



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

NATAN MAGALHÃES FERRAZ

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM LAJES MACIÇAS EM
PAVIMENTOS DE PISOS MÚLTIPLOS**

SUMÉ – PB

2018

NATAN MAGALHÃES FERRAZ

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM LAJES MACIÇAS EM
PAVIMENTOS DE PISOS MÚLTIPLOS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenheiro de Produção.

Orientador: Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.

**SUMÉ – PB
2018**

F381a Ferraz, Natan Magalhães.
Avaliação de desempenho acústico em lajes maciças em pavimentos de pisos múltiplos. / Natan Magalhães Ferraz. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

63f. : il. Collor.

Orientador: Professor Dr. Daniel Augusto de Moura.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Acústica - avaliação. 2. Desempenho acústico. 3. Lajes maciças - acústica. 4. Pavimentos de pisos múltiplosI. Título.

CDU: 534.83(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

NATAN MAGALHÃES FERRAZ

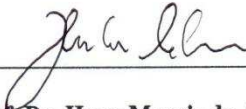
**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM LAJES MACIÇAS EM
PAVIMENTOS DE PISO MÚLTIPLOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenheiro de Produção.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira
Orientador – UAEP/CDSA/UFCG



Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara
Examinador I – UATEC/CDSA/UFCG



Prof. Dr. John Elton de Brito Leite Cunha
Examinador II – UAEP/CDSA/UFCG

Trabalho aprovado em: 11 de dezembro de 2018.

SUMÉ – PB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por esta conquista, pela bondade e perseverança que Ele tem comigo. Agradecer aos meus pais, Ozenildo e Vanderlucia, pela força e apoio em todos os momentos da minha vida, em todas as minhas escolhas. Agradecer a minhas irmãs, Nayla e Nayane, pela paciência em meus maus dias, por segurarem a barra junto comigo e formarmos essa corrente tão sólida juntos com os nossos pais.

Quero agradecer aos meus amigos de sala que sempre me deram força para continuar essa jornada desde o início até o fim, principalmente a Paulo, que sempre esteve do meu lado, meu ombro amigo por todos esses anos.

Agradecer a Williane, pela disponibilidade, pela ajuda e por a força dada durante esses últimos anos. Você tem sido, além de uma amiga, uma peça fundamental na minha formação acadêmica e formação como ser humano.

Agradecer, também, ao meu orientador e amigo Daniel, por toda paciência e disponibilidade que tem me dado. Agradecer por ter me mostrado o curso, e feito eu me apaixonar por ele, e me dado oportunidades únicas para a minha vida profissional. Você é o professor que todo universitário deveria ter.

Agradecer a todos os professores que contribuíram pra minha formação e aos professores Hugo e John Elton por fazerem parte da minha banca avaliadora.

RESUMO

O isolamento do ruído de impacto em edificações é um fator primordial, pois garante condições ideais de habitabilidade e salubridade de um ambiente. O conforto acústico de prédios é, também, um fator econômico determinante para aquisições de apartamentos residenciais. Diante disso, as empresas do setor da construção civil perceberam a necessidade de aprimorar a qualidade no que se diz respeito ao controle de nível de ruídos. Assim, esse estudo tem por objetivo avaliar os níveis de ruído de impacto em lajes maciças, verificando a qualidade de ambientes de edificações habitacionais de acordo com as orientações de conforto acústico e os padrões de isolamento da norma de desempenho NBR 15575/2013. Para tanto, foram realizadas visitas *in loco* para análise de dois edifícios em construção na cidade de João Pessoa, Paraíba. Foi necessário a utilização de equipamentos específicos para a captação de ruídos emitidos pelo ambiente e pelo próprio equipamento através de excitações sonoras. Através desses estudos foi possível definir padrões construtivos que podem cumprir as exigências da norma de desempenho.

Palavras-chave: Lajes Maciças. Ruído. NBR 15575/2013. Conforto Acústico.

ABSTRACT

The isolation of impact noise in buildings is a primary factor, as it guarantees optimal conditions of habitability and wholesomeness of an environment. The acoustic comfort of buildings is also a determining economic factor for residential apartment purchases. As a result, companies in the construction industry realized the need to improve quality in terms of noise level control. Thus, this study aims to evaluate the noise levels of impact in solid slabs, verifying the quality of housing construction environments according to the acoustic comfort guidelines and the isolation standards of performance standard NBR 15575/2013. For that, on-site visits were carried out to analyze two buildings under construction in the city of João Pessoa, Paraíba. It was necessary to use specific equipment to capture noise emitted by the environment and the equipment itself through sound excitation. Through these studies it was possible to define constructive standards that can meet the requirements of the performance standard.

Keywords: Solid Slabs.Noise.NBR 15575/2013.AcousticComfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transmissão do ruído aéreo	18
Figura 2 – Propagação do ruído de impacto	19
Figura 3 – Velocidade de propagação das ondas de vibração em um meio material	20
Figura 4 – Isolamento acústico e Coeficiente de absorção acústica.....	22
Figura 5 – Base elástica utilizada como piso flutuante para atenuação do ruído	23
Figura 6 – Representação de um sistema estrutural de laje maciça	29
Figura 7 – Metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.....	31
Figura 8 – Analisador de ruído <i>Briuel & Kjaer</i>	33
Figura 9 – Máquina de impacto padronizado	33
Figura 10 – Fonte de ruído dodecaédrica	34
Figura 11 – Amplificador para fonte de ruído.....	34
Figura 12 – Posicionamento dos pontos medidos distribuídos no dormitório	35
Figura 13 – Passos para o desenvolvimento da pesquisa <i>in loco</i>	37
Figura 14 – Tela de preenchimento dos dados obtidos nos testes de reverberação	38
Figura 15 – Média gerada entre as posições.....	38
Figura 16 – Média gerada entre as médias anteriores	39
Figura 17 – Resultado da média final.....	39
Figura 18 – Tela de preenchimento dos dados obtidos nos testes de ruído de fundo....	40
Figura 19 – Tela de preenchimento dos dados obtidos nos testes de ruído de impacto para as posições 1 e 2.....	41
Figura 20 – Tela de preenchimento dos dados obtidos nos testes de ruído de impacto para as posições 3 e 4.....	41
Figura 21 – Médias geradas entre as posições 1 e 2.....	42
Figura 22 – Médias geradas entre as posições 3 e 4.....	42
Figura 23 – Resultado da média final.....	43
Figura 24 – Tela de preenchimento para o cálculo do $L'_{nt,w}$	44
Figura 25 – Croqui do quarto 1 do primeiro edifício	46
Figura 26 – Croqui do apartamento 2 do primeiro edifício.....	48
Figura 27 – Croqui do quarto 1 do segundo edifício.....	51
Figura 28 – Croqui do quarto 2 do segundo edifício.....	53
Figura 29 – Croqui do quarto 3 do segundo edifício.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Exemplo de um gráfico com a relação entre a curva padrão e os edifícios em estudo.....	44
Gráfico 2 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 1	47
Gráfico 3 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 2	49
Gráfico 4 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 1 na primeira medição	52
Gráfico 5 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 2 na primeira medição	54
Gráfico 6 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 3 na primeira medição	56
Gráfico 7 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 1 na segunda medição.....	57
Gráfico 8 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 2 na segunda medição.....	58
Gráfico 9 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 3 na segunda medição.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Critérios e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$	21
Tabela 2	– Características construtivas do edifício 1	45
Tabela 3	– Dimensões do quarto 1 do primeiro edifício	45
Tabela 4	– Dimensões do quarto 2 do primeiro edifício	47
Tabela 5	– Características construtivas do edifício 2 para as primeiras medições	50
Tabela 6	– Características construtivas do edifício 2 para as últimas medições	50
Tabela 7	– Dimensões do quarto 1 do segundo edifício	50
Tabela 8	– Dimensões do quarto 2 do segundo edifício	52
Tabela 9	– Dimensões do quarto 3 do segundo edifício	54
Tabela 10	– Dimensões do quarto 3 do segundo edifício	60

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

dB – Decibéis

CBIC – Câmara Brasileira Da Indústria Da Construção

cm – Centímetro

CTR– Cálculo do Tempo de Reverberação

D_{2m,nT,w} – Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea de Fachada

D_{nT,w} – Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea, Padronizado

Hz – Hertz

ISO – International Organization for Standardization

L_{nTw} – Nível de Ruído de Impacto Padronizado Ponderado

L_{Aeq} – Nível de Ruído de Fundo

L_{A,r,nT} – Nível de Avaliação do Ruído Particular de Equipamentos Coletivos dos Edifícios

m – Metro

m²–Metro quadrado

m³– Metro cúbico

NBR –Normas Brasileiras Regulamentadoras

RF – Ruído de Fundo

T– Tempo de Reverberação

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO	14
1.1OBJETIVOS	15
1.2JUSTIFICATIVA	15
2REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 RUÍDO	17
2.1.1Ruído de Impacto	17
2.2TRANSMISSÃO DE RUÍDO	19
2.3 ISOLAMENTO ACÚSTICO	21
2.3.1 Pisos Flutuantes e Forros Suspensos	22
2.4 CONFORTO ACÚSTICO.....	24
2.5 ABNT NBR 15.575/2013	24
2.6 LAJES MACIÇAS	28
3METODOLOGIA	31
3.1ESTUDO BIBLIOGRÁFICO	31
3.2COLETA DE DADOS	32
3.3INSTRUMENTOS	32
3.4EXPERIMENTO EM CAMPO.....	34
3.5SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS.....	37
3.5.1Telas de Tabulação do Ensaio de Reverberação	37
3.5.2Telas de Tabulação do Ensaio de Ruído de Fundo	40
3.5.3Telas de Tabulação do Ensaio de Ruído de Impacto	40
3.5.4Telas do Nível de Impacto Padronizado Ponderado ($L'_{nt,w}$) e os Gráficos	43
4RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1EDIFÍCIO 1	45
4.1.1Quarto 1	45
4.1.2Quarto 2	47
4.2EDIFÍCIO 2	49
4.2.1Quarto 1 (medição 1)	50
4.2.2Quarto 2 (medição 1)	52
4.2.3Quarto 3 (medição 1)	54

4.2.4 Quarto 1 (medição 2).....	56
4.2.5 Quarto 2 (medição 2).....	57
4.2.6 Quarto 3 (medição 2).....	58
4.3 ENQUADRAMENTO DO RESULTADO EM RELAÇÃO A NORMA 15575/2013	59
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

As técnicas de conforto acústico destacam-se no decorrer dos tempos na construção de pavimentos habitacionais, devido principalmente a necessidade e preservação da privacidade e espaço dos indivíduos tornando-se um dos pré-requisitos fundamentais para habitação e bem-estar (FERRAZ, 2008).

No Brasil, a temática vem ganhando espaço desde a aprovação e entrada em vigor da Norma de Desempenho, NBR 15757, em 2013, principalmente em empresas privadas e instituições de ensino e pesquisa, que buscam gerar conhecimentos e disseminar as informações obtidas para a indústria de construção civil.

A Norma de Desempenho trata do fator qualidade ao edifício entregue aos habitantes, levando em consideração preocupações com a expectativa de vida útil, o desempenho, a eficiência, sustentabilidade e a manutenção desses empreendimentos residenciais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Diante do âmbito social, o estudo do desempenho acústico torna-se procura de novas fontes de soluções para a diminuição de ruído e impacto gerados, buscando ao conforto e desempenho das edificações. A engenharia e a arquitetura cumprem esse papel, idealizando através de experimentos, determinando o desempenho do sistema através das características dos elementos que o compõe (MALVEZZI, 2016).

Segundo a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura Rio Grande do Sul (2014, p. 35), o ruído percebido é uma das principais fontes de reclamações de usuários nas edificações residenciais. A exposição a ruídos intermitentes por períodos prolongados pode causar efeitos psicofisiológicos nos indivíduos. A ansiedade, o nervosismo, a falta de atenção e insônia são exemplos de danos causados por esse problema.

