 2006, Tampere. **Proceedings...** Tampere, 2006.

CARVALHO, M.L.U et al. Estudo comparativo do isolamento do ruído de impacto do resíduo de pneus em edificações. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 22., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2008.

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

DÍAZ, C; PEDRERO, A. The reverberation time of furnished rooms in dwellings. **Applied Acoustics**. 2005.

DONGEN, J.E.F.V. Noise Annoyance from Neighbours. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 2001, Hague. **Proceedings...** Hague, 2001.

DUARTE, E.A.C. **Estudo do isolamento acústico das paredes de vedação da moradia brasileira ao longo da história**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis, 2005.

DUARTE, E.A.C; VIVEIROS, E.B. Isolamento Acústico: O Atributo Invisível na História da Moradia Brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO

AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005.

_____. Reflexões sobre atenuação sonora e projeto arquitetônico. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2006.

EUROPEAN STANDARD. Buildings Acoustics – Estimation of Acoustic performance of buildings from the performance of elements. ES 12354. Part 2: Impact sound insulation between rooms, 2000.

DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT. A guide to airborne, impact, and structureborne noise control in multifamily dwellings. Washington, D. C., 1974.

FERRAZ, R; MOURA, F.L.C. e VECCI, M.A. Análise de atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações – estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., e ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Ouro Preto, 2007. **Anais...** Ouro Preto, 2007.

FERRAZ, R; RODRIGUES, F.C; VECCI, M.A. Considerações sobre critérios para ruído de pisos estabelecidos pela NBR 15575-3:2008. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 22., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2008.

GATLAND II, S.D. Comparison of lightweight partition assemblies typical of american and european residential and commercial construction. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 34., 2005, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2005.

GERRETSEN, E. A new system for rating impact sound insulation. **Applied Acoustics**, v. 9, p. 247-263, 1976.

_____. Calculation of the sound transmission between dwellings by partitions and flanking structures, **Applied Acoustics**, p. 413-433, 1979.

_____. Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings. **Applied Acoustics**, v. 19, p 245-264, 1986.

_____. Alternative rating of impact sound insulation. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 23., 1994, Yokohama. **Proceedings...** Yokohama, 1994.

_____. Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. In: DAGA'03., 2003, Aachen. **Proceedings...** Aachen, 2003.

_____. Some practical aspects of the prediction of structure-borne sound caused by house-hold equipment. In: ACOUSTICS'08, 2008, Paris. **Proceedings...** Paris, 2008. p. 3071-3076

GIONGO, J.S. Concreto armado: Projeto estrutural de edifícios. São Carlos, 2007. 184 p.

GOULARTI FILHO, A. **A Formação Econômica de Santa Catarina**. 2a. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007. 473 p.

GRAUDEZ, G.S; DANTAS, E. Poluição dos ambientes internos: Doenças e sintomas relacionados às edificações. **Revista Brasileira de Medicina**. ano 2, n.1, fev. 2007.

GRIMWOOD, C. Complains about poor sound insulation between dwellings in England and Wales. **Applied Acoustics**, v. 52, n. 3/4, p. 211-233, 1997.

HODA, S.S; Technical note: Controlling the impact sound insulation of concrete slab floors. **Building Acoustics**, v.13, n. 3, p. 243-251, 2006.

IM, J; CHUNG, J. A study to reduce heavyweight floor impact noise in apartment building using stiffness reinforcement method on concrete slab. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 36., 2007, Istanbul. **Proceedings...** Istanbul, 2007.

INSTITUTE OF ENVIRONMENT AND HEALTH, The non-auditory effects of noise, Report R10, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements. ISO 717. Part 2: Impact sound insulation, 1996.

_____. Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. ISO 3382, 1997.

_____. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. ISO 140. Part 6: Laboratory measurements of impact sound insulation of floors, 1998.

_____. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. ISO 140. Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors, 1998.

_____. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. ISO 140. Part 8: Laboratory measurements of the reduction of the transmitted impact noise by floor coverings on a heavyweight standard floor, 1998.

ISOVER. **Guide L'acoustique du Bâtiment**, 2006. Disponível em:

<http://www.isover.fr/var/isover/storage/synchronisation/doc/isover/ficheP/MDG_guideAcoustique.pdf>. Acesso em 29 maio 2009.

JAGNIATINSKIS, A; FIKS, B. Application of different descriptors for in situ sound insulation. In: THE INTERNATIONAL

CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 33., 2004, Praga. **Proceedings...** Praga, 2004.

KIHLMAN, T. Fifty years of "Development" in sound insulation of dwellings. **Institute of Noise Control Engineering**, 1994.

KNUDSEN, V.O; HARRIS, C.M. Acoustical Designing in Architecture. **The Journal of the Acoustical Society of America**: USA, 1988.

KOUYOUMJI, J. L. Reverse SEA used of characterization and prediction of flanking transmission in timber light weight construction. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 34., 2005, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2005.

KUTTRUFF, H. **Room Acoustics**. 2nd ed. London: Applied Science Publishers Ltd, 1979.

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.

MATEUS, D; SANTOS, P. Previsão da transmissão marginal de sons de percussão entre compartimentos sobrepostos. In: **ACÚSTICA 2008**, Coimbra, 2008. **Proceedings...** Coimbra, 2008.

MERLIN, A.J et al. Análise do efeito de protensão em lajes pré-moldadas com armação treliçada. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-CONSTRUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO**, 1., 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2005.

NAKAMORI, S; YOSHIMURA, J. Influential factors on floor sound insulation measurements of floating floors. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE

CONTROL ENGINEERING, 36., 2007, Istanbul. **Proceedings...** Istanbul, 2007.

NAPPI, S.C.B. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico, Florianópolis, 1993.

NARDI, A.S.L.V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano : estudo de caso: área central de Florianópolis.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis, 2008.

NARDI, A.V; VIVEIROS, E.B; COELHO, J.L.B; NEVES, M.M. Uma contribuição para o aprimoramento do Estudo de Impacto de Vizinhança: a gestão do ruído ambiental por mapeamento sonoro. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 22., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2008.

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

OLIVEIRA, R. **A methodology for housing design.** 1994. 292f. Tese (Doutorado) - University of Waterloo, Dept. of Civil Engineering, Waterloo, 1994.

ORAL, G.K; YENER, A.K; BAYAZIT, N.T. Building envelope design with the objective the ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. **Building and Enviroment**, 39., 281-287, 2004.

PATRÍCIO, J. Algumas considerações sobre a influência da transmissão marginal no valor no valor do índice de isolamento sonoro a sons de impacto. In: TECNIACUSTICA, 1999, Ávila. **Proceedings...** Ávila, 1999.

_____. Can Beam-block Floors be considered Homogeneous Panels Regarding Impact Sound Insulation. **Building Acoustics**, v.8, n. 3, p. 223-236, 2001.

_____. Case Study: Laboratory and Field Measurements for Evaluating the Weighted Reduction in Impact Noise Associated with Floor Coverings. **Building Acoustics**, v.9, n. 2, p. 151-162, 2002.

_____. Acústica de edifícios: índice de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu. **ACÚSTICA E VIBRAÇÕES**. Rio de Janeiro, n. 39, p. 29 -34, mai. 2008.

PATRÍCIO, J; PIEDADE, A.C. The improvement of impact noise insulation in situ: Which index to use? **ENGENHARIA CIVIL – UM**. N. 8, p. 29-38, 2000.

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

PEREYRON, D; SANTOS, J.L.P. Laje nervurada: Análise da performance acústica para ruído de impacto. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9. e ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,5., Ouro Preto, 2007. **Anais...** Ouro Preto, 2007.

POLLI, T. **O isolamento acústico comparado aos investimentos financeiros em edifícios multifamiliares de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis, 2007.

QUEIROZ, C; VIVEIROS, E.B. Simulação do desempenho de isolamento acústico de fachadas de edificações residenciais

multifamiliares de diferentes períodos arquitetônicos. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 6., 2008. **Anais...** Buenos Aires, 2008.

RASMUSSEN, B. Sound Insulation between dwellings – Classification schemes and building regulations in Europe. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 33., 2004. **Proceedings...** Praga, 2004.

REYNOLDS, D.D. Engineering Principles of Acoustics: Noise and Vibration Control. Boston: Allyn and Bacon, Inc., 1981.

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

SCHMID, M. Acoustic performance of timber concrete composite floor. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 34., 2005, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2005.

SEO, S.H.; JEON, J.Y. Application of the finite element method for floor impact vibration analysis in apartment buildings. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 34., 2005, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2005.

SHARLAND, I; LORD, P. **Woods practical guide to noise control**. 3rd ed. England: Woods of Colchester Limited, 1979.

SHERIDAN, L.; MALUSKI, S. Field Measurement and Criteria for Sound Insulation Between Dwellings in Europe. **Building Acoustics**, v.7, n. 1, p. 31-40, 2000.

SCHMID, M.T. **Lajes planas protendidas**. Publicação Técnica. Disponível em:

http://www.rudloff.com.br/conteudo/texto/publicacoes/lajes_edicao_2009-revA-A4-COMPLETO.pdf.> Acesso em 01 maio 2009.

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

VIVEIROS, E.B. Relatório Final. Edital Universal 2006. Processo CNPq nº 484092/2006-6, 2006.

WHICKER, D. Footstep/Impact Noise in apartments, condominiums and other multi-family dwellings. BKL - Consultants in Acoustics, 2005.

YANG, K,S; KIM, K,W; YANG, J,H. Attenuation of heavyweight floor impact sound depending on the arrangement of odol layer built on concrete slab. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 36., 2007, Istanbul. **Proceedings...** Istanbul, 2007.