As medidas mitigadoras acústicas devem considerar os níveis de ruídos aceitáveis pelo usuário, já que é praticamente impossível e também indesejável eliminá-los completamente (Ferraz, 2008). Um exemplo é a *Anechoic Chamber* ("câmara sem eco" em português), do laboratório Orfield, Minnesota, que absorve até 99,99% do som por possuir paredes duplas de aço, 30 centímetros de concreto e mais 3,3 metros de espessura de vidro acústico. O experimento comprova que ficar muito tempo dentro da câmara causa alucinações e afeta seriamente o desenvolvimento motor.

De acordo com a NBR 15575/2013, o desempenho acústico deve ser analisado considerando o isolamento de ruído de impacto no sistema de piso, isolamento do ruído aéreo dos sistemas de pisos entre unidades habitacionais e isolamento acústico da cobertura devido

a sons aéreos. A avaliação do sistema deve ser feita através de ensaios realizados em campo, como as recomendações da Norma.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar os níveis de desempenho do sistema de piso de edificações habitacionais de múltiplos pavimentos com lajes maciças.

De maneira a alcançar o objetivo geral desse trabalho, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

- Comparar os níveis de isolamento sonoros com os padrões da NBR 15575/2013, de modo a determinar a conformidade ou não dos ambientes analisados;
- Verificar a qualidade do ambiente construído seguindo as orientações para o conforto acústico.
- Estipular padrões construtivos para edificações com múltiplos pavimentos de lajes maciças para obtenção dos níveis mínimos de desempenho do sistema de piso com relação a NBR 15575/2013.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo a NBR 10152, os níveis de ruído para conforto acústico são aceitáveis diferentemente dependendo de cada ambiente analisado. A ausência desse conforto afeta a saúde e a produtividade diretamente. O excesso de ruídos e impactos é uma das reclamações mais comuns entre moradores de edificações de múltiplos andares. Os incômodos mais frequentes são promovidos por telefones, vozes, queda de objetos pesados, músicas altas ou sistemas de ar condicionado sem isolamento. O tratamento acústico consiste na aplicação de materiais para tratar ruídos dentro de um local determinado, como as reverberações e impacto, ou seja, administrar os sons de um ambiente fechado. Buscar soluções pós-obra para o tratamento desse problema se torna mais caro e menos eficiente, assim, tornando-se mais viável a aplicação de métodos de redução de ruídos durante a fase de desenvolvimento do projeto.

Trazer para o centro das discussões o conceito de conforto acústico e mostrar como pode impactar diretamente a maneira como indivíduos e empresas se beneficiam diretamente ao adotar esse método podem ser passos decisivos para que a forma de construções de edificações habitadas de múltiplos andares seja revista. Discutir as consequências da

implantação de sistemas de amortização de ruídos e sua relação com o bem-estar individual tem reflexos diretos na implantação de ações empresariais de construções civis. Assim, as empresas podem vislumbrar um caminho de competitividade, preocupando-se em evitar reformas futuras, enquanto os habitantes se beneficiam com a privacidade e comodidade do ambiente.

Além disso, este trabalho busca analisar as edificações que possuem melhores sistemas e padrões para o conforto acústico em construções de edifícios com lajes maciças, e, assim, agregar valor ao ambiente construído, valorizando a edificação e dotar o ambiente dos requisitos mínimos necessários.

Como a produção científica tem como objetivo apropriar-se da realidade para melhor analisá-la, a discussão sobre ruídos de impactos em edificações habitadas de múltiplos andares torna-se relevante diante dos aspectos práticos e da importância para o meio acadêmico. Nesse contexto, a maior produção sobre o conforto acústico pode ser um processo de transformação que inicia na academia e estende seus conceitos para os reflexos da realidade social. Para o curso de Engenharia de Produção e a área de conhecimento que envolve a higiene e segurança do trabalho, pesquisas e trabalhos sobre conforto acústico são cada vez mais necessários e pertinentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RUÍDO

Os sons são resultados de movimentos vibratórios que se propagam pelo ar ou outros meios através de ondas com frequências e amplitudes variadas. Quanto maior a amplitude da onda, maior a intensidade sonora e quanto maior a frequência exposta em ciclos por segundo, Hertz (Hz), mais agudo o som (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013).

Gerges (2001), descreve o som como variações de pressão que ocorrem em um meio compressível e que são percebidas pelo ouvido humano. Esta percepção só ocorre quando a frequência e a amplitude dessas variações de pressão estão dentro de intervalo de valores limite. Nem todos os sons são considerados agradáveis pelos indivíduos, acrescenta o autor, definindo os sons consideráveis desagradáveis como ruído.

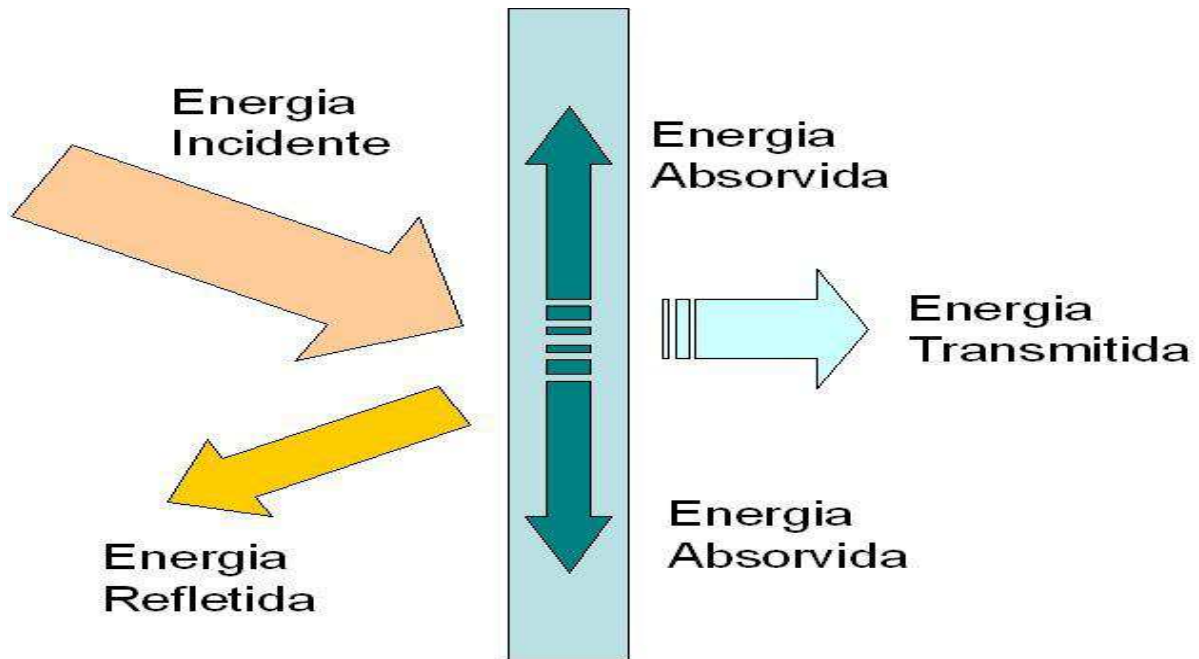
De acordo com Pedroso (2007), o ruído é uma sensação subjetiva, visto que sensações auditivas agradáveis ou suportáveis para algumas pessoas podem ser extremamente desagradáveis para outras. Ainda pode-se ampliar o conceito para a questão de inteligibilidade da informação sensorial produzida pela onda sonora, ou seja, tudo o que não puder ser codificado como informação com algum significado para quem ouve pode ser caracterizado como ruído. Portanto, se o som e ruído se diferenciam pelo seu caráter empático, tudo o que for dito como referência aos aspectos físicos do som valerá para o ruído.

Bistafa (2011) afirma que o ruído é um som sem harmonia que, normalmente, possui conotação negativa. Porém, o autor diz que em alguns casos o ruído é útil, como em escritórios que utilizam ruídos de baixa intensidade para amenizar outros ruídos mais incômodos, alarmes, sirenes de ambulância, entre outros. Entretanto, é necessário cuidado, pois os ruídos geram efeitos maléficos ao ouvinte, necessitando de tratamento.

2.1.1 Ruído de Impacto

Segundo Mateus (2008) o ruído produzido por uma fonte, independentemente do local em que se propaga a energia sonora, pode ser caracterizado através do parâmetro potência sonora (em Watt) ou, de forma mais prática, através do nível de potência sonora (em dB). A pressão sonora, além de depender das características da(s) fonte(s), ainda depende das características do receptor, nomeado de absorção, reflexão e transmissão para outros locais, como mostra na Figura 1.

Figura 1 – Transmissão do ruído aéreo



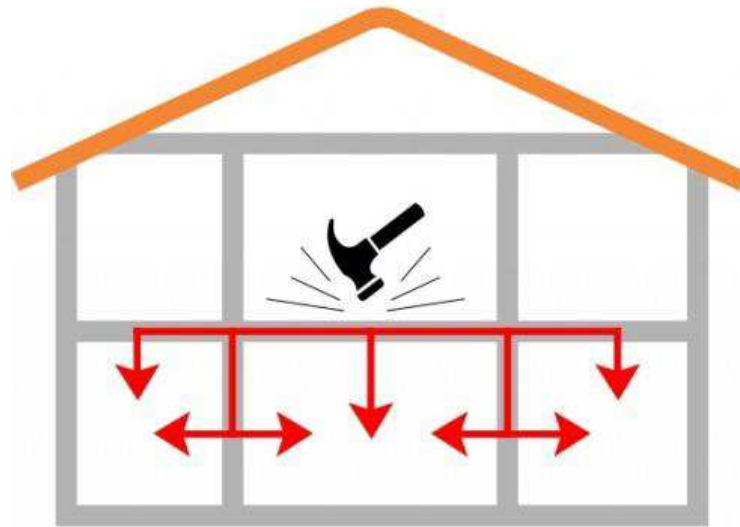
Fonte: Leodoro – Nova escola Abril Online, Ed. 03/99* apud Pedrosa (2007)

Em espaços fechados, a propagação sonora é condicionada pela superfície e pelos obstáculos existentes no interior desses espaços. A incidência em superfícies muito refletoras permite que praticamente toda energia seja refletida, resultando um campo sonoro com pouca variação dos níveis sonoros com o aumento da distância a fonte, nomeadas de superfícies reverberantes. Já as superfícies com grande absorção, que quase toda a energia radiada da fonte é absorvida, são designadas de superfícies anecoicas ou surdas. (MATEUS, 2008).

O ruído estrutural é originado por vibrações devido a impactos e/ ou excitações dinâmicas de naturezas diversas (excitações periódicas), em algum componente da edificação. As superfícies das edificações trabalham como amplificadores dos sons gerados por vibração; o impacto ou a vibração pode não gerar ruídos individualmente, mas se a fonte estiver conectada a uma parede, por exemplo, o ruído é amplificado devido à vibração produzida na parede (MEHTA, 1999 apud Ferraz, 2008).

De acordo com a CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2013), os ruídos de impacto podem ser provenientes do caminhar ou de máquinas instaladas em um piso, gerando vibrações sobre este e propagando pela estrutura. Diferentemente do que ocorre no isolamento ao ruído aéreo, quanto mais denso o material, maior será a transmissão acústica proveniente da fonte de ruído, seja do caminhar ou da queda de objetos em pisos superiores, mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Propagação do ruído de impacto



Fonte: Propagação, 2017

Santos (2012) diz que os ruídos acústicos provocados por impacto podem atingir uma área bem maior que os ruídos aéreos propagando-se por toda a estrutura. Ondas longitudinais, de cisalhamento, torcionais e de reflexão são as formas que um ruído acústico pode se propagar nas superfícies

2.2 TRANSMISSÃO DE RUÍDO

Enquanto o ruído aéreo se propaga apenas longitudinalmente, o ruído de impacto se propaga em todas as direções. A velocidade de transmissão das suas ondas de vibração vai variar de acordo com o tipo do material excitado, sendo algumas dessas velocidades relacionadas a diferentes materiais mostrados na Figura 3 (FERRAZ, 2008).

Figura 3 – Velocidade de propagação das ondas de vibração em um meio material

Meio material	Velocidade (m/s)
Aço	6100
Concreto	3100
Madeira	3500
Água	1481
Ar	340

Fonte: Kinsler(1973) apud Ogawaet al. (2014).