APÊNDICE

Apêndice A. Características construtivas dos quartos avaliados e respectivo nível de isolamento sonoro de impacto ponderado

Código:	L'nTw	Área	Volume	Esp. Laje	Esp. Final	piso fonte
Laje Nervurada						
NV-01	81	10,2	27,0	24	32	cerâmico
NV-02	55	9,9	25,6	24	32	laminado
NV-03	51	11,6	30,5	23	31	laminado
NV-04	78	13,0	35,8	17	25	contrapiso
NV-05	81	8,9	24,1	22	30	contrapiso
NV-06	41	13,0	31,0	28	38	laminado
NV-07	54	8,6	20,7	28	43	cerâmico
NV-08	80	7,1	19,1	25	35	contrapiso
NV-09	81	8,9	23,3	25	33	cerâmico
NV-10	81	13,9	42,6	30	47	cerâmico
NV-11	85	9,6	25,0	24	32	cerâmico
NV-12	89	9,1	23,7	16	23	cerâmico
NV-13	49	12,1	29,5	30	39	laminado
NV-14	73	11,4	30,7	25	35	contrapiso
Laje Maciça						
MC-01	72	8,8	23,7	12	20	contrapiso
MC-02	30	6,9	18,5	15	18	carpete
MC-03	82	13,0	33,4	10	13	cerâmico
MC-04	78	10,3	26,7	19	22	cerâmico
MC-05	81	7,1	18,2	15	18	cerâmico
MC-06	80	8,7	23,4	10	13	cerâmico
MC-07	78	11,4	29,0	12	15	cerâmico Laminado
MC-08	78	10,1	25,7	15	18	

Código:	L'nTw	Área	Volume	Esp. Laje	Esp. Final	piso fonte
Laje Pré-Moldada						
PM-01	86	8,8	23,4	15	18	cerâmico
PM-02	78	9,3	24,4	15	18	cerâmico
PM-03	86	7,0	19,1	15	18	cerâmico
PM-04	87	9,3	23,7	20	23	cerâmico
PP-01	87	10,3	27,2	13	18	cerâmico
PP-02	61	8,4	22,7	12	23	laminado
PP-03	78	8,8	23,3	12	21	cerâmico
PP-04	66	9,7	25,6	12	21	laminado

Apêndice B. Resultados individuais de cada medição

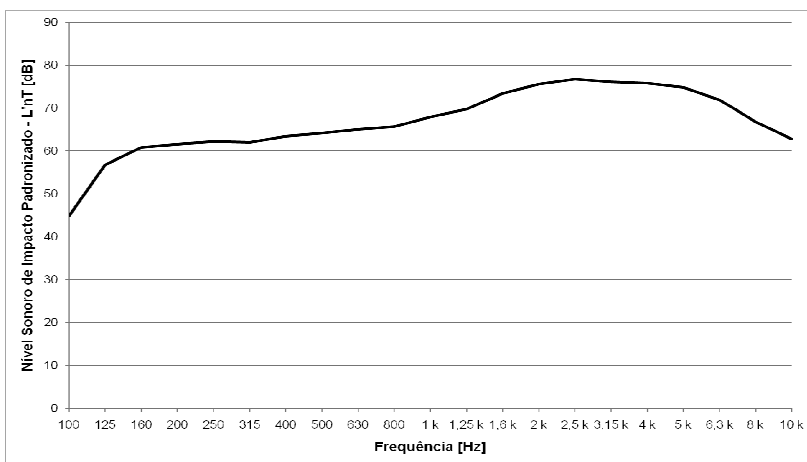


Figura B.1 – Curva de L'nT para o apartamento NV-01.

Tabela B.1 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-01

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	56,80	43,30	7,79	44,90
125	68,90	44,10	8,36	56,70
160	71,40	44,10	5,70	60,80
200	70,70	40,50	4,06	61,60
250	70,80	39,30	3,60	62,20
315	70,60	38,20	3,60	62,00
400	71,50	36,90	3,27	63,40
500	72,20	35,60	3,18	64,20
630	72,80	33,20	3,04	65,00
800	73,70	32,30	3,12	65,70
1 k	75,90	31,90	3,16	67,90
1,25 k	77,50	30,10	2,97	69,80
1,6 k	80,80	27,20	2,74	73,40
2 k	82,70	25,70	2,60	75,60
2,5 k	83,80	24,50	2,49	76,80
3,15 k	82,70	22,00	2,28	76,10
4 k	82,10	19,60	2,11	75,80
5 k	80,60	17,90	1,90	74,80
6,3 k	77,10	13,30	1,65	71,90
8 k	71,30	11,90	1,39	66,80
10 k	66,40	11,80	1,13	62,80

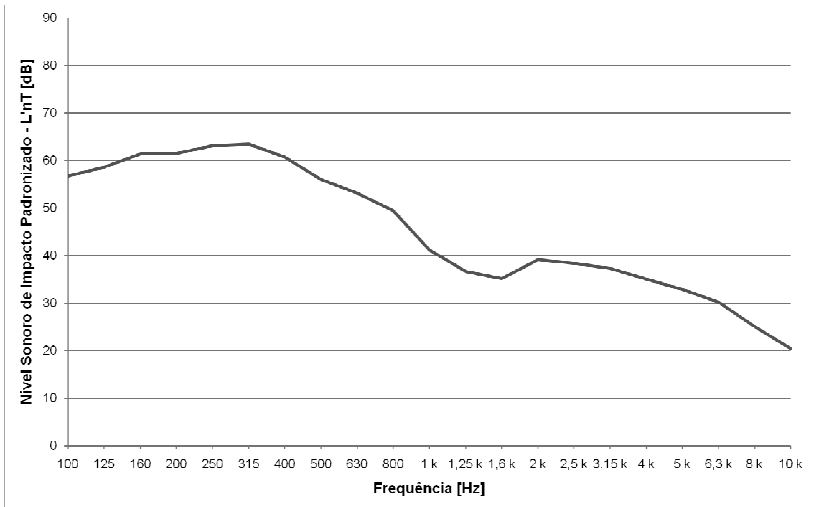


Figura B.2 – Curva de L'nT para o apartamento NV-02.

Tabela B.2 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-02

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	65,50	45,50	3,83	56,70
125	67,50	42,90	3,91	58,60
160	69,60	42,00	3,27	61,40
200	69,10	40,20	2,87	61,50
250	70,00	39,70	2,47	63,10
315	69,80	35,70	2,21	63,40
400	66,20	32,30	1,78	60,70
500	60,50	30,40	1,40	56,00
630	57,60	31,00	1,41	53,10
800	55,30	32,60	1,94	49,40
1 k	47,70	33,30	2,24	41,20
1,25 k	43,30	31,70	2,37	36,60
1,6 k	41,90	28,50	2,41	35,10
2 k	45,90	25,90	2,39	39,10
2,5 k	44,90	24,10	2,26	38,40
3,15 k	43,40	22,40	2,05	37,30
4 k	40,40	19,30	1,73	35,00
5 k	38,00	15,40	1,61	32,90
6,3 k	34,60	11,80	1,40	30,20
8 k	28,60	11,20	1,16	25,00
10 k	23,20	11,60	0,94	20,40

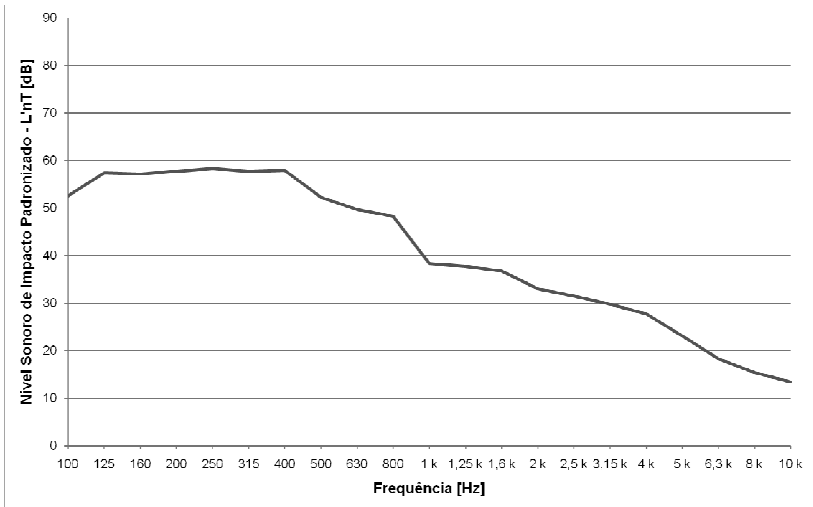


Figura B.3 – Curva de L'nT para o apartamento NV-03.

Tabela B.3 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-03

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	51,90	36,20	0,43	52,60
125	55,00	35,50	0,29	57,40
160	56,10	35,30	0,39	57,20
200	56,00	29,40	0,34	57,70
250	55,80	28,60	0,28	58,30
315	56,10	28,10	0,34	57,70
400	55,10	25,30	0,26	57,90
500	50,50	22,10	0,33	52,20
630	47,10	21,60	0,28	49,60
800	46,70	19,60	0,35	48,30
1 k	36,90	18,50	0,36	38,30
1,25 k	35,70	19,70	0,32	37,70
1,6 k	34,60	23,10	0,31	36,70
2 k	30,90	23,00	0,31	33,00
2,5 k	29,40	20,70	0,31	31,50
3,15 k	27,60	20,90	0,30	29,80
4 k	25,60	18,60	0,31	27,70
5 k	20,90	13,10	0,30	23,10
6,3 k	16,00	11,60	0,29	18,30
8 k	13,10	11,00	0,29	15,40
10 k	66,40	11,80	1,13	62,80

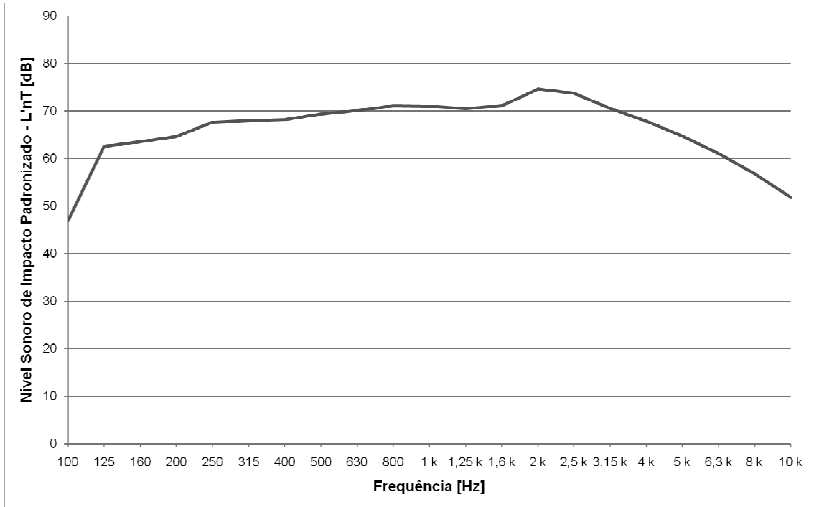


Figura B.4 – Curva de L'nT para o apartamento NV-04.