Segundo Pedroso (2007), essa velocidade de propagação está relacionada ao tipo de ligação molecular do meio, quanto mais rígida a ligação, maior a velocidade de transmissão da onda sonora. Porém, uma maior velocidade de propagação não significa uma maior quantidade de transmissão existindo meios que permitem ao mesmo tempo altas velocidades de propagação e reduzem significativamente a quantidade de energia sonora.

Dessa forma, o nível máximo de ruído aceitável no interior de um ambiente está relacionado ao seu tipo de ocupação, sendo baseado no grau de interferência produzido pelo ruído no desenvolvimento de tarefas realizadas no recinto. Por outro lado, o nível de ruído aceitável em áreas externas, em geral, está relacionado com o grau de incômodo gerado ao ser humano (FERRAZ, 2008).

Ferraz (2008) afirma que os ruídos gerados nas edificações de múltiplos pavimentos podem ser originados de fontes distintas, classificados como ruído aéreo ou estrutural. Alguns exemplos de ruídos aéreos produzidos em edificações são os sons gerados pela conversa humana ou por instrumentos. O ruído estrutural é, em geral, produzido por vibrações (impacto em pisos, motores, elevadores, etc.) nas superfícies da edificação – parede, pisos, coberturas, entre outros.

2.3 ISOLAMENTO ACÚSTICO

Os ruídos de impacto devem ser avaliados de acordo com o som proveniente do caminhar, queda de objetos, uso de equipamentos, entre outras fontes que geram ruídos entre os pisos habitacionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

De acordo com Ferraz (2008), o isolamento do ruído de impacto em pisos de edificações é de grande importância para o conforto acústico, principalmente em ambientes residenciais. As vibrações na estrutura que podem gerar incômodos nos habitantes ocorrem pela excitação por contato, em que a laje se torna um irradiador de energia sonora em ampla faixa de frequências, devido ao movimento vibratório induzido pela excitação localizada (BISTAFA, 2006).

A Norma utiliza parâmetros para avaliação de desempenho de atendimento aos requisitos mínimos, intermediários e superiores de isolamento acústico é o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) (MALVEZZI, 2016). Os critérios de avaliação devem ser analisados de acordo com a Tabela 1, encontrada na ABNT NBR 15575/2013.

Tabela 1 – Critérios e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$

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

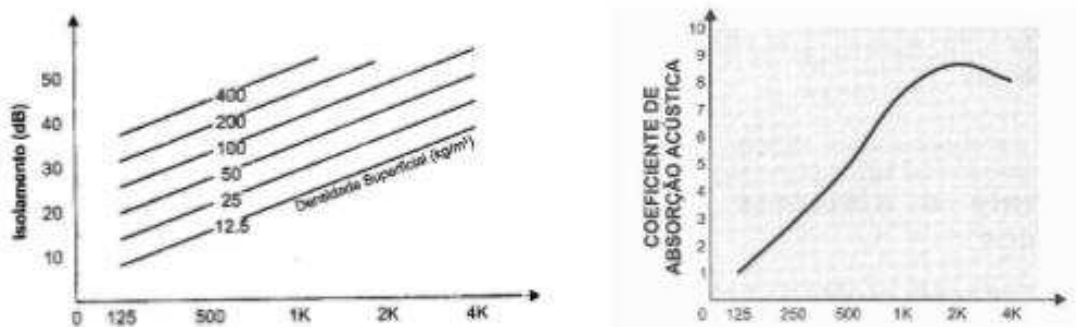
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013, p. 40)

Os sistemas de pisos flutuantes combinados com forros suspensos são, normalmente, os mecanismos utilizados para isolar o ruído de impacto. Os pisos flutuantes são comumente

construídos por placas sobre suportes resilientes usados para atenuar a propagação da onda mecânica, gerada pelo impacto, através da estrutura da edificação. Já os forros suspensos são instalados sob o piso, formando um forro entre a laje estrutural e o pavimento inferior (FERRAZ, 2008).

De acordo com Boufleur (2013), tanto a absorção, quanto a reflexão acústica dos materiais variam conforme se altera a frequência incidente e ambos apresentam melhor desempenho em altas frequências, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Isolamento acústico e Coeficiente de absorção acústica



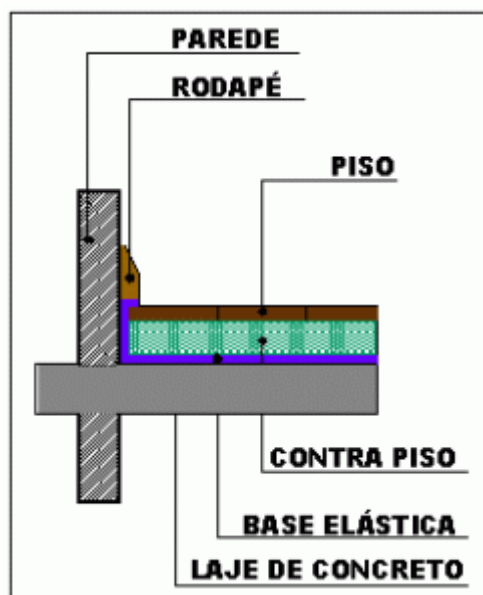
Fonte: Carvalho (2006, p.52)

2.3.1 Pisos Flutuantes e Forros Suspensos

De acordo com Brondani (1999), os efeitos do ruído de impacto podem ser reduzidos com o aumento da rigidez da estrutura, aumentando a espessura da laje de entrepiso, no entanto se tornaria inviável tendo em vista que comprovadamente o ganho no isolamento é de 1 (um) dB a cada aumento de 1 (um) cm de espessura na laje.

Assim, a busca por alternativas mais eficiente com a finalidade de interromper ou minimizar a transmissão das vibrações pela estrutura é inevitável. A utilização de um material flexível na origem do impacto ou no seu interior minimiza a transmissão do ruído nas estruturas. A eficácia desse material flexível como isolante depende da sua rigidez dinâmica. (PEDROSO, 2007). Assim, a utilização de pisos flutuantes e forros suspensos é essencial para o conforto acústico dos edifícios habitacionais exibido na Figura 5.

Figura 5 – Base elástica utilizada como piso flutuante para atenuação do ruído



Fonte: Tratamento acústico (2018)

Segundo Ferraz (2008), o sistema de pisos flutuantes são painéis com suportes resilientes, localizados acima do sistema estrutural (laje), usados para minimizar a transmissão do ruído vertical e lateral e a transmissão da vibração. Nos pisos flutuantes usualmente são utilizados isoladores de elastômeros polietileno ou de fibra de vidro prensada, esses devem ser protegidos pois o contato com outros materiais, como a água do concreto, poderá danificar o desempenho como isolante acústico.

Quanto a utilização de forros suspenso, o isolamento aéreo é consideravelmente atenuado, porém não acrescenta isolamento ao ruído de impacto (De Marco 1990). Méndez et al. (1995) afirma que o material do forro deve ser poroso e com boa quantidade de massa, formando uma camada de ar entre ele e a estrutura, recomendando-se, ainda, a utilização de materiais absorventes sonoro.

A utilização do sistema de pisos flutuantes combinado com forros suspensos pode ser usada em ambientes cuja finalidade seja atender as necessidades de isolamento desse espaço, como no caso de estúdios de gravação (Ferraz, 2008).

2.4 CONFORTO ACÚSTICO

Desde os tempos antigos, a acústica em edificações, apesar de subjetiva, tem grande importância para a humanidade. Segundo Souza (2006), a criação dos teatros ao ar livre dos gregos e romanos eram projetados para que refletissem o som em direção a plateia trazendo ganhos significativos para os ouvintes.

O desempenho acústico nas edificações no Brasil é regulamentado desde 1987 com a criação da norma ABNT NBR 10152/1987, seguida pela norma ABNT NBR 10151/2000, as quais determinam, respectivamente, os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico e as condições para avaliação de aceitabilidade do ruído em ambientes habitacionais. Essas duas normas não estabeleciam níveis mínimos de isolamento sonoro dentro de unidades habitacionais(CORNACCHIA, 2009).

Cornacchia (2009) afirma que a qualidade final de um projeto habitacional é refletida pelo conforto acústico. A qualidade de vida dos habitantes é afetada diretamente pela propagação do ruído, exigindo, assim, soluções e controles dos efeitos prejudiciais. As atividades cotidianas podem ser afetadas diretamente por exposições prolongadas ao ruído, podendo causar danos psicológicos e físicos.

O profissional arquiteto deve levar em consideração a combinação de aspectos como relações de densidade e proximidade entre unidades, tipologias adotadas, local de implantação disposições internas dos cômodos, escolha dos materiais, componentes e suas superfícies, atividades desenvolvidas nos ambientes, nível de sigilo exigido nos compartimentos, existência de frestas nos fechamentos sendo em grande parte responsável pelo desempenho acústico das edificações(BORGES, 2018).

Segundo Souza (2006), a preocupação acústica não é apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, mas também da preservação da qualidade ambiental e de controle de ruído. A importância da questão acústica passou a ter mais importância do que até então, pois o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior, e as consequências cada vez mais prejudiciais.

2.5 ABNT NBR 15.575/2013

Os estudos sobre a Norma de Desempenho no Brasil se iniciam no ano de 2000, com iniciativas governamentais, gerando intensas discussões na sociedade brasileira juntamente de vários segmentos da indústria da construção civil (GUIA PARA ARQUITETOS NA APLICAÇÃO DA NORMA DE DESEMPENHO ABNT NBR 15575).

De acordo com o GUIA PARA ARQUITETOS NA APLICAÇÃO DA NORMA DE DESEMPENHO ABNT NBR 15575, a primeira edição da norma foi disponibilizada em 2007 para consulta pública, e entrada em vigor em 2013 após vários julgamentos sobre correções e aperfeiçoamentos, representando conquistas e um marco para o mercado habitacional brasileiro. A Norma avalia o desempenho de cada sistema que compõe as edificações de acordo com a função a que se destina, levando em consideração o meio a qual está exposta.

A ABNT NBR 15575 é dividida em 6 parte, sendo elas:

- Parte 1: Requisitos Gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Vale ressaltar aqui a divisão requisitos de desempenho do usuário que é feita pela Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013):

a) Segurança,

- estrutural;
- contra fogo;
- no uso e na operação;

b) Habitabilidade,

- estanqueidade;
- desempenho térmico;
- desempenho acústico;
- desempenho lumínico;
- saúde, higiene e qualidade do ar;
- funcionalidade e acessibilidade;

c) Sustentabilidade,

- durabilidade;
- manutenibilidade;
- impacto ambiental.

A Norma tem por objetivo alavancar a qualidade e a oferta de moradias, de forma técnica, estabelecendo regras para avaliação do desempenho de edifícios habitacionais. Ela ainda aborda conceitos que, em grande parte, não são considerados em Normas prescritivas, como a durabilidade dos sistemas de manutenção, a manutenibilidade da edificação e o conforto tátil e antropodinâmico dos usuários (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

A ABNT NBR 15575 não se aplica a:

- Obras em andamento ou edificações concluídas até a entrada em vigor da Norma;
- Obras de reformas nem de “retrofit” nem edificações provisórias.

A NBR 15575, do ponto de vista jurídico, deve ser analisada sob aspecto preventivo, trazendo maior responsabilidade para o projetista e, conseqüentemente, uma maior segurança para o consumidor final e para todos os envolvidos na cadeia construtiva. A Norma, portanto, estabelece referenciais objetivos quanto aos requisitos de qualidade técnica e critérios de avaliação que deverão guiar a construção civil. (Caderno Técnico AsBEA-RS: Norma de Desempenho, 2014)

Apesar da Norma não ser considerada de fato uma lei, a sua eficácia está estabelecida em vários regramentos legais. A aplicação das normas da ABNT está estabelecida como cumprimento obrigatório no Código Civil Brasileiro, no Código de Defesa do Consumidor, códigos de obras municipais, lei de licitações, lei de incorporações e lei de acessibilidade.

Os artigos 615 e 616 do Código Civil determinam, sob aspecto contratual, a entrega do produto fora das conformidades com a norma técnica, a possibilidade de rejeição do produto e/ou rescisão, ou abatimento no preço.

Art. 615. Concluída a obra de acordo com o ajuste, ou o costume do lugar, o dono é obrigado a recebê-la. Poderá, porém, rejeitá-la, se o empreiteiro se afastou das instruções recebidas dos planos dados ou das regras técnicas em trabalhos de tal natureza.

Art. 616. No caso da segunda parte do artigo antecedente, pode quem encomendou a obra, em vez de enfeitá-la, recebê-la com abatimento no preço.

Já o Código de Defesa do Consumidor diz que os fornecedores devem colocar os produtos e serviço no mercado de acordo com as normas técnicas, determinado no artigo 39.

Art. 39. É vedado ao fornecedor de produtos e serviços:

VIII – colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – CONMETRO.”

Segundo o Caderno Técnico AsBEA-RS, o atendimento irrestrito aos critérios da NBR 15575, do ponto de vista técnico jurídico, agrega a ideia de presunção da regularidade ao empreendimento, qualificando as empresas e os profissionais da área da construção civil brasileira.

De acordo com a ABNT NBR 15575/2013, o desempenho mínimo (M) deve ser obrigatoriamente atingido pelos diferentes sistemas que compõem a edificação. Os níveis indicados como de desempenho intermediário (I) e superior (S) são de caráter não obrigatório quanto ao atendimento mostrados na tabela 1. As avaliações de desempenho devem ser executadas por empresas de tecnologia, laboratórios especializados, instituições de ensino ou pesquisa, profissionais de reconhecida capacidade técnica ou equipes multiprofissionais, recomendado pela Norma.

Para comprovação do nível de desempenho, é sugerido pela norma que siga a metodologia constante na ISO 15.686:

As avaliações de desempenho dos elementos e sistemas podem ser realizadas por meio de:

- verificação de atendimento aos requisitos estabelecidos pelas normas brasileiras;
- comprovação de durabilidade dos elementos ou sistemas, bem como sua correta utilização, conforme as normas a elas associadas que tratam da especificação dos elementos e componentes, sua aplicação e método de ensaio específicos;
- na inexistência de normas brasileiras por meio de normas estrangeiras:
 - por análise de campo pela inspeção em protótipos e edificações;
 - por análise dos resultados obtidos em estações de ensaio.

A ABNT NBR 15575/2013 diz que o estudo da acústica dos edifícios de múltiplos andares consiste na avaliação dos requisitos acústicos, no intuito de garantir o isolamento acústico desses ambientes. A aplicação da norma é aplicada à construção, reconstrução, ampliação ou alteração dos diferentes tipos de ambientes, a função na qual se destinam.

Os edifícios fontes dos estudos dos requisitos acústico necessários são:

- Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- Edifícios comerciais e de serviço, e partes similares em edifícios industriais.
- Edifícios escolares e similares, e de investigação;
- Edifícios hospitalares e similares;
- Recintos desportivos;

- Estações de transporte de passageiros;
- Auditórios e salas.

O objetivo do estudo é avaliar o condicionamento acústico dos edifícios, levando em conta o tempo de reverberação (T), isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachada ($D_{2m,nT,w}$), isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, ($D_{nT,w}$), nível sonoro de percussão padronizado ($L'_{nT,w}$) e nível de avaliação do ruído particular de equipamentos coletivos dos edifícios ($L_{Ar,nT}$).

Segundo Ferreira (2010) o som propagado em um ambiente, ao encontro de obstáculos, reflete-se voltando ao mesmo local. A reverberação é causada quando se dão várias reflexões do som no ambiente, ou seja, um prolongamento nos sons. Reverberação e eco não são sinônimos, mas ambos são criados por princípios semelhantes.

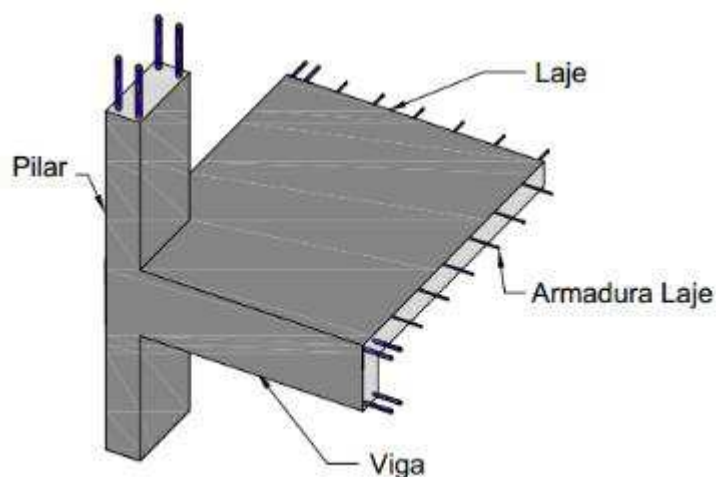
O tempo de reverberação é o intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial.

2.6 LAJES MACIÇAS

Lajes maciças são placas de espessuras uniformes apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou alvenarias. Este tipo de laje é muito utilizado onde os vãos são relativamente pequenos em predominância nos edifícios residenciais (ARAÚJO, 2014).

Spoehr (2008) afirma que sistema convencional de estruturas de concreto armado é constituído por lajes maciças, pilares e vigas, onde as lajes recebem os carregamentos provenientes da utilização, transmitindo para as vigas, as quais descarregam seus esforços nos pilares e esses às fundações representado na Figura 6.

Figura 6 – Representação de um sistema estrutural de laje maciça



Fonte: SPOHR (2008)

Segundo a NBR 6118/2007, as lajes maciças devem obedecer aos seguintes limites mínimos para a espessura:

- 5 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 KN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 KN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vidas, $1/42$ para lajes de pisos biapoiadas e $1/50$ para lajes de piso contínuas; (l =vãos considerados, cm)
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo.

De acordo com Nappi (1993), as lajes oferecem como vantagens:

- facilidade no lançamento e adensamento do concreto;
- possibilidade do emprego de talas soldadas, reduzindo o tempo de colocação das ferragens;
- segurança na execução da concretagem;
- maior rigidez ao conjunto da estrutura;
- não necessidade de área para depósito de material inerte;
- possibilidade de descontinuidade em sua superfície.

E como desvantagens, o autor aponta:

- alto consumo de madeira para fôrmas e escoramento;

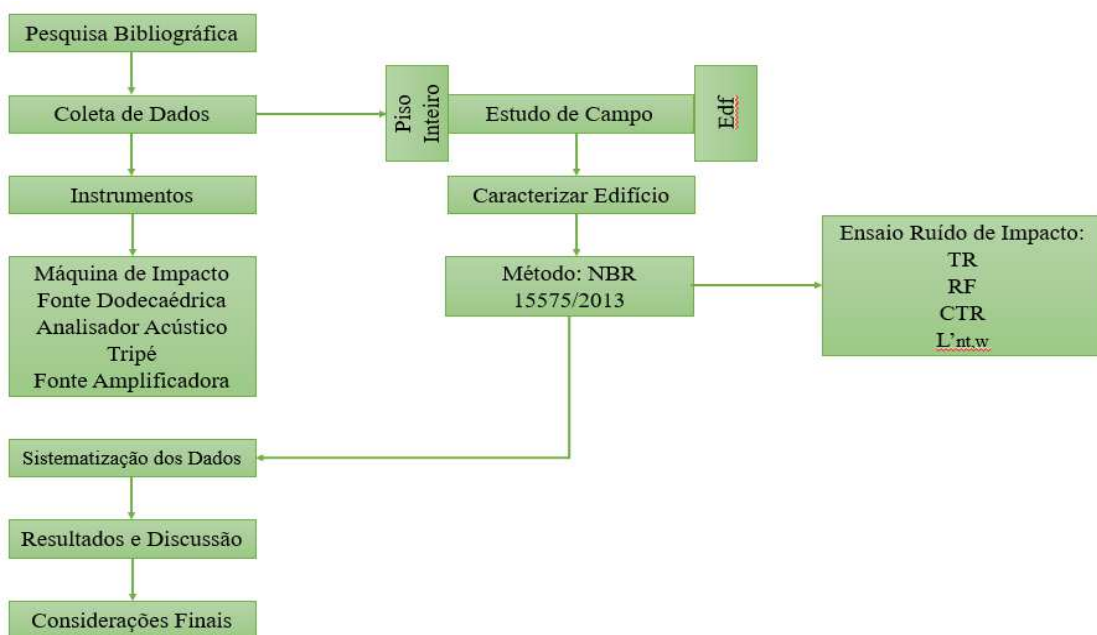
- tempo de execução das fôrmas e tempo de desforma muito grandes;
- uso de concreto onde ele não é solicitado.

3 METODOLOGIA

Para que haja uma melhor compreensão do desenvolvimento deste estudo, neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos e as estratégias utilizadas durante as pesquisas *in loco*. As análises são de caráter descritivas e os processos foram detalhados para melhor compreensão dos assuntos abordados, materiais e equipamentos utilizados. O estudo é focado no nível sonoro de percussão padronizado ($L'_{nT,w}$), avaliado nos dormitórios das moradias.

O desenvolvimento da pesquisa é exemplificado na Figura 7 abaixo seguindo os passos adotados por Pereira (2018).

Figura 7 – Metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Adaptado de Pereira (2018)

3.1 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

O estudo bibliográfico foi realizado entre maio e outubro de 2017, tendo como referências a ABNT NBR 15575/2013. Foram avaliados os procedimentos sugeridos pelas normas com relação ao conforto acústico, método de avaliação de desempenho e avaliação do ambiente.

As instruções adquiridas através das normas estudadas foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa, utilizadas durante toda a coleta de dados *in loco*, tanto para o estado no qual o ambiente deve se encontrar durante o experimento, como os equipamentos a serem utilizados e, ainda, a posição dos mesmos no ambiente em estudo.

3.2 COLETA DE DADOS

As medições de desempenho acústico foram realizadas entre novembro de 2017 e junho de 2018, na cidade de João Pessoa-PB, em dois edifícios de múltiplos pisos, avaliando o desempenho de oito ambientes. Essas medições nem sempre são possíveis de serem realizadas, pois são de caráter complexo e necessita da ajuda de colaboradores, como funcionários da obra ou donos, e tempo disponível.

Os edifícios avaliados ainda estavam em construção, sendo os testes feitos, diretamente na laje maciça ou no piso, o impacto sendo dissipado pelo piso, contrapiso e a laje maciça. Por isso, em todos os testes foi pedido pra que a obra não estivesse em andamento durante os eventos, ou, pelo menos, houvesse o mínimo de barulho possível. Os quartos que seriam avaliados eram vedados quando ainda não possuíam janelas ou portas para simular o mais perto da realidade possível.

Para a caracterização dos ambientes, foram coletados os seguintes dados:

- Forro – identificando o tipo e a espessura;
- Espessura da laje;
- Contrapiso – identificando o tipo e a espessura;
- Revestimento – identificando o tipo e a espessura;
- Área do ambiente de emissão e recepção;
- Volume do ambiente de emissão e recepção;
- Pé Direito.

3.3 INSTRUMENTOS

Os equipamentos utilizados durante as atividades experimentais foram:

- Analisador de ruído *Brüel&Kjær* modelo 2270;
- Máquina de impactos padronizada *Brüel&Kjær* modelo 3207;
- Fonte de ruído dodecaédrica *Brüel&Kjær*;
- Amplificador para fonte de ruído *Brüel&Kjær*;
- Calibrador de analisador *Brüel&Kjær*.

O analisador de ruído, a máquina de impactos padronizados, a fonte dodecaédrica e o amplificador são exibidos nas Figuras 8, 9, 10 e 11 respectivamente.