Tabela B.4 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-04

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	57,50	41,50	5,66	47,00
125	73,20	46,50	5,62	62,60
160	73,10	45,00	4,59	63,50
200	73,70	43,00	4,11	64,60
250	76,40	42,50	3,83	67,60
315	76,50	41,50	3,62	67,90
400	76,40	40,50	3,30	68,20
500	77,50	37,90	3,29	69,30
630	77,80	36,50	2,93	70,10
800	78,20	36,00	2,56	71,10
1 k	77,70	34,50	2,39	70,90
1,25 k	76,90	33,90	2,19	70,50
1,6 k	77,00	31,80	1,99	71,00
2 k	80,40	30,30	1,92	74,60
2,5 k	79,30	29,20	1,80	73,70
3,15 k	75,70	26,40	1,65	70,50
4 k	72,60	21,20	1,52	67,80
5 k	69,20	17,90	1,42	64,70
6,3 k	65,00	15,90	1,23	61,10
8 k	60,10	12,10	1,09	56,70
10 k	54,40	12,50	0,91	51,80

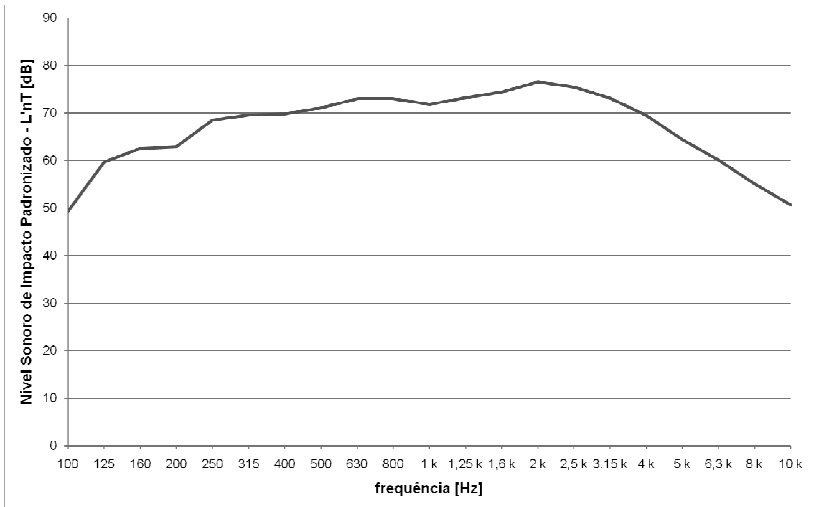


Figura B.5 – Curva de L'nT para o apartamento NV-05.

Tabela B.5 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-05

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	57,90	38,70	3,62	49,30
125	69,40	40,20	4,82	59,60
160	71,30	39,40	3,68	62,60
200	71,90	35,80	3,94	62,90
250	76,70	36,40	3,27	68,50
315	77,00	35,20	2,77	69,60
400	77,30	33,10	2,81	69,80
500	78,40	31,70	2,74	71,00
630	79,70	31,60	2,32	73,00
800	79,10	30,50	2,05	73,00
1 k	77,60	30,30	1,87	71,80
1,25 k	78,60	30,40	1,70	73,20
1,6 k	79,30	29,00	1,56	74,40
2 k	81,40	27,30	1,53	76,50
2,5 k	79,80	26,40	1,37	75,50
3,15 k	77,20	24,10	1,29	73,10
4 k	73,20	22,30	1,20	69,40
5 k	68,00	16,80	1,13	64,40
6,3 k	63,10	14,30	1,00	60,10
8 k	57,50	13,70	0,90	55,00
10 k	54,40	12,50	0,91	51,80

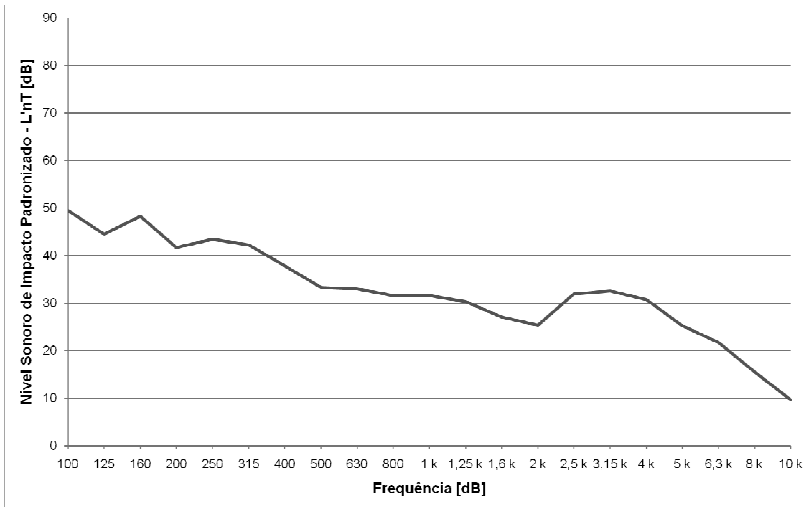


Figura B.6 – Curva de L'nT para o apartamento NV-06.

Tabela B.6 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-06

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	56,50	40,10	2,55	49,40
125	51,60	38,80	2,60	44,50
160	54,90	45,90	2,26	48,30
200	48,60	41,50	2,46	41,70
250	49,80	36,10	2,20	43,40
315	47,70	36,60	1,75	42,20
400	43,00	38,50	1,63	37,80
500	37,60	32,80	1,35	33,30
630	36,40	31,90	1,10	33,00
800	35,60	33,30	1,27	31,60
1 k	36,50	36,00	1,53	31,60
1,25 k	35,00	34,70	1,48	30,30
1,6 k	31,50	29,60	1,37	27,10
2 k	29,40	24,60	1,28	25,30
2,5 k	35,90	20,60	1,26	31,90
3,15 k	36,60	16,80	1,24	32,60
4 k	34,40	15,10	1,17	30,70
5 k	28,70	14,10	1,13	25,20
6,3 k	25,00	12,20	1,07	21,70
8 k	18,40	11,20	0,98	15,50
10 k	11,90	11,40	0,85	9,60

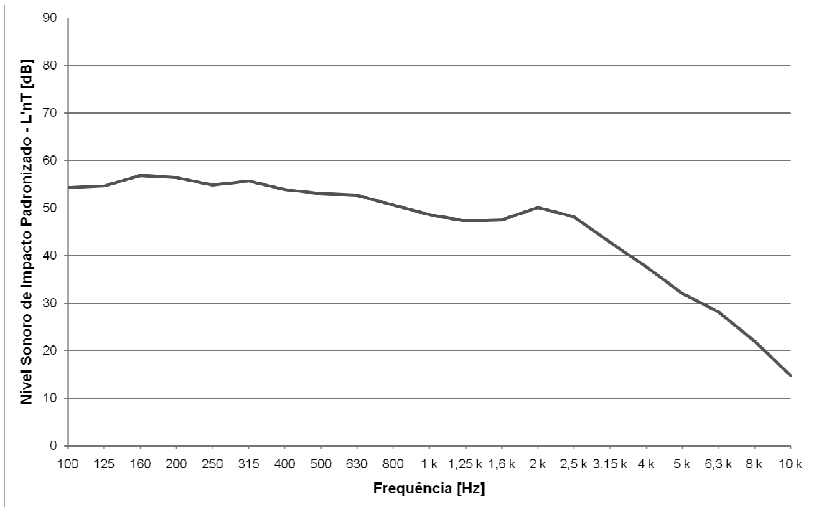


Figura B.7 – Curva de L'nT para o apartamento NV-07.

Tabela B.7 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-07

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	53,70	39,80	0,44	54,30
125	53,00	38,20	0,35	54,60
160	55,60	37,90	0,37	56,90
200	53,00	33,10	0,23	56,40
250	52,10	28,40	0,27	54,80
315	52,60	29,00	0,24	55,70
400	51,70	27,90	0,31	53,80
500	50,90	27,00	0,31	53,00
630	49,90	26,20	0,26	52,70
800	47,90	26,40	0,27	50,60
1 k	46,20	28,60	0,29	48,60
1,25 k	44,30	28,50	0,25	47,30
1,6 k	44,50	25,90	0,25	47,50
2 k	47,10	21,20	0,25	50,10
2,5 k	45,40	19,10	0,27	48,10
3,15 k	40,60	17,50	0,30	42,80
4 k	35,50	13,80	0,31	37,60
5 k	29,90	12,00	0,31	32,00
6,3 k	26,10	11,10	0,31	28,10
8 k	20,10	10,70	0,33	21,90
10 k	12,60	11,40	0,31	14,70

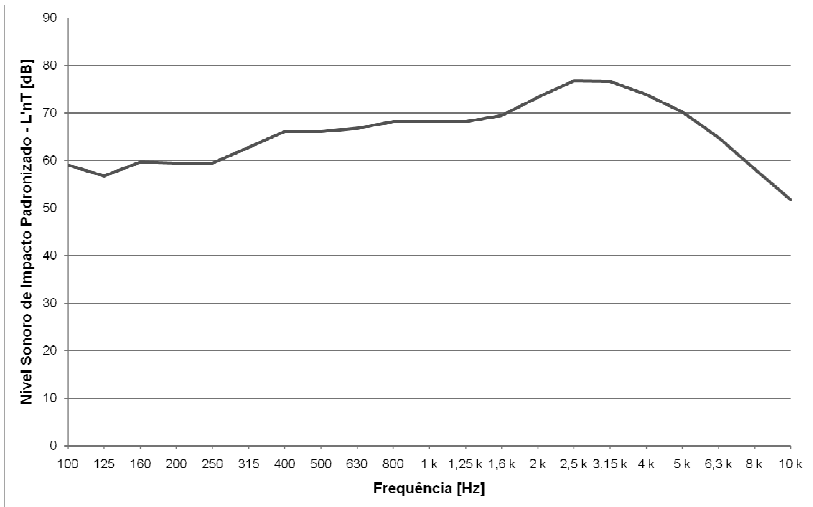


Figura B.8 – Curva de L'nT para o apartamento NV-08.

Tabela B.8 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-08

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	58,50	37,80	0,45	59,00
125	57,00	39,00	0,53	56,80
160	59,70	37,50	0,52	59,60
200	59,00	34,80	0,46	59,40
250	59,20	30,90	0,48	59,40
315	63,70	30,90	0,62	62,80
400	66,20	31,00	0,51	66,10
500	66,50	29,30	0,55	66,10
630	66,90	28,70	0,53	66,70
800	67,90	27,90	0,47	68,20
1 k	68,10	27,50	0,48	68,20
1,25 k	68,00	27,00	0,47	68,20
1,6 k	68,90	24,80	0,44	69,40
2 k	72,60	23,90	0,43	73,30
2,5 k	75,90	25,00	0,41	76,70
3,15 k	75,80	22,10	0,42	76,60
4 k	72,70	17,30	0,39	73,80
5 k	68,90	16,40	0,37	70,20
6,3 k	63,60	16,50	0,38	64,80
8 k	56,90	12,50	0,38	58,10
10 k	50,10	12,00	0,35	51,70

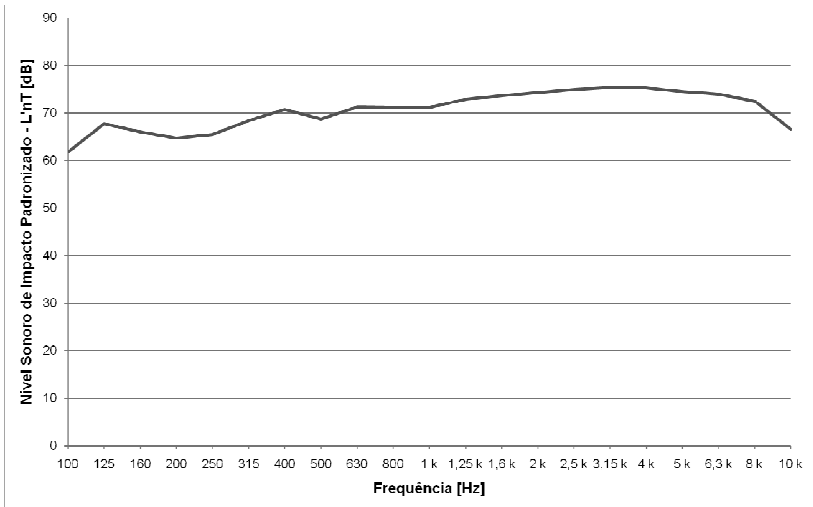


Figura B.9 – Curva de L'nT para o apartamento NV-09.