Figura 8 –Analisador de ruído *Brüel&Kjær*



Fonte: Brüel&Kjær (2018)

Figura 9 –Máquina de impacto padronizado



Fonte: Brüel&Kjær (2018)

Figura 10 –Fonte de ruído dodecaédrica



Fonte: Brüel&Kjær (2018)

Figura 11 –Amplificador para fonte de ruído



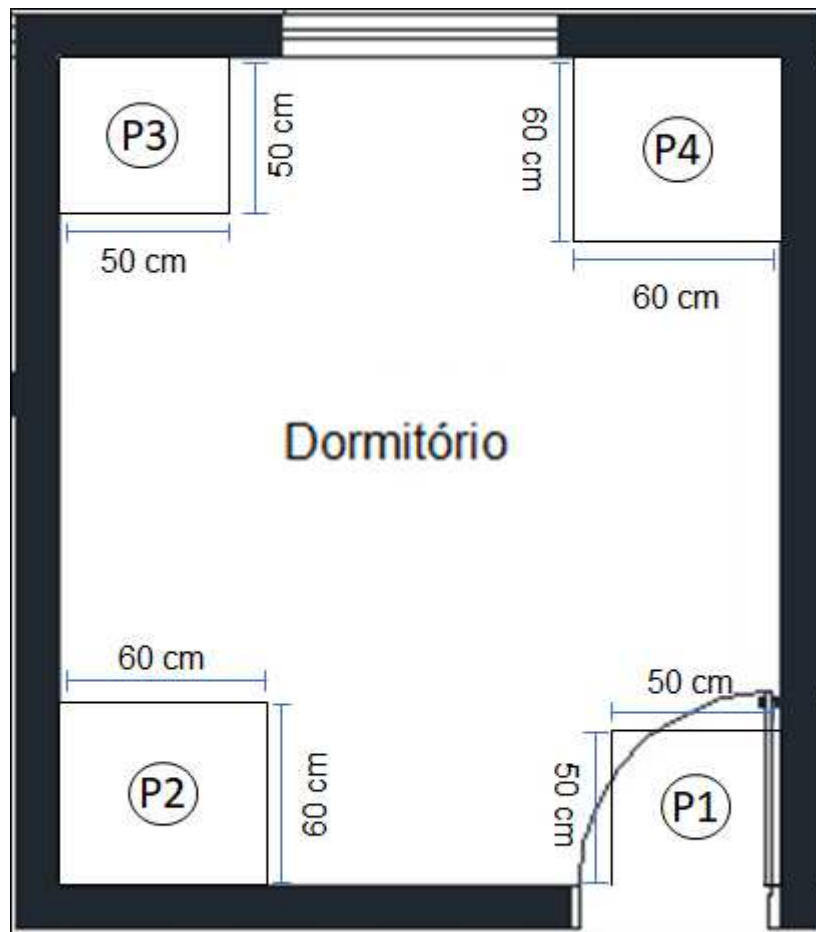
Fonte: Brüel&Kjær (2018)

3.4 EXPERIMENTO EM CAMPO

Antes de iniciar os testes, foram feitas quatro medições em cada dormitório, uma em cada canto do mesmo, em dois quartos em andares consecutivos, um sobre o outro, sendo

definidos por ponto 1 (P1), ponto 2 (P2), ponto 3 (P3) e ponto 4 (P4). O ponto 1 e o ponto 3 possuem uma distância mínima de 50 centímetros das paredes adjacentes. Já o ponto 2 e o ponto 4 possuem uma distância mínima de 60 centímetros das paredes adjacentes. Esse sistema está demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Posicionamento dos pontos medidos distribuídos no dormitório



Fonte: O Autor (2018)

Após as medições dos pontos, a fonte omnidirecional ficava posicionada no ponto 3, fixa, conectada ao amplificador de potência. O medidor integrador de nível sonoro também era conectado ao amplificador de potência e variava a posição entre os pontos 1, ponto 2 e ponto 4.

O início do teste se dava com a medição do tempo de reverberação, onde o operador posicionava o medidor integrador de nível sonoro no ponto 1 e acionava o equipamento. A fonte omnidirecional emitia as ondas sonoras por 12 lados diferentes, durante 10 segundos, e

o medidor integrador de nível sonoro coletava os dados de tempo referentes a frequências variantes de 50 Hz a 5000 Hz.

O experimento continuava com o operador movendo o medidor integrador de nível sonoro para o ponto 2, repetindo o teste, e, logo em seguida, para o ponto 4, repetindo novamente. Esse teste era feito duas vezes pelo operador em cada dormitório.

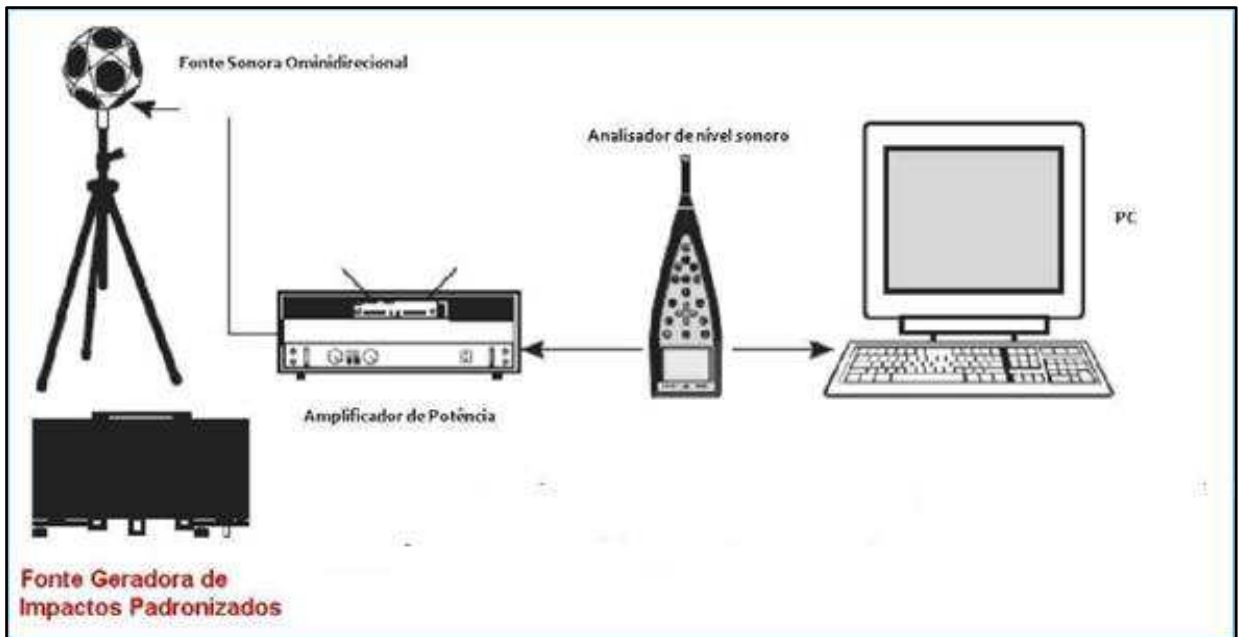
Em seguida, o amplificador de potência e a fonte omnidirecional eram retirados do quarto e o medidor integrador de nível sonoro era posicionado no centro do dormitório para o operador dar início ao teste de captação de ruído de fundo. O medidor integrador de nível sonoro coletava os dados referentes as frequências variantes emitidas pelo ambiente de 50 Hz a 5000 Hz durante cinco minutos.

Após a finalização da captação do ruído de fundo, o operador iniciava a preparação para a medição do ruído de impacto, retornando o medidor integrador de nível sonoro ao ponto 1 do quarto inferior e posicionando a fonte geradora de impacto padronizado no ponto 1 do andar superior.

A fonte geradora de impacto padronizada era acionada, gerando impacto direto sobre a laje maciça ou no piso cerâmico. O operador coletava os dados referentes ao impacto através do medidor integrador de nível sonoro, nas quatro posições, alterando do ponto 1 ao ponto 4, variando de 100 Hz até 3150 Hz, durante o tempo de 10 segundos por posição.

Posteriormente, o operador mudava a posição da fonte geradora de impacto padronizado para o ponto 2 do andar superior e repetia a operação com o medidor integrador de nível sonoro variando as quatro medições do ponto 1 ao ponto 4. Esse teste se repetia para o ponto 3 e o ponto 4 do andar superior. Os passos a serem seguidos para desenvolver o experimento são mostrados na Figura 13.

Figura 13 – Passos para o desenvolvimento da pesquisa *in loco*



Fonte: Adaptado de Brüel&Kjær (2018)

3.5 SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS

Após a finalização dos experimentos *in loco*, os dados obtidos do teste de tempo de reverberação, ruído de fundo e ruído de impacto foram transferidos para o computador, mais especificamente para um *software* desenvolvido no programa Microsoft Office Excel, onde calculou-se as médias dos testes obtidos e, conseqüentemente, os níveis de impactos padronizados ($L_n^{T,w}$). Assim, o resultado gerado afirmava se o teste de desempenho atendia ou não os requisitos necessários avaliados pelas normas.

3.5.1 Telas de Tabulação do Ensaio de Reverberação

O *software* é demonstrado nas Figuras 14, 15, 16 e 17, exibindo a tela de preenchimento dos dados gerados no analisador de ruído para os testes de reverberação. A figura 14 mostra a tela de alimentação da planilha.

Figura 14 – Tela de preenchimento dos dados obtidos nos testes de reverberação

ENSAIO DE REVERBERAÇÃO ensaio realizado em 25 de janeiro de 2018 - emissão apt 3301 recepção 3201

POS1 MED1			POS1 MED2			POS2 MED1			POS2 MED2			POS3 MED1			POS3 MED2		
FREQ	T20	T30	FREQ	T20	T30	FREQ	T20	T30	FREQ	T20	T30	FREQ	T20	T30	FREQ	T20	T30
50			50			50			50			50			50		
63			63			63			63			63			63		
80			80			80			80			80			80		
100			100			100			100			100			100		
125			125			125			125			125			125		
160			160			160			160			160			160		
200			200			200			3			200			200		
250			250			250			250			250			250		
315			315			315			315			315			315		
400			400			400			400			400			400		
500			500			500			500			500			500		
630			630			630			630			630			630		
800			800			800			800			800			800		
1000			1000			1000			1000			1000			1000		
1250			1250			1250			1250			1250			1250		
1600			1600			1600			1600			1600			1600		
2000			2000			2000			2000			2000			2000		
2500			2500			2500			2500			2500			2500		
3150			3150			3150			3150			3150			3150		
4000			4000			4000			4000			4000			4000		
5000			5000			5000			5000			5000			5000		

Fonte: O Autor (2018)

A Figura 15 mostra o cálculo das médias geradas entre as posições de cada medida.

Figura 15 – Média gerada entre as posições

POS1 MED1		POS1 MED2		POS2 MED1		POS2 MED2		POS3 MED1		POS3 MED2	
FREQ	Mt20-130	FREQ	Mt20-130	FREQ	Mt20-130	FREQ	Mt20-130	FREQ	Mt20-130	FREQ	Mt20-130
50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
63	0	63	0	63	0	63	0	63	0	63	0
80	0	80	0	80	0	80	0	80	0	80	0
100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
125	0	125	0	125	0	125	0	125	0	125	0
160	0	160	0	160	0	160	0	160	0	160	0
200	0	200	0	200	0	200	0	200	0	200	0
250	0	250	0	250	0	250	0	250	0	250	0
315	0	315	0	315	0	315	0	315	0	315	0
400	0	400	0	400	0	400	0	400	0	400	0
500	0	500	0	500	0	500	0	500	0	500	0
630	0	630	0	630	0	630	0	630	0	630	0
800	0	800	0	800	0	800	0	800	0	800	0
1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0
1250	0	1250	0	1250	0	1250	0	1250	0	1250	0
1600	0	1600	0	1600	0	1600	0	1600	0	1600	0
2000	0	2000	0	2000	0	2000	0	2000	0	2000	0
2500	0	2500	0	2500	0	2500	0	2500	0	2500	0
3150	0	3150	0	3150	0	3150	0	3150	0	3150	0
4000	0	4000	0	4000	0	4000	0	4000	0	4000	0
5000	0	5000	0	5000	0	5000	0	5000	0	5000	0

Fonte: O Autor (2018)

Na Figura 16, o *software* calcula novamente as médias das médias obtidas na figura 15.