Tabela B.9 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-09

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	59,10	34,50	0,27	61,80
125	64,50	40,50	0,24	67,70
160	62,30	34,10	0,21	66,00
200	60,90	30,70	0,21	64,70
250	62,50	28,20	0,25	65,50
315	65,00	27,60	0,23	68,40
400	67,10	26,00	0,22	70,70
500	65,70	26,00	0,25	68,70
630	68,90	24,90	0,29	71,30
800	68,60	25,00	0,27	71,20
1 k	68,80	27,50	0,29	71,20
1,25 k	70,40	27,60	0,28	72,90
1,6 k	70,90	23,30	0,27	73,60
2 k	71,40	21,50	0,26	74,30
2,5 k	71,90	21,70	0,25	74,90
3,15 k	72,40	18,00	0,25	75,40
4 k	72,50	15,60	0,27	75,20
5 k	71,60	13,50	0,26	74,50
6,3 k	71,20	12,30	0,26	74,00
8 k	69,40	13,10	0,25	72,40
10 k	63,90	12,70	0,27	66,50

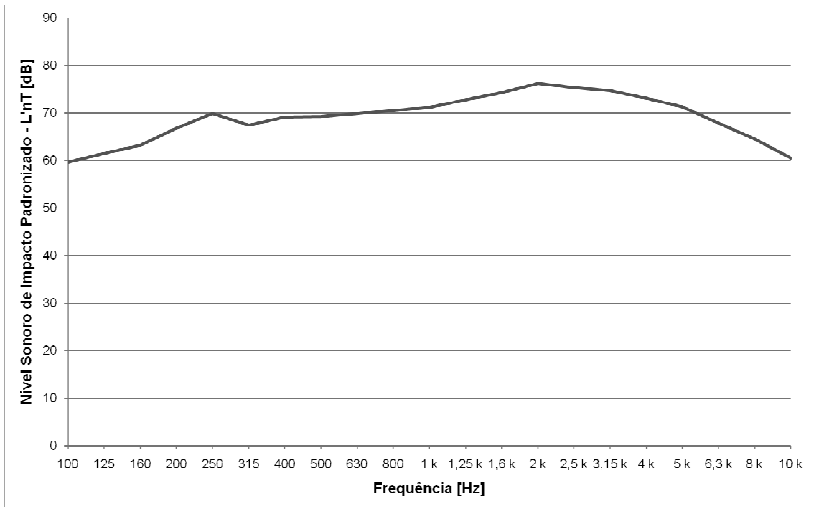


Figura B.10 – Curva de L'nT para o apartamento NV-10.

Tabela B.10 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-10

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	60,00	37,20	0,55	59,60
125	61,50	38,10	0,50	61,50
160	62,60	36,10	0,44	63,20
200	66,60	36,70	0,49	66,70
250	69,80	38,30	0,48	69,90
315	67,00	36,70	0,46	67,40
400	68,20	36,30	0,41	69,10
500	68,50	32,60	0,42	69,20
630	69,30	27,90	0,43	69,90
800	69,60	24,40	0,41	70,50
1 k	70,50	21,10	0,43	71,20
1,25 k	72,10	20,90	0,42	72,80
1,6 k	73,40	20,80	0,41	74,30
2 k	75,40	16,90	0,42	76,20
2,5 k	74,40	16,00	0,41	75,30
3,15 k	73,80	13,50	0,40	74,70
4 k	72,20	11,70	0,41	73,10
5 k	70,10	11,10	0,38	71,30
6,3 k	66,80	10,70	0,40	67,80
8 k	63,30	10,90	0,38	64,50
10 k	59,10	11,30	0,36	60,50

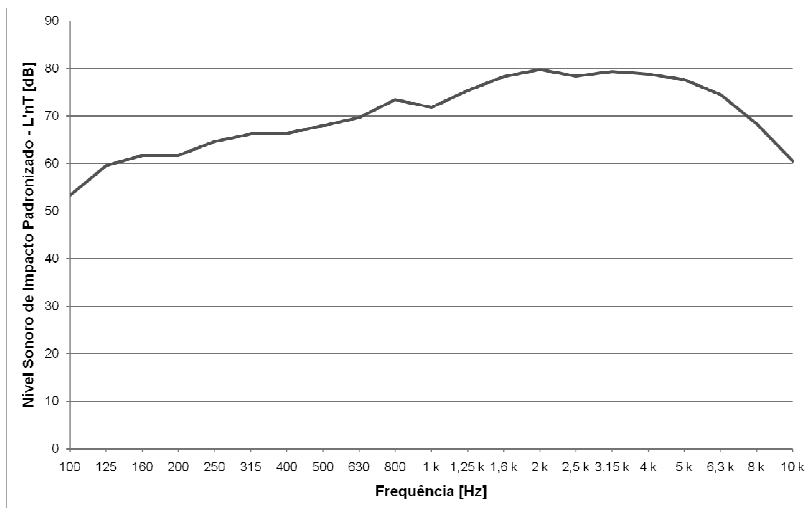


Figura B.11 – Curva de L'nT para o apartamento NV-11.

Tabela B.11 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-11

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	61,20	49,90	3,07	53,30
125	67,80	53,40	3,36	59,50
160	69,50	63,50	2,95	61,70
200	68,30	55,70	2,30	61,70
250	71,50	57,40	2,46	64,60
315	72,20	54,00	1,98	66,20
400	72,50	52,80	2,07	66,30
500	73,90	53,30	1,98	67,90
630	75,40	52,90	1,85	69,70
800	78,40	48,90	1,60	73,40
1 k	76,60	47,80	1,51	71,80
1,25 k	80,10	49,00	1,48	75,30
1,6 k	82,80	46,40	1,41	78,30
2 k	84,00	41,00	1,32	79,80
2,5 k	82,30	40,60	1,24	78,40
3,15 k	83,00	38,90	1,18	79,30
4 k	82,30	37,30	1,12	78,80
5 k	80,80	34,60	1,04	77,60
6,3 k	77,20	34,90	0,94	74,50
8 k	70,40	31,30	0,82	68,30
10 k	61,90	29,70	0,69	60,50

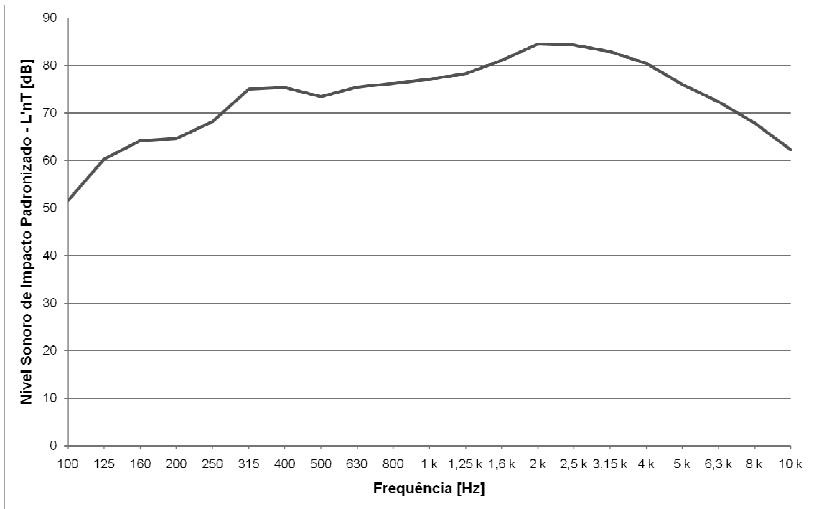


Figura B.12 – Curva de L'nT para o apartamento NV-12.

Tabela B.12 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-12

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	59,80	40,20	3,28	51,60
125	68,70	41,90	3,51	60,30
160	71,60	43,70	2,77	64,20
200	70,70	42,00	2,03	64,60
250	73,60	38,30	1,73	68,20
315	79,50	36,50	1,41	75,00
400	79,70	37,70	1,40	75,30
500	78,40	37,00	1,60	73,40
630	80,80	36,40	1,71	75,50
800	81,10	35,40	1,57	76,20
1 k	81,70	35,30	1,44	77,10
1,25 k	82,90	33,50	1,44	78,30
1,6 k	85,50	31,00	1,36	81,10
2 k	88,80	27,60	1,35	84,50
2,5 k	88,70	26,90	1,38	84,30
3,15 k	87,40	24,60	1,42	82,90
4 k	84,80	21,20	1,39	80,40
5 k	80,30	20,50	1,34	76,00
6,3 k	75,90	16,10	1,13	72,30
8 k	70,80	12,60	1,01	67,80
10 k	64,60	12,20	0,87	62,20

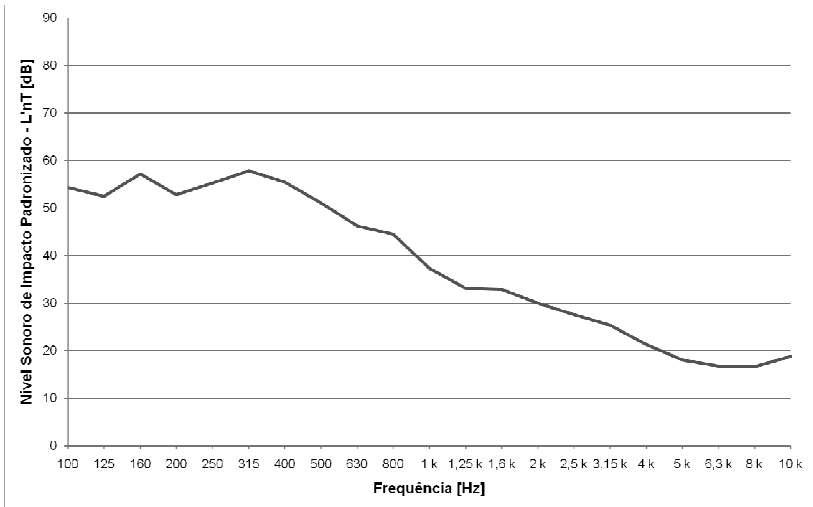


Figura B.13 – Curva de L'nT para o apartamento NV-13.

Tabela B.13 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-13

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	54,50	47,20	0,52	54,30
125	51,40	39,10	0,39	52,50
160	55,10	39,90	0,31	57,20
200	51,60	37,60	0,38	52,80
250	52,90	35,10	0,29	55,20
315	55,40	35,20	0,29	57,80
400	53,00	31,60	0,28	55,50
500	48,00	31,60	0,25	51,00
630	43,00	28,10	0,24	46,20
800	41,00	27,20	0,22	44,50
1 k	34,30	27,60	0,25	37,30
1,25 k	29,70	26,40	0,23	33,10
1,6 k	29,10	26,40	0,21	32,90
2 k	26,20	23,90	0,21	30,00
2,5 k	23,90	21,30	0,21	27,60
3,15 k	21,60	18,00	0,21	25,30
4 k	17,60	15,70	0,21	21,30
5 k	14,20	13,00	0,21	18,00
6,3 k	12,70	11,90	0,20	16,70
8 k	12,40	11,50	0,19	16,60
10 k	14,60	13,80	0,19	18,80

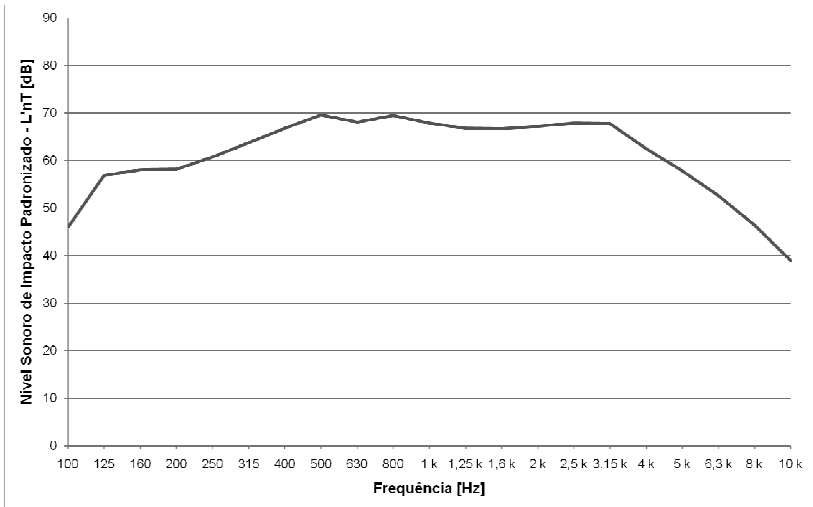


Figura B.14 – Curva de L'nT para o apartamento NV-14.

Tabela B.14 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento NV-14

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	50,90	28,30	1,54	46,00
125	61,00	36,90	1,27	56,90
160	61,00	31,60	0,99	58,00
200	61,20	29,10	1,03	58,10
250	62,90	25,50	0,82	60,70
315	66,20	25,40	0,88	63,70
400	69,30	24,10	0,91	66,70
500	72,10	23,90	0,92	69,50
630	70,50	22,70	0,88	68,00
800	71,80	24,40	0,87	69,40
1 k	70,60	23,40	0,95	67,80
1,25 k	69,50	19,10	0,93	66,80
1,6 k	69,40	17,90	0,95	66,60
2 k	69,70	16,30	0,88	67,20
2,5 k	70,00	16,20	0,83	67,80
3,15 k	69,60	16,60	0,78	67,70
4 k	64,50	15,00	0,81	62,40
5 k	59,70	13,70	0,77	57,80
6,3 k	54,10	14,40	0,70	52,60
8 k	47,30	13,40	0,63	46,30
10 k	39,10	12,50	0,53	38,90

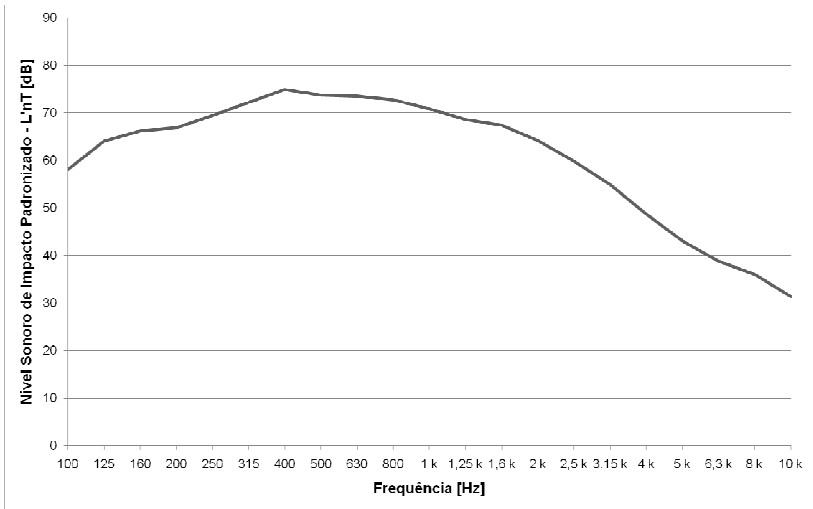


Figura B.15 – Curva de L'nT para o apartamento MC-01.

Tabela B.15 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento MC-01

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	60,60	38,50	0,88	58,20
125	66,00	41,40	0,77	64,10
160	68,20	38,20	0,79	66,20
200	67,70	36,30	0,60	66,90
250	70,10	34,00	0,59	69,40
315	72,80	30,20	0,58	72,20
400	75,80	29,40	0,62	74,90
500	74,50	26,40	0,60	73,70
630	74,10	30,80	0,58	73,50
800	73,60	30,90	0,60	72,80
1 k	71,80	28,70	0,63	70,80
1,25 k	69,20	27,90	0,58	68,60
1,6 k	68,20	23,90	0,60	67,40
2 k	64,80	20,10	0,58	64,20
2,5 k	60,70	17,70	0,60	59,90
3,15 k	55,70	16,20	0,60	54,90
4 k	49,50	15,50	0,60	48,70
5 k	43,90	14,70	0,60	43,10
6,3 k	39,30	11,00	0,56	38,80
8 k	36,30	10,80	0,53	36,00
10 k	31,20	11,60	0,48	31,40

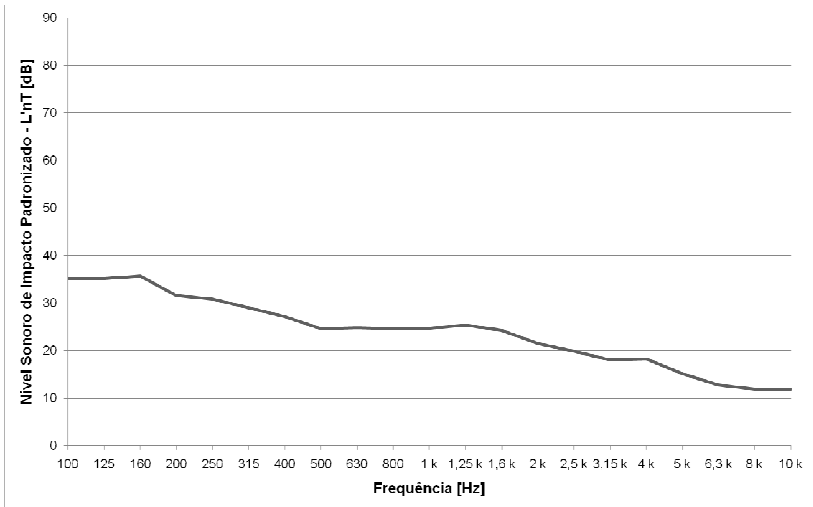


Figura B.16 – Curva de L'nT para o apartamento MC-02.

Tabela B.16 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento MC-02

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	35,00	28,50	0,49	35,10
125	34,40	32,10	0,43	35,10
160	34,60	30,80	0,39	35,70
200	30,90	29,90	0,43	31,60
250	29,90	30,70	0,41	30,80
315	27,90	28,90	0,39	29,00
400	26,10	27,50	0,39	27,20
500	23,40	25,10	0,38	24,60
630	23,10	26,30	0,34	24,80
800	23,10	25,20	0,35	24,60
1 k	23,40	24,70	0,37	24,70
1,25 k	24,40	25,60	0,40	25,30
1,6 k	22,80	24,50	0,36	24,30
2 k	20,10	21,40	0,36	21,50
2,5 k	18,40	20,00	0,36	19,90
3,15 k	16,40	18,70	0,34	18,00
4 k	16,50	17,40	0,34	18,20
5 k	13,40	14,60	0,34	15,10
6,3 k	11,00	13,30	0,33	12,80
8 k	10,00	12,90	0,32	11,90
10 k	9,80	13,10	0,31	11,90

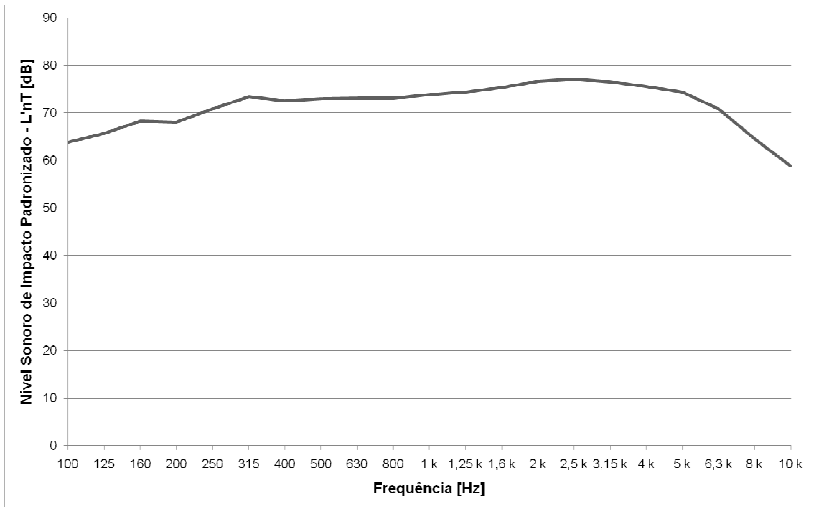


Figura B.17 – Curva de L'nT para o apartamento MC-03.