Figura 16 – Média gerada entre as médias anteriores

POS1		MED		POS2		MED		POS3		MED	
FREQ	med1:med2	FREQ	med1:med2	FREQ	med1:med2	FREQ	med1:med2	FREQ	med1:med2	FREQ	med1:med2
50	0	50	0	50	0						
63	0	63	0	63	0						
80	0	80	0	80	0						
100	0	100	0	100	0						
125	0	125	0	125	0						
160	0	160	0	160	0						
200	0	200	0	200	0						
250	0	250	0	250	0						
315	0	315	0	315	0						
400	0	400	0	400	0						
500	0	500	0	500	0						
630	0	630	0	630	0						
800	0	800	0	800	0						
1000	0	1000	0	1000	0						
1250	0	1250	0	1250	0						
1600	0	1600	0	1600	0						
2000	0	2000	0	2000	0						
2500	0	2500	0	2500	0						
3150	0	3150	0	3150	0						
4000	0	4000	0	4000	0						
5000	0	5000	0	5000	0						

Fonte: O Autor (2018)

A Figura 17 exibe o resultado gerado após a média final das 3 médias calculadas na Figura 16, onde ocorre, também, a divisão dos valores por 0,5.

Figura 17 – Resultado da média final

MED		Final	
FREQ			
50	0,0		
63	0,0		
80	0,0		Média dividida por 0,5
100	0,0	0,0	
125	0,0	0,0	
160	0,0	0,0	
200	0,0	0,0	
250	0,0	0,0	
315	0,0	0,0	
400	0,0	0,0	
500	0,0	0,0	
630	0,0	0,0	
800	0,0	0,0	
1000	0,0	0,0	
1250	0,0	0,0	
1600	0,0	0,0	
2000	0,0	0,0	
2500	0,0	0,0	
3150	0,0	0,0	
4000	0,0	0,0	
5000	0,0	0,0	

Fonte: O Autor (2018)

3.5.2 Telas de Tabulação do Ensaio de Ruído de Fundo

Os dados originados dos testes realizados de ruído de fundo, são adicionados na segunda aba do *software*, onde, nessa mesma tela, ainda há a comparação com os testes gerados do ruído de impacto. O ruído de fundo deve ser 10 dB inferior ao do ruído de impacto em cada frequência para que os testes sejam válidos. A tela é mostrada na Figura 18.

Figura 18 – Tela de preenchimento dos dados obtidos nos testes de ruído de fundo

Captação de Ruído de Fundo				obs: em ambos os casos, o ruído de fundo deu inferior em mais de 10 dB com as medições; verificar os dados no analisador	
Projeto:	ruído de fundo - apto				obs de outro ensaio! Anotado pelo prof roberto
Tempo:	5 min				
Início:				aplicar fórmula para cada frequência	
L _{Aeq} :		L _{zeq} (no frequency weighting)			
L _E pico:		FREQ		$L'nT = L_i - 10 \log (T/T_0)$ dB	
L _A F90:		50		L _i = Média dos ruídos de impacto	
L _C pico:		63		T = Tempo de reverb medido (média das medições de reverb)	
L _A Fmax:		80		T ₀ = Referência (0,5 segundos)	
L _A Fmin:		100		L'nT = Nível de ruído de impacto padronizado, em dB	
L _C eq:		125			
		160			
		200			
		250			
		315			
		400			
		500			
		630			
		800			
		1000			
		1250			
		1600			
		2000			
		2500			
		3150			
		4000			
		5000			
				resultado do ruído de impacto	

Fonte: O Autor (2018)

3.5.3 Telas de Tabulação do Ensaio de Ruído de Impacto

A terceira aba do *software* é designada a calcular os dados referentes ao ruído de impacto gerados pelo analisador de ruído após a finalização dos testes. As Figuras 19 e 20 exibem a tela de alimentação de dados.

Figura 19 – Tela de preenchimento dos dados obtidos nos testes de ruído de impacto para as posições 1 e 2

Ruído de Impacto															
Projeto:								Projeto:							
POS1 MED1		POS1 MED2		POS1 MED3		POS1 MED4		POS2 MED1		POS2 MED2		POS2 MED3		POS2 MED4	
FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ	
50		50		50		50		50		50		50		50	
63		63		63		63		63		63		63		63	
80		80		80		80		80		80		80		80	
100		100		100		100		100		100		100		100	
125		125		125		125		125		125		125		125	
160		160		160		160		160		160		160		160	
200		200		200		200		200		200		200		200	
250		250		250		250		250		250		250		250	
315		315		315		315		315		315		315		315	
400		400		400		400		400		400		400		400	
500		500		500		500		500		500		500		500	
630		630		630		630		630		630		630		630	
800		800		800		800		800		800		800		800	
1000		1000		1000		1000		1000		1000		1000		1000	
1250		1250		1250		1250		1250		1250		1250		1250	
1600		1600		1600		1600		1600		1600		1600		1600	
2000		2000		2000		2000		2000		2500		2500		2500	
2500		2500		2500		2500		2500		3150		3150		3150	
3150		3150		3150		3150		3150		3150		3150		3150	
4000		4000		4000		4000		4000		4000		4000		4000	
5000		5000		5000		5000		5000		5000		5000		5000	

Fonte: O Autor (2018)

Figura 20 – Tela de preenchimento dos dados obtidos nos testes de ruído de impacto para as posições 3 e 4

Ruído de Impacto															
Projeto:								Projeto:							
POS3 MED1		POS3 MED2		POS3 MED3		POS3 MED4		POS4 MED1		POS4 MED2		POS4 MED3		POS4 MED4	
FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ		FREQ	
50		50		50		50		50		50		50		50	
63		63		63		63		63		63		63		63	
80		80		80		80		80		80		80		80	
100		100		100		100		100		100		100		100	
125		125		125		125		125		125		125		125	
160		160		160		160		160		160		160		160	
200		200		200		200		200		200		200		200	
250		250		250		250		250		250		250		250	
315		315		315		315		315		315		315		315	
400		400		400		400		400		400		400		400	
500		500		500		500		500		500		500		500	
630		630		630		630		630		630		630		630	
800		800		800		800		800		800		800		800	
1000		1000		1000		1000		1000		1000		1000		1000	
1250		1250		1250		1250		1250		1250		1250		1250	
1600		1600		1600		1600		1600		1600		1600		1600	
2000		2000		2000		2000		2000		2000		2000		2000	
2500		2500		2500		2500		2500		2500		2500		2500	
3150		3150		3150		3150		3150		3150		3150		3150	
										4000		4000		4000	
										5000		5000		5000	

Fonte: O Autor (2018)

As Figuras 21 e 22 mostram o cálculo das médias geradas entre as posições de cada medida.

Figura 21 – Médias geradas entre as posições 1 e 2

MÉDIA Li	POS1											MÉDIA Li	POS2
FREQ												FREQ	
50	0											50	0
63	0											63	0
80	0											80	0
100	0											100	0
125	0											125	0
160	0											160	0
200	0											200	0
250	0											250	0
315	0											315	0
400	0											400	0
500	0											500	0
630	0											630	0
800	0											800	0
1000	0											1000	0
1250	0											1250	0
1600	0											1600	0
2000	0											2000	0
2500	0											2500	0
3150	0											3150	0
4000	0											4000	0
5000	0											5000	0

Fonte: O Autor (2018)

Figura 22 – Médias geradas entre as posições 3 e 4

MÉDIA Li	POS3												FREQ	
FREQ														
50	0												50	0
63	0												63	0
80	0												80	0
100	0												100	0
125	0												125	0
160	0												160	0
200	0												200	0
250	0												250	0
315	0												315	0
400	0												400	0
500	0												500	0
630	0												630	0
800	0												800	0
1000	0												1000	0
1250	0												1250	0
1600	0												1600	0
2000	0												2000	0
2500	0												2500	0
3150	0												3150	0
4000	0												4000	0
5000	0												5000	0

Fonte: O Autor (2018)

A Figura 23 exibe o resultado gerado após a média final das médias calculadas nas Figuras 21 e 22.

Figura 23 – Resultado da média final

MÉDIA Li	FINAL
FREQ	
50	
63	
80	
100	
125	
160	
200	
250	
315	
400	
500	
630	
800	
1000	
1250	
1600	
2000	
2500	
3150	
4000	
5000	

Fonte: O Autor (2018)

3.5.4 Telas do Nível de Impacto Padronizado Ponderado ($L'_{nt,w}$) e os Gráficos

A quarta aba é destinada ao cálculo do nível de impacto padronizado ponderado, onde são informados valores no primeiro espaço do campo “Curva (dB)” para que haja a maior aproximação do valor de referência ao valor mais próximo do seu lado esquerdo, utilizando números inteiros, não podendo ultrapassar o mesmo. O resultado é gerado na lacuna nomeada de “Número Global que Classifica a Amostra”, mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Tela de preenchimento para o cálculo do L'nt,w

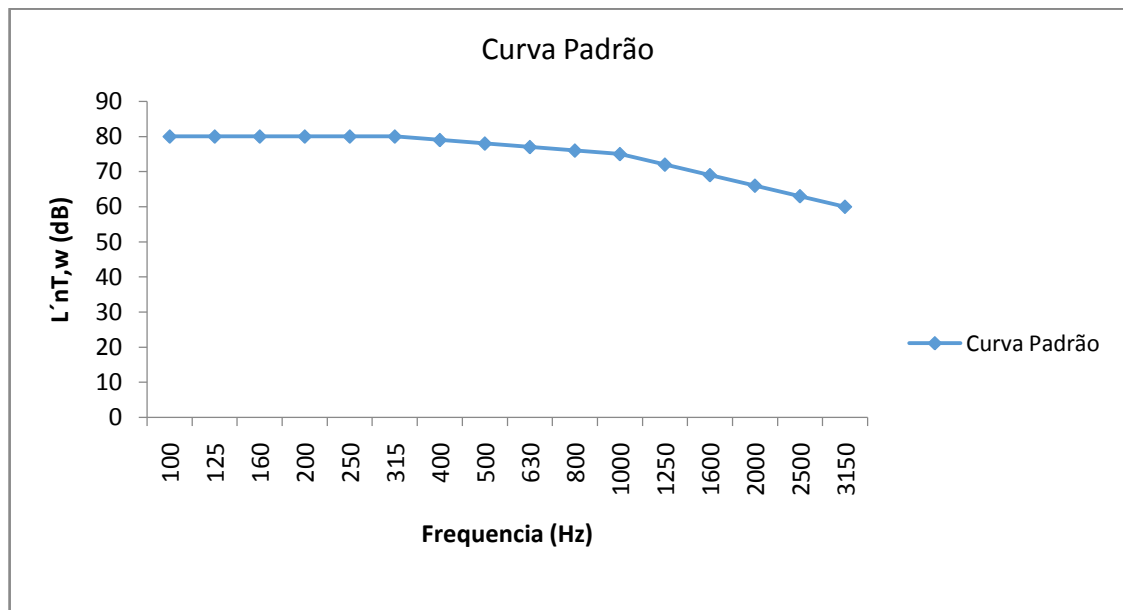
Níveis de Impactos Padronizados (L'nT,w)						aplicar fórmula para cada frequência
	A	B	C	D	E	
Freq	Curva (dB)	L'nT (dB)	Diferença			L'nT=Li - 10 Log (T/T0)dB
100		0,0	0,0	0	0,0	
125	0	0,0	0,0	0	0,0	
160	0	0,0	0,0	0	0,0	
200	0	0,0	0,0	0	0,0	
250	0	0,0	0,0	0	0,0	
315	0	0,0	0,0	0	0,0	
400	-1	0,0	1,0	1	1,0	
500	-2	0,0	2,0	1	2,0	
630	-3	0,0	3,0	1	3,0	
800	-4	0,0	4,0	1	4,0	
1000	-5	0,0	5,0	1	5,0	
1250	-8	0,0	8,0	1	8,0	
1600	-11	0,0	11,0	1	11,0	
2000	-14	0,0	14,0	1	14,0	
2500	-17	0,0	17,0	1	17,0	
3150	-20	0,0	20,0	1	20,0	
				10	85,0	32*
Número Global que Classifica a Amostra						* Valor de referência
-2 dB						

Quarto 1

Fonte: O Autor (2018)

Na quinta aba do *software*, um gráfico é plotado onde há a comparação entre a curva dos resultados obtidos (Curva Padrão), o habitual ocorrido em edifícios, com a curva dos edifícios em estudo (Recepção1) demonstrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Exemplo de um gráfico com a relação entre a curva padrão e os edifícios em estudo



Fonte: O Autor (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações de desempenho acústico foram feitas em edifícios possuindo a câmara de emissão e a câmara de recepção com as mesmas características construtivas. As medições foram feitas nos dormitórios, sem mobília e com as janelas e portas fechadas.