Tabela B.17 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento MC-03

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	65,70	45,20	0,77	63,90
125	65,80	40,30	0,51	65,70
160	70,00	44,50	0,73	68,30
200	68,80	42,30	0,61	68,00
250	71,70	39,30	0,61	70,80
315	74,20	38,70	0,59	73,40
400	73,80	35,70	0,66	72,60
500	74,00	36,30	0,63	73,00
630	73,60	35,40	0,56	73,10
800	73,90	36,20	0,60	73,10
1 k	74,70	36,80	0,60	73,90
1,25 k	75,10	34,60	0,59	74,40
1,6 k	75,80	31,10	0,55	75,40
2 k	76,90	28,00	0,54	76,60
2,5 k	77,30	24,00	0,53	77,10
3,15 k	76,70	20,90	0,53	76,50
4 k	75,70	19,60	0,52	75,60
5 k	74,60	16,90	0,53	74,40
6,3 k	70,80	14,10	0,50	70,80
8 k	64,40	12,00	0,49	64,50
10 k	58,40	11,90	0,46	58,80

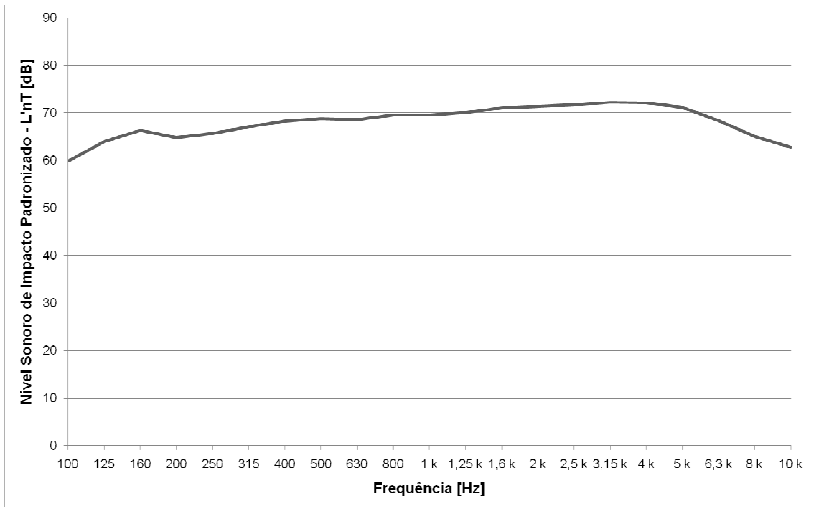


Figura B.18 – Curva de L'nT para o apartamento MC-04.

Tabela B.18 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento MC-04

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	60,70	48,90	0,60	59,90
125	64,20	51,10	0,52	64,00
160	66,20	54,30	0,49	66,30
200	64,20	52,80	0,43	64,80
250	66,00	53,60	0,54	65,70
315	68,00	53,50	0,61	67,10
400	69,70	55,20	0,68	68,30
500	69,70	53,80	0,62	68,80
630	69,40	50,10	0,60	68,60
800	70,50	47,80	0,63	69,50
1 k	70,50	44,30	0,63	69,50
1,25 k	70,50	41,20	0,55	70,10
1,6 k	71,00	37,80	0,49	71,10
2 k	71,30	32,00	0,48	71,40
2,5 k	71,70	30,50	0,50	71,70
3,15 k	72,00	30,50	0,48	72,20
4 k	72,00	26,50	0,48	72,10
5 k	70,80	24,30	0,45	71,20
6,3 k	68,10	21,50	0,46	68,40
8 k	64,60	19,10	0,45	65,00
10 k	62,00	15,30	0,42	62,80

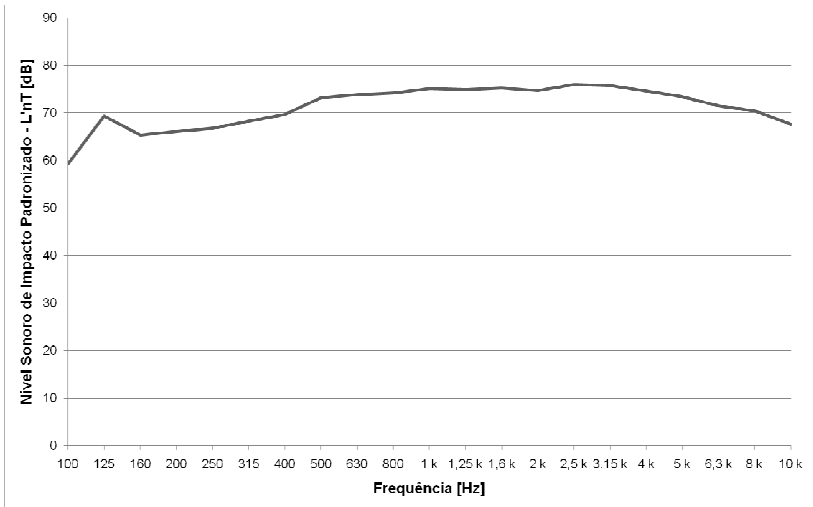


Figura B.19 – Curva de L'nT para o apartamento MC-05.

Tabela B.19 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento MC-05

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	59,10	33,30	0,48	59,30
125	68,60	32,00	0,42	69,30
160	64,60	32,00	0,42	65,40
200	65,40	28,50	0,43	66,10
250	65,80	26,60	0,39	66,80
315	67,40	26,50	0,41	68,30
400	69,10	27,20	0,43	69,70
500	72,10	22,60	0,39	73,20
630	72,70	17,80	0,38	73,90
800	72,80	18,20	0,36	74,20
1 k	73,60	16,70	0,36	75,10
1,25 k	73,30	14,90	0,35	74,90
1,6 k	74,20	12,10	0,40	75,20
2 k	73,80	12,00	0,40	74,70
2,5 k	74,50	12,20	0,36	76,00
3,15 k	74,50	12,50	0,37	75,80
4 k	73,00	12,60	0,35	74,60
5 k	71,80	11,70	0,34	73,40
6,3 k	69,90	11,00	0,34	71,50
8 k	68,60	11,00	0,33	70,40
10 k	65,40	11,50	0,30	67,60

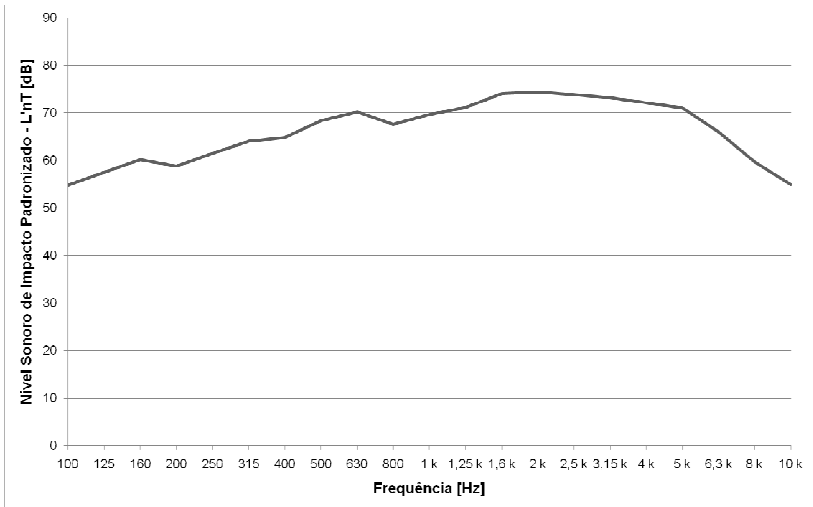


Figura B.20- – Curva de L'nT para o apartamento MC-06.

Tabela B.20 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento MC-06

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	56,40	33,00	0,73	54,80
125	58,20	32,40	0,59	57,50
160	61,30	33,20	0,64	60,20
200	59,80	29,60	0,62	58,80
250	62,60	30,90	0,64	61,50
315	65,20	29,50	0,64	64,10
400	66,40	28,60	0,73	64,80
500	69,80	29,30	0,69	68,40
630	71,60	29,30	0,69	70,20
800	68,90	28,20	0,68	67,60
1 k	70,60	27,50	0,62	69,70
1,25 k	72,10	25,90	0,62	71,20
1,6 k	75,00	23,20	0,62	74,10
2 k	75,10	21,50	0,59	74,40
2,5 k	74,60	20,80	0,59	73,80
3,15 k	73,70	17,30	0,56	73,20
4 k	72,50	13,00	0,55	72,10
5 k	71,70	11,60	0,57	71,10
6,3 k	66,40	11,00	0,55	66,00
8 k	59,70	10,70	0,51	59,60
10 k	54,60	11,20	0,47	54,90

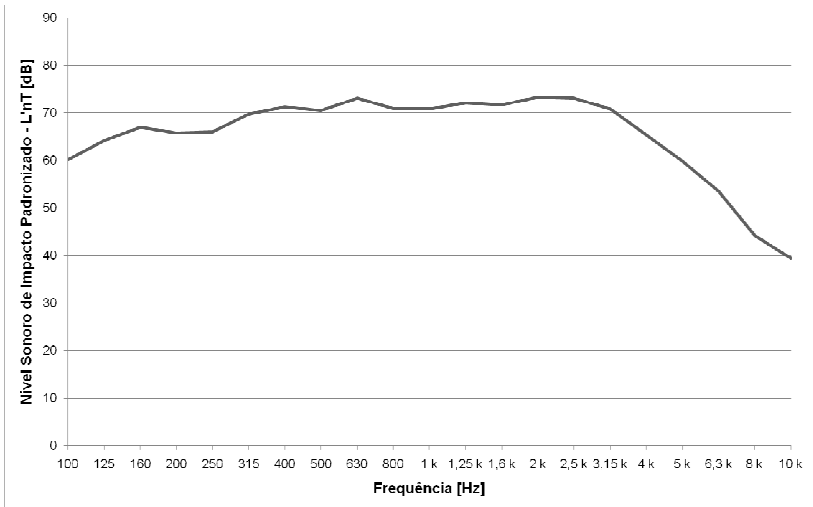


Figura B.21 – Curva de L'nT para o apartamento MC-07.

Tabela B.21 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento MC-07

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	59,70	41,30	0,45	60,20
125	62,90	40,60	0,37	64,20
160	66,20	40,40	0,42	67,00
200	65,00	36,70	0,41	65,80
250	65,90	39,90	0,49	66,00
315	69,00	36,60	0,41	69,80
400	70,00	35,00	0,37	71,30
500	69,40	34,90	0,39	70,50
630	71,90	33,40	0,38	73,10
800	70,40	33,00	0,44	70,90
1 k	70,00	33,70	0,42	70,80
1,25 k	71,20	32,00	0,41	72,10
1,6 k	70,90	30,20	0,41	71,70
2 k	72,40	28,40	0,41	73,30
2,5 k	72,60	26,80	0,45	73,10
3,15 k	70,10	24,60	0,43	70,80
4 k	64,50	20,70	0,42	65,30
5 k	59,30	17,40	0,44	59,90
6,3 k	52,20	15,00	0,37	53,50
8 k	42,60	15,00	0,34	44,20
10 k	37,30	13,80	0,31	39,40

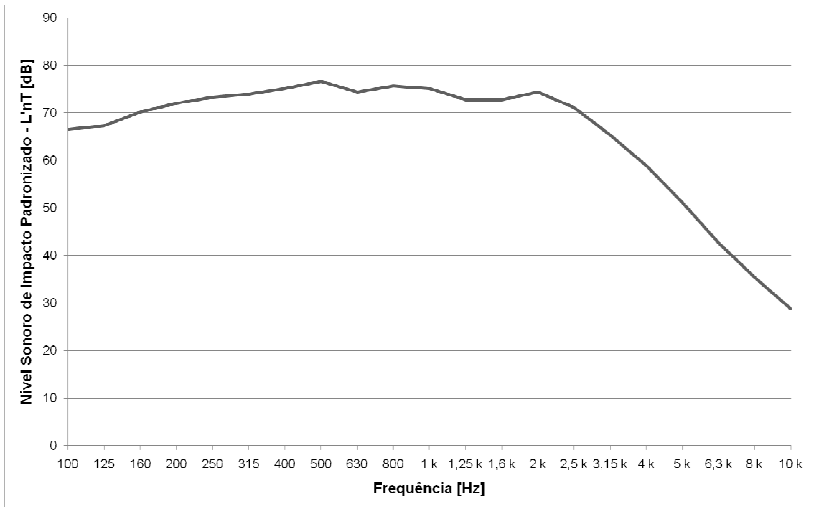


Figura B.22 – Curva de L'nT para o apartamento MC-08.