4.1 EDIFÍCIO 1

No primeiro edifício foram feitas duas avaliações em dois apartamentos diferentes. Os apartamentos possuíam porta de madeira e janelas de vidros corrediças, forro de gesso, o contrapiso de argamassa comum e o revestimento de porcelanato. O prédio não possui o sistema de pisos flutuantes.

As características construtivas do edifício estão exemplificadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características construtivas do edifício 1

Edifício 1	Forro (cm)	Espessura da laje (cm)	Contrapiso (cm)	Pé Direito (m)
	20	12	4	2,44

Fonte: O Autor (2018)

4.1.1 Quarto1

O quarto1 tem 3,44 metros de largura e 2,52 metros de comprimento, as paredes com espessura de 15 centímetros. A área total do dormitório é de 8,66 metros quadrados e um volume de 21,13 metros cúbicos, mostrados na Tabela 3.

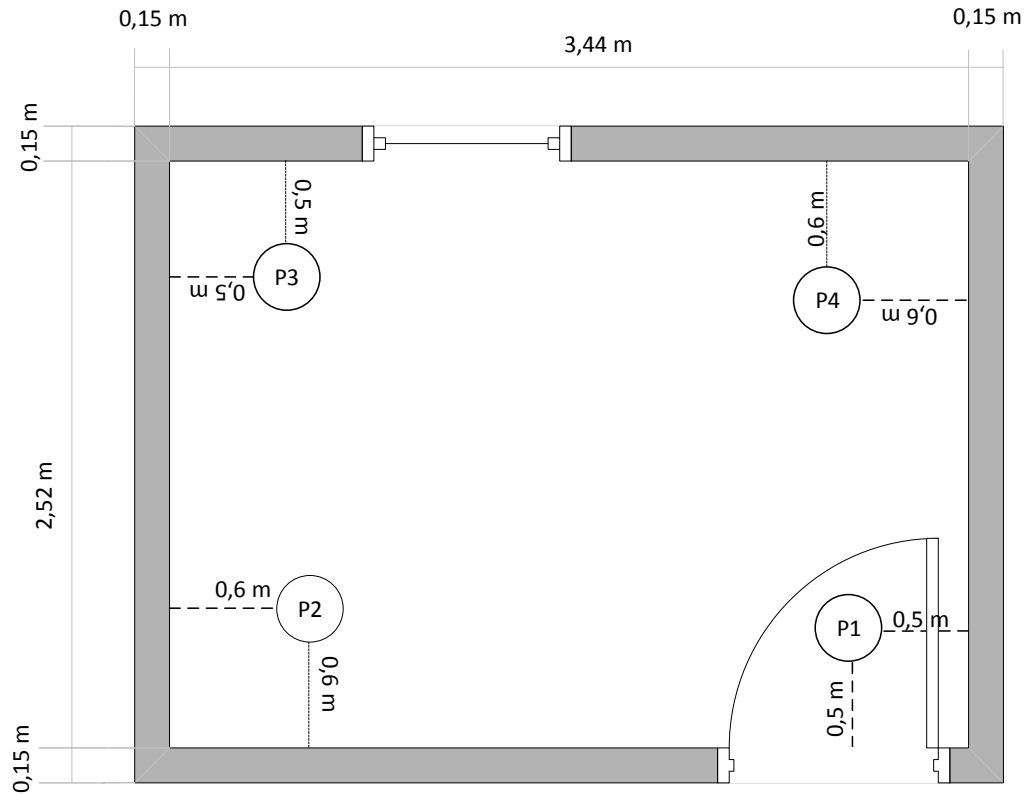
Tabela 3 – Dimensões do quarto1 do primeiro edifício

Apartamento 1	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
	2,52	3,44	8,66	21,13

Fonte: O Autor (2018)

As dimensões do dormitório também são mostradas no croqui, juntamente dos pontos de localização aos quais os equipamentos ficavam localizados, exibido na Figura 25.

Figura 25 – Croqui do quarto1 do primeiro edifício



Fonte:

O Autor (2018)

Legenda:

P1 – Ponto 1

P2 – Ponto 2

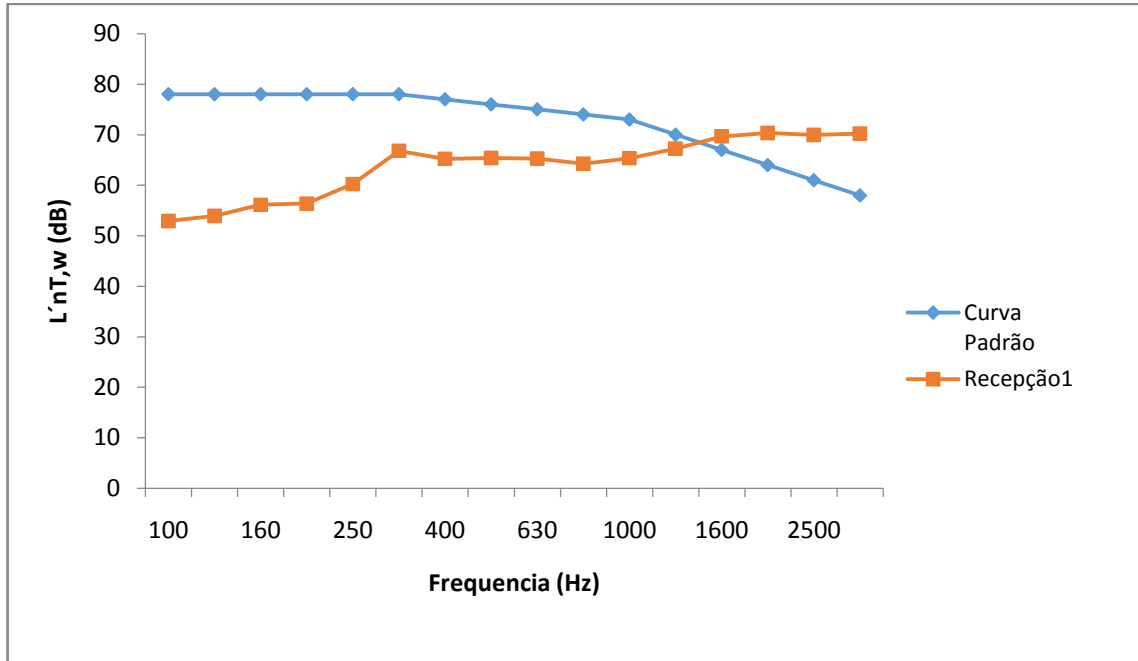
P3 – Ponto 3

P4 – Ponto 4

Os testes no quarto1 resultaram o valor de 54,9 dB na captação do ruído de fundo e 76 dB para o nível de ruído de impacto padronizado, atingindo o limite de desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575/2013.

No Gráfico 2 está a relação do nível de ruído de impacto padronizado e a frequência obtida nos experimentos feitos no quarto 1.

Gráfico 2 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do quarto 1



Fonte: O Autor (2018)

4.1.2 Quarto2

O quarto2 tem 2,91 metros de largura e 4,2 metros de comprimento, as paredes com espessura de 15 centímetros. A área total do dormitório é de 12,22 metros quadrados e um volume de 29,81 metros cúbicos, mostrados na Tabela 4.

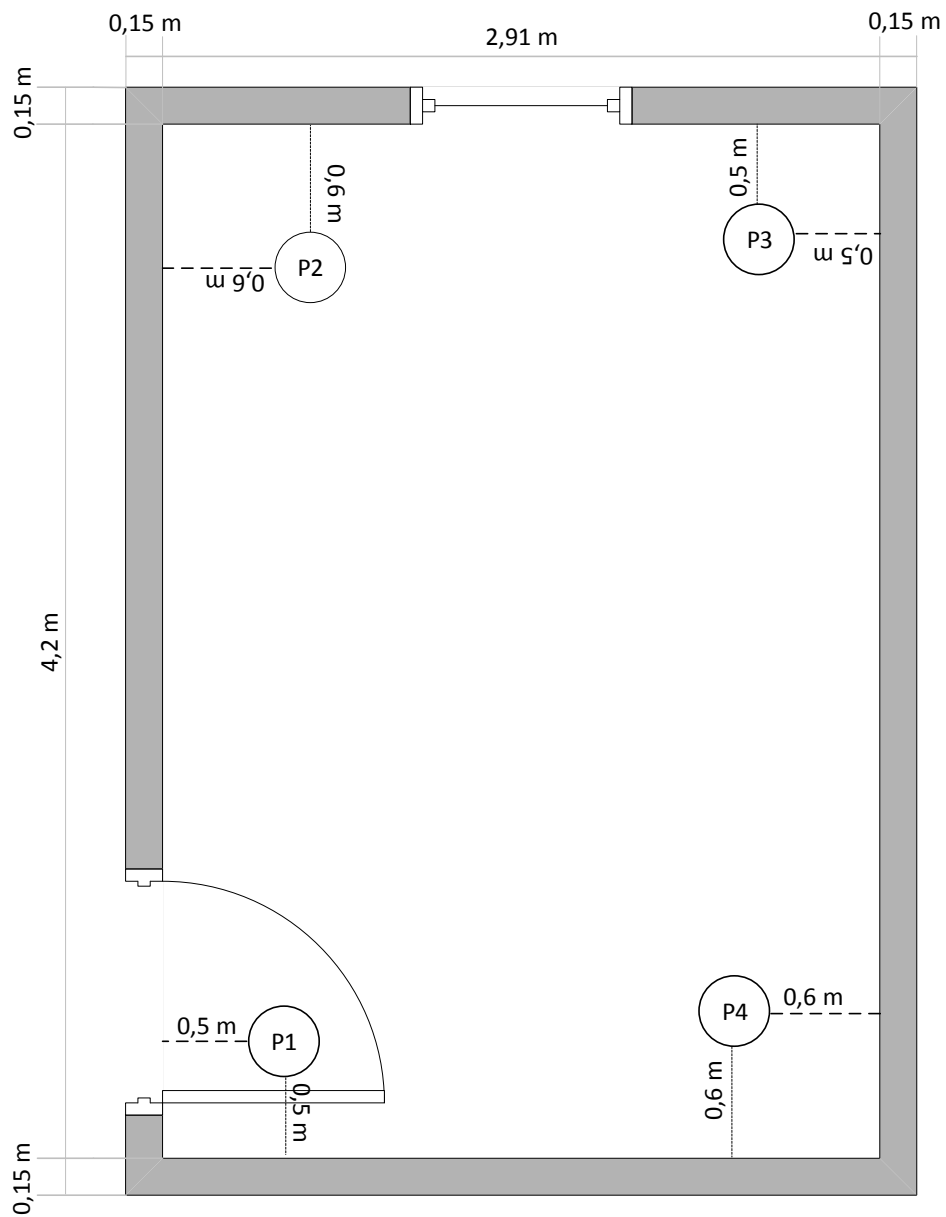
Tabela 4 – Dimensões do quarto2 do primeiro edifício

Apartamento 2	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
	2,91	4,2	12,22	29,81

Fonte: O Autor (2018)

As dimensões do dormitório também são mostradas no croqui, juntamente dos pontos de localização aos quais os equipamentos ficavam localizados, exibido na Figura 26.