Tabela B.22 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento MC-08

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	63,70	33,00	0,26	66,50
125	65,70	29,80	0,35	67,30
160	69,40	32,40	0,42	70,20
200	70,60	30,10	0,36	72,00
250	71,70	29,90	0,35	73,30
315	73,10	30,10	0,41	74,00
400	73,80	26,00	0,37	75,10
500	74,80	25,10	0,33	76,60
630	73,40	23,30	0,40	74,40
800	74,00	23,30	0,34	75,70
1 k	73,90	22,30	0,38	75,10
1,25 k	72,30	21,50	0,44	72,80
1,6 k	71,80	19,90	0,39	72,80
2 k	73,20	20,10	0,38	74,40
2,5 k	69,70	19,40	0,35	71,20
3,15 k	63,80	17,60	0,35	65,30
4 k	57,20	15,80	0,34	58,90
5 k	49,30	12,80	0,32	51,20
6,3 k	40,70	11,70	0,32	42,70
8 k	33,20	11,70	0,30	35,40
10 k	26,50	11,80	0,29	28,80

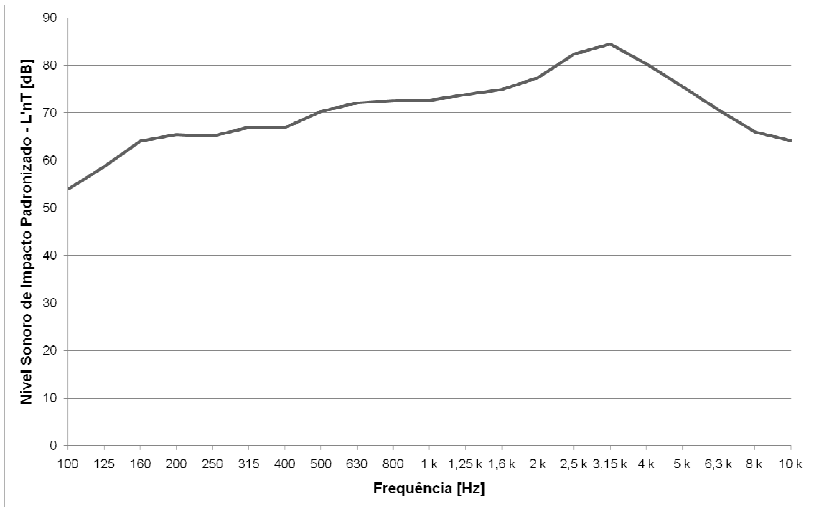


Figura B.23 – Curva de L'nT para o apartamento PM-01.

Tabela B.23 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento PM-01

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	53,10	31,50	0,41	54,00
125	57,40	26,70	0,37	58,70
160	60,40	27,70	0,21	64,10
200	62,50	25,50	0,25	65,50
250	63,40	24,40	0,34	65,10
315	65,90	22,60	0,39	67,00
400	67,30	23,30	0,55	66,90
500	69,30	22,40	0,40	70,30
630	71,10	20,40	0,40	72,10
800	71,30	25,40	0,37	72,60
1 k	71,90	22,50	0,42	72,70
1,25 k	73,20	23,10	0,42	73,90
1,6 k	73,90	22,20	0,40	74,90
2 k	76,00	21,30	0,36	77,40
2,5 k	80,80	22,50	0,35	82,30
3,15 k	83,10	23,40	0,36	84,50
4 k	78,90	22,70	0,36	80,30
5 k	73,90	20,80	0,34	75,60
6,3 k	68,70	20,70	0,32	70,60
8 k	64,10	19,40	0,32	66,00
10 k	62,10	16,30	0,31	64,20

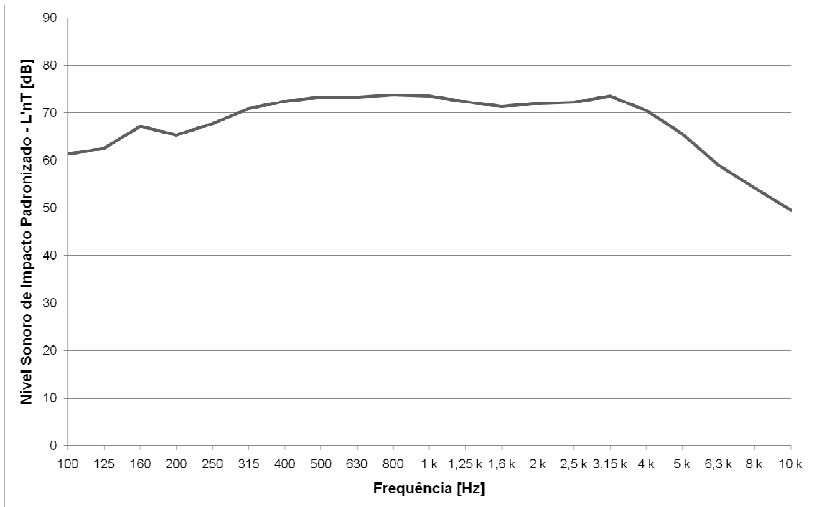


Figura B.24 – Curva de L'nT para o apartamento PM-02.

Tabela B.24 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento PM-02

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	60,90	29,60	0,45	61,40
125	61,80	31,60	0,42	62,60
160	64,90	27,20	0,30	67,20
200	62,80	27,00	0,28	65,30
250	65,20	26,40	0,28	67,70
315	68,80	27,50	0,31	70,90
400	70,50	28,70	0,32	72,40
500	72,10	26,10	0,38	73,30
630	72,20	27,80	0,39	73,30
800	72,50	25,60	0,38	73,70
1 k	72,40	23,80	0,39	73,50
1,25 k	71,10	21,80	0,38	72,30
1,6 k	70,30	19,40	0,38	71,40
2 k	71,10	17,00	0,40	72,00
2,5 k	71,10	16,90	0,39	72,20
3,15 k	72,30	14,70	0,38	73,50
4 k	69,30	12,00	0,38	70,50
5 k	64,40	10,70	0,38	65,60
6,3 k	57,60	10,30	0,36	59,00
8 k	52,90	10,70	0,37	54,20
10 k	47,80	11,50	0,34	49,50

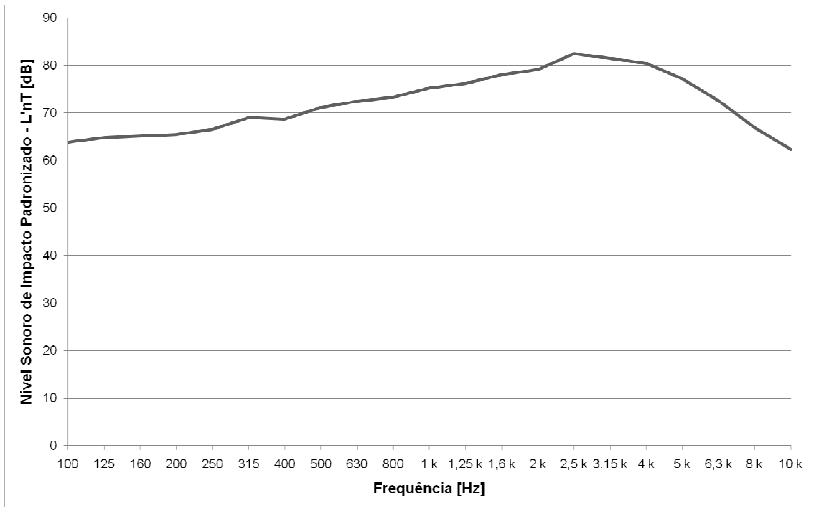


Figura B.25 – Curva de L'nT para o apartamento PM-03.

Tabela B.25 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento PM-03

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	62,50	38,00	0,37	63,80
125	64,00	37,50	0,42	64,80
160	63,50	31,40	0,35	65,10
200	65,60	28,10	0,51	65,50
250	65,60	27,70	0,41	66,50
315	67,50	29,80	0,35	69,00
400	67,70	29,60	0,39	68,70
500	70,30	28,40	0,40	71,20
630	71,30	26,90	0,39	72,40
800	72,40	26,80	0,40	73,30
1 k	74,40	26,50	0,41	75,20
1,25 k	74,70	26,30	0,35	76,20
1,6 k	76,50	22,70	0,35	78,00
2 k	77,80	19,10	0,37	79,10
2,5 k	81,20	15,90	0,38	82,40
3,15 k	80,30	13,80	0,38	81,50
4 k	79,20	11,80	0,38	80,40
5 k	76,10	10,50	0,38	77,20
6,3 k	71,30	10,30	0,37	72,60
8 k	65,50	10,70	0,36	66,90
10 k	60,80	11,50	0,35	62,30

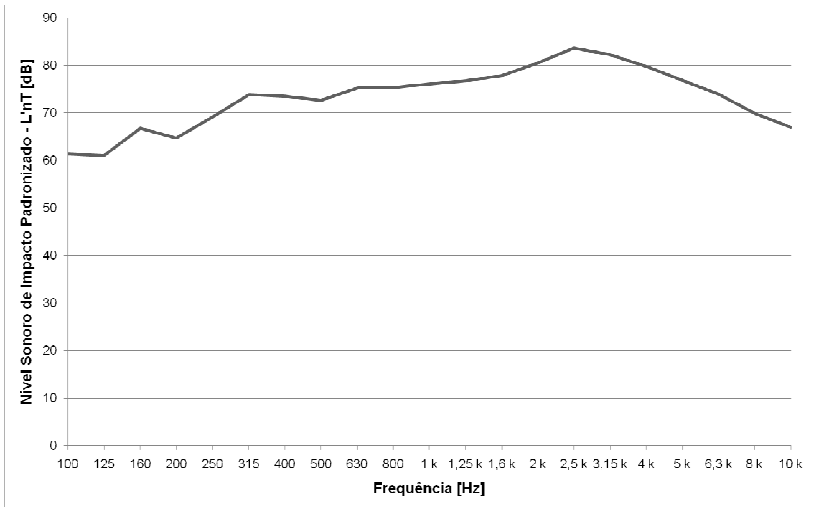


Figura B.26 – Curva de L'nT para o apartamento PM-04.

Tabela B.26 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento PM-04

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	60,20	36,50	0,38	61,40
125	58,10	34,10	0,25	61,10
160	63,30	34,90	0,23	66,70
200	62,00	31,50	0,27	64,70
250	66,50	31,70	0,27	69,10
315	69,70	30,70	0,19	73,90
400	70,60	30,40	0,26	73,50
500	69,50	28,20	0,24	72,70
630	72,10	27,80	0,24	75,20
800	72,00	25,60	0,23	75,30
1 k	72,40	24,20	0,21	76,10
1,25 k	73,30	23,50	0,23	76,70
1,6 k	74,50	23,20	0,23	77,80
2 k	76,90	22,20	0,22	80,50
2,5 k	80,30	21,40	0,23	83,60
3,15 k	78,60	21,60	0,22	82,20
4 k	76,20	21,90	0,22	79,80
5 k	73,60	21,30	0,23	76,90
6,3 k	70,50	18,00	0,22	74,00
8 k	66,40	15,20	0,22	69,90
10 k	63,30	14,10	0,21	67,00

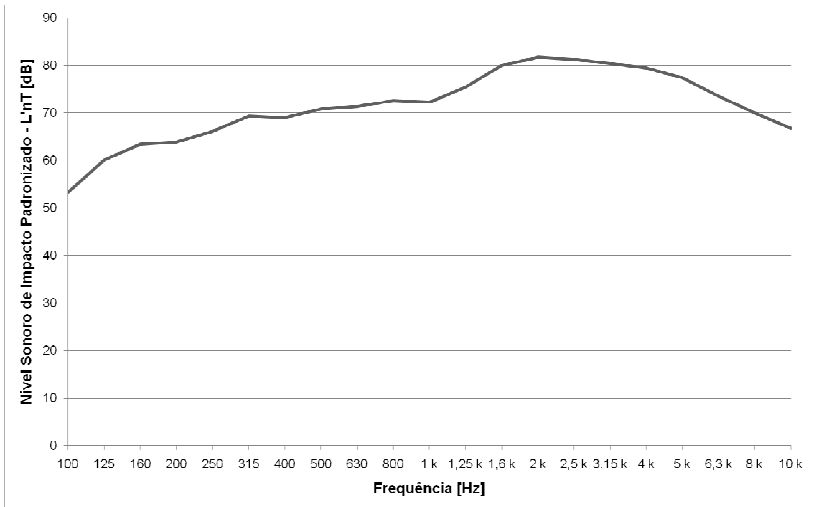


Figura B.27 – Curva de L'nT para o apartamento PP-01.

Tabela B.27 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento PP-01

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	62,30	39,10	3,98	53,30
125	70,10	38,20	4,94	60,10
160	71,90	39,70	3,53	63,40
200	71,60	35,80	3,00	63,80
250	73,30	36,10	2,63	66,10
315	75,80	35,40	2,25	69,30
400	75,20	36,50	2,07	69,00
500	76,60	34,90	1,87	70,80
630	77,00	33,10	1,83	71,40
800	77,40	32,60	1,52	72,60
1 k	76,90	32,00	1,47	72,20
1,25 k	80,00	31,30	1,41	75,50
1,6 k	84,20	28,40	1,33	80,00
2 k	85,70	26,50	1,27	81,70
2,5 k	85,10	25,70	1,21	81,30
3,15 k	84,10	26,20	1,19	80,40
4 k	83,00	24,10	1,15	79,40
5 k	80,80	20,60	1,10	77,40
6,3 k	76,40	18,30	0,98	73,50
8 k	72,50	16,10	0,89	70,00
10 k	68,50	14,10	0,77	66,70

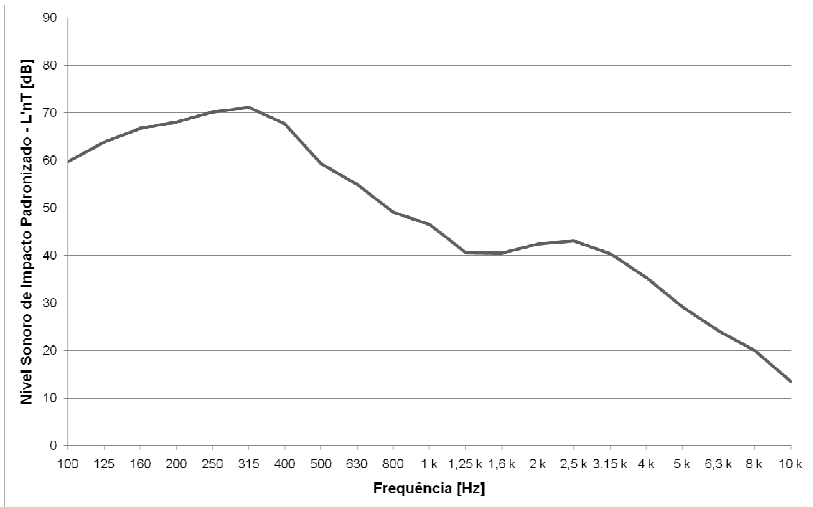


Figura B.28 – Curva de L'nT para o apartamento PP-02.

Tabela B.28 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento PP-02

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	66,50	47,30	2,32	59,80
125	71,10	42,20	2,60	63,90
160	75,10	42,10	3,34	66,80
200	75,60	38,50	2,87	68,00
250	76,70	37,90	2,22	70,20
315	77,20	37,00	2,00	71,20
400	74,10	38,10	2,18	67,70
500	65,80	35,30	2,23	59,30
630	60,80	37,50	1,96	54,90
800	54,50	35,70	1,71	49,10
1 k	51,70	34,60	1,64	46,50
1,25 k	45,40	33,20	1,49	40,60
1,6 k	44,90	30,90	1,39	40,50
2 k	46,80	27,70	1,36	42,50
2,5 k	47,20	25,20	1,28	43,10
3,15 k	44,30	23,30	1,23	40,40
4 k	39,10	19,50	1,19	35,40
5 k	32,60	16,60	1,11	29,20
6,3 k	27,20	13,00	1,00	24,20
8 k	22,50	12,40	0,89	20,00
10 k	15,20	12,40	0,75	13,50

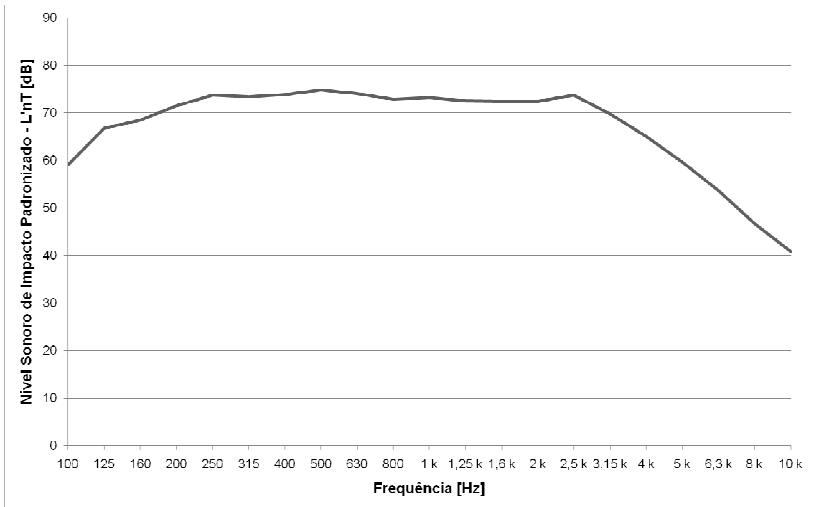


Figura B.29 – Curva de L'nT para o apartamento PP-03.

Tabela B.29 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento PP-03

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	67,20	51,50	3,23	59,10
125	75,70	43,90	4,03	66,70
160	77,40	45,20	3,80	68,50
200	79,00	42,90	2,83	71,50
250	80,70	42,20	2,49	73,70
315	79,70	40,90	2,14	73,40
400	80,60	40,30	2,35	73,90
500	81,30	38,80	2,23	74,80
630	79,90	39,00	1,88	74,10
800	78,50	34,70	1,79	72,90
1 k	78,90	33,90	1,86	73,20
1,25 k	77,90	32,10	1,70	72,60
1,6 k	77,40	31,30	1,59	72,40
2 k	77,30	27,00	1,49	72,50
2,5 k	78,20	26,80	1,40	73,70
3,15 k	74,10	27,20	1,35	69,80
4 k	69,00	23,60	1,27	65,00
5 k	63,40	21,40	1,20	59,60
6,3 k	56,70	14,00	1,03	53,60
8 k	49,20	11,80	0,91	46,60
10 k	42,60	12,00	0,77	40,80

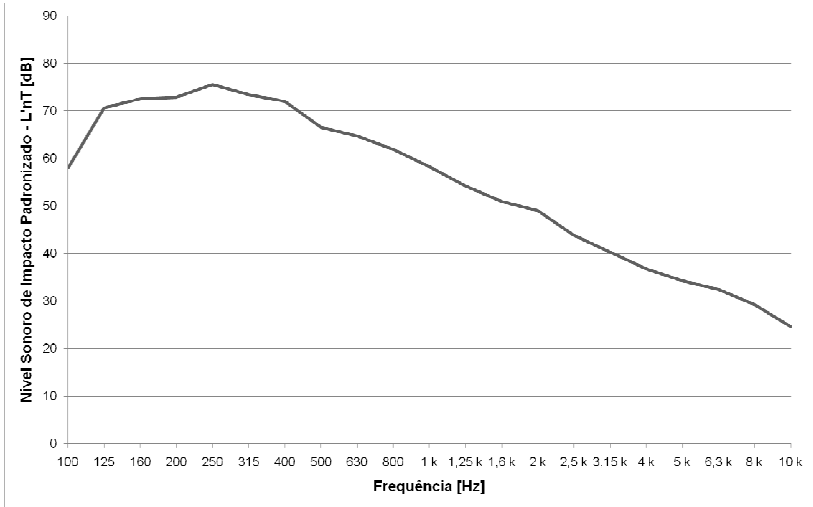


Figura B.30 – Curva de L'nT para o apartamento PP-04.

Tabela B.30 – Valores de L2, B2, T2 e L'nT do apartamento PP-04

Freq [Hz]	L2 [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	L'nT [dB]
100	67,0	44,2	4,0	58,0
125	79,5	43,6	3,9	70,6
160	80,8	43,4	3,3	72,6
200	80,6	39,9	2,9	72,9
250	82,1	38,2	2,3	75,6
315	79,6	37,2	2,1	73,4
400	78,0	35,5	2,0	72,0
500	72,2	34,0	1,9	66,5
630	70,7	31,3	2,0	64,7
800	67,2	29,9	1,7	61,9
1 k	63,3	28,1	1,6	58,3
1,25 k	58,9	28,2	1,5	54,2
1,6 k	55,3	24,1	1,4	50,9
2 k	53,4	22,0	1,4	49,0
2,5 k	48,2	18,9	1,4	43,8
3,15 k	44,5	18,9	1,3	40,3
4 k	40,8	14,5	1,3	36,7
5 k	38,2	12,3	1,2	34,3
6,3 k	35,7	12,1	1,1	32,4
8 k	32,1	11,4	1,0	29,2
10 k	26,6	11,6	0,8	24,6