Figura 26 – Croqui do apartamento 2 do primeiro edifício



O Autor (2018)

Fonte:

Legenda:

P1 – Ponto 1

P2 – Ponto 2

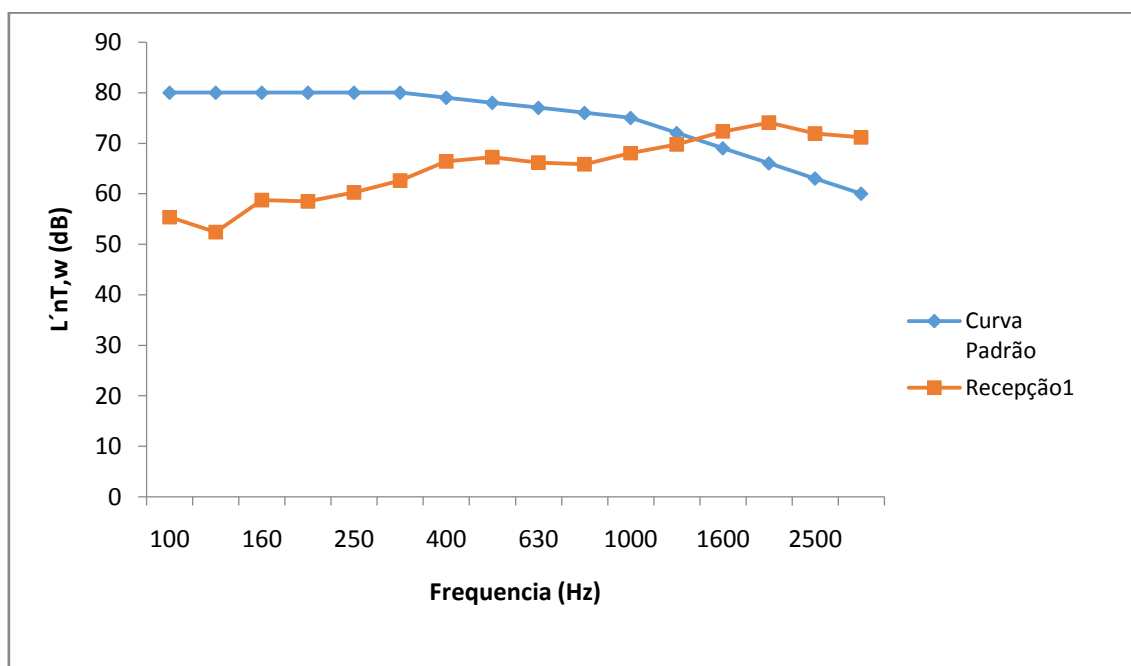
P3 – Ponto 3

P4 – Ponto 4

Os testes no quarto2 resultaram o valor de 61,2 dB na captação do ruído de fundo e 78 dB para o nível de ruído de impacto padronizado, atingindo o limite de desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575/2013.

No Gráfico 3 está a relação do nível de ruído de impacto padronizado e a frequência obtida nos experimentos feitos no quarto 2.

Gráfico 3 -Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nT,w}$) e a frequência (Hz) do quarto 2



Fonte: O Autor (2018)

4.2 EDIFÍCIO 2

No segundo edifício foram feitas seis avaliações em três quartos diferentes. As três primeiras avaliações se desenvolveram enquanto o prédio estava sem o forro, o contrapiso e o revestimento. Os dormitórios possuíam porta de madeira e janelas de vidros corrediças. As três últimas medições, o edifício já estava com o forro, o contrapiso e o revestimento. Os quartos possuíam porta de madeira e janelas de vidros corrediças, forro de gesso, o contrapiso de argamassa comum e o revestimento cerâmico. O prédio não possui o sistema de pisos flutuantes.

As características construtivas do edifício nas três primeiras medições e nas três últimas estão exemplificadas nas Tabelas 5 e 6 respectivamente.

Tabela 5 – Características construtivas do edifício 2 para as primeiras medições

Edifício 2	Forro (cm)	Espessura da laje (cm)	Contrapiso (cm)	Pé Direito (m)
	-	16	-	2,40

Fonte: O Autor (2018)

Tabela 6 – Características construtivas do edifício 2 para as últimas medições

Edifício 2	Forro (cm)	Espessura da laje (cm)	Contrapiso (cm)	Pé Direito (m)
	11	16	4	2,40

Fonte: O Autor (2018)

4.2.1 Quarto1 (medição 1)

O quarto 1 tem 2,5 metros de largura e 2 metros de comprimento, as paredes com espessura de 15 centímetros. A área total do dormitório é de 8,66 metros quadrados e um volume de 21,13 metros cúbicos, mostrados na Tabela 7.

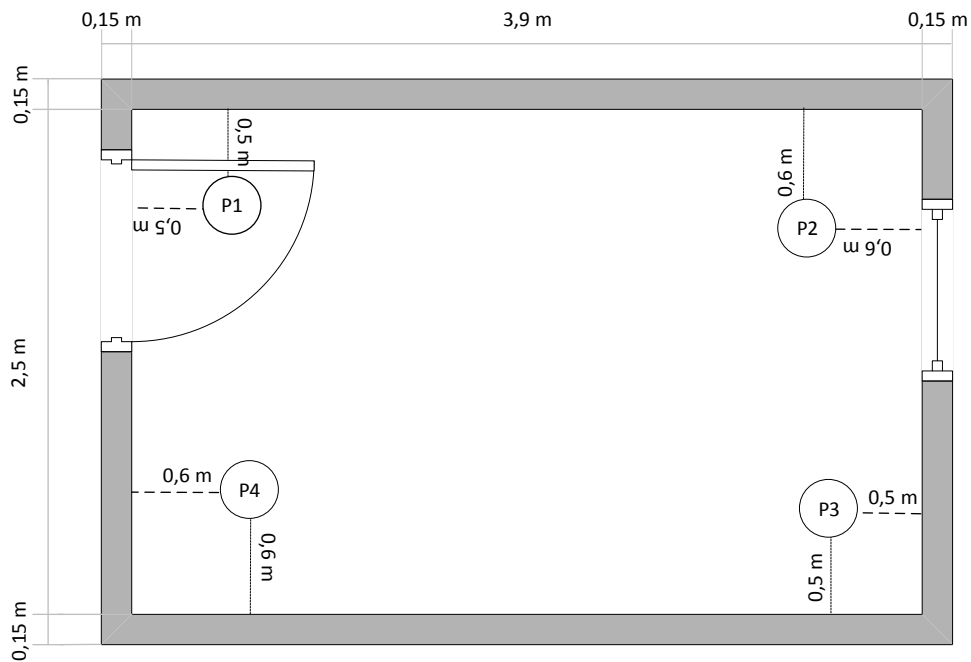
Tabela 7 – Dimensões do quarto1 do segundo edifício

Quarto1	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
	2,5	3,9	9,75	23,4

Fonte: O Autor (2018)

As dimensões do dormitório também são mostradas no croqui, juntamente dos pontos de localização aos quais os equipamentos ficavam localizados, exibido na Figura 27.

Figura 27 – Croqui do quarto1 do segundo edifício



Fonte: O Autor (2018)

Legenda:

P1 – Ponto 1

P2 – Ponto 2

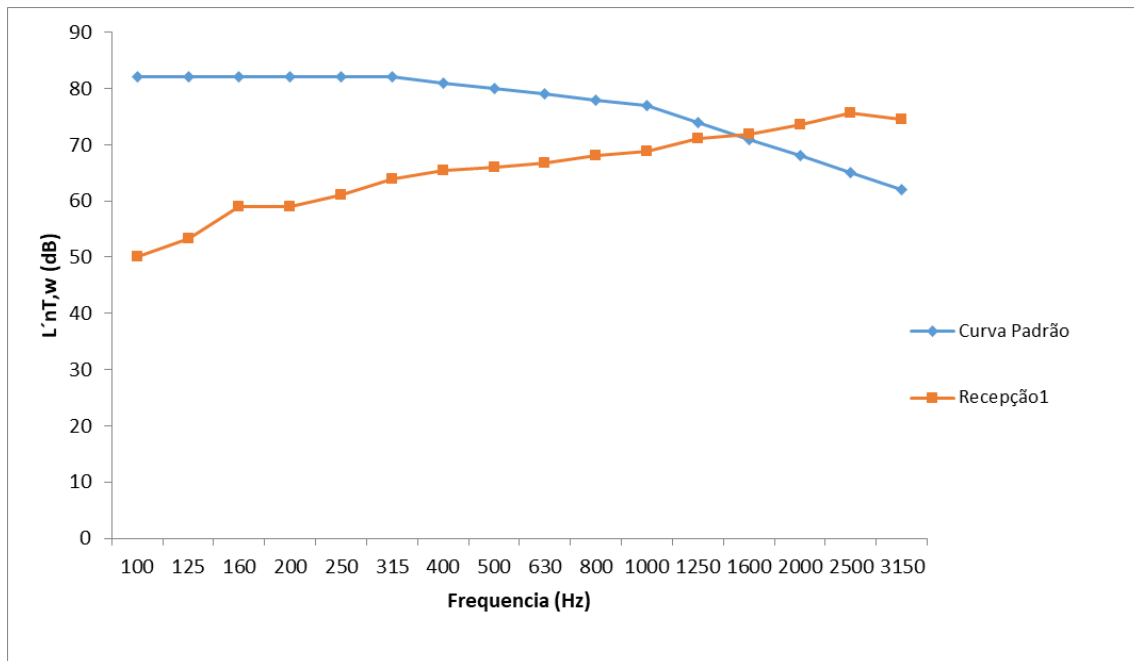
P3 – Ponto 3

P4 – Ponto 4

Os testes no quarto1 para a primeira medição resultaram o valor de 47,1 dB na captação do ruído de fundo e 80 dB para o nível de ruído de impacto padronizado, atingindo o limite de desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575/2013.

No Gráfico 4 está a relação do nível de ruído de impacto padronizado e a frequência obtida nos experimentos feitos no quarto 1 na primeira medição.

Gráfico 4 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do quarto 1 na primeira medição



Fonte: O Autor (2018)

4.2.2 Quarto 2 (medição 1)

O quarto2 tem 2,63 metros de largura e 3,60 metros de comprimento, as paredes com espessura de 15 centímetros. A área total do dormitório é de 9,47 metros quadrados e um volume de 22,73 metros cúbicos, mostrados na Tabela 8.

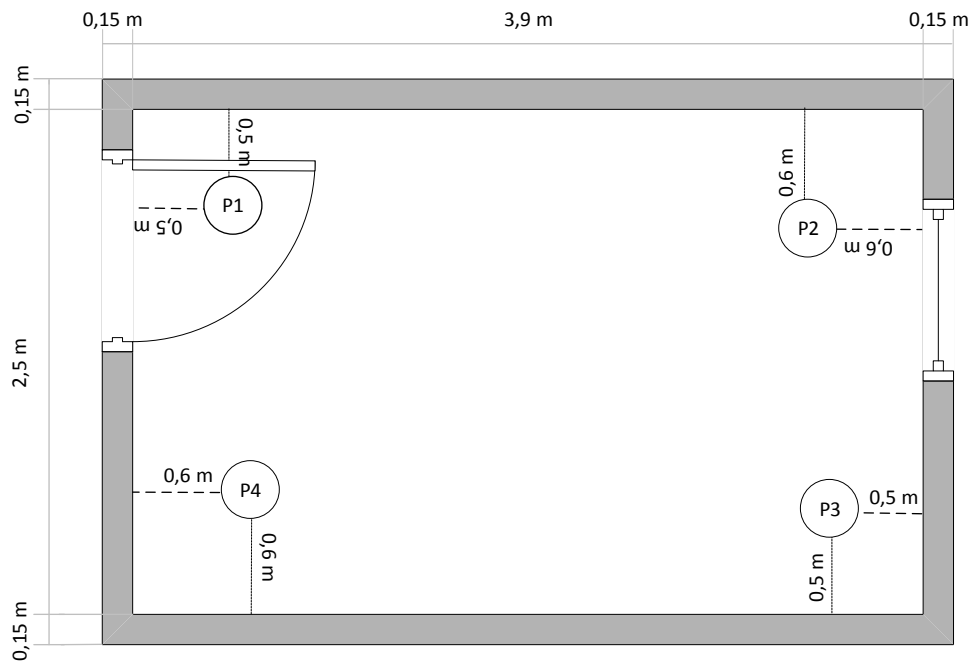
Tabela 8 – Dimensões do quarto2 do segundo edifício

Quarto2	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
	2,63	3,60	9,47	22,73

Fonte: O Autor (2018)

As dimensões do dormitório também são mostradas no croqui, juntamente dos pontos de localização aos quais os equipamentos ficavam localizados, exibido na Figura 28.

Figura 28 – Croqui do quarto2 do segundo edifício



Fonte: O Autor (2018)

Legenda:

P1 – Ponto 1

P2 – Ponto 2

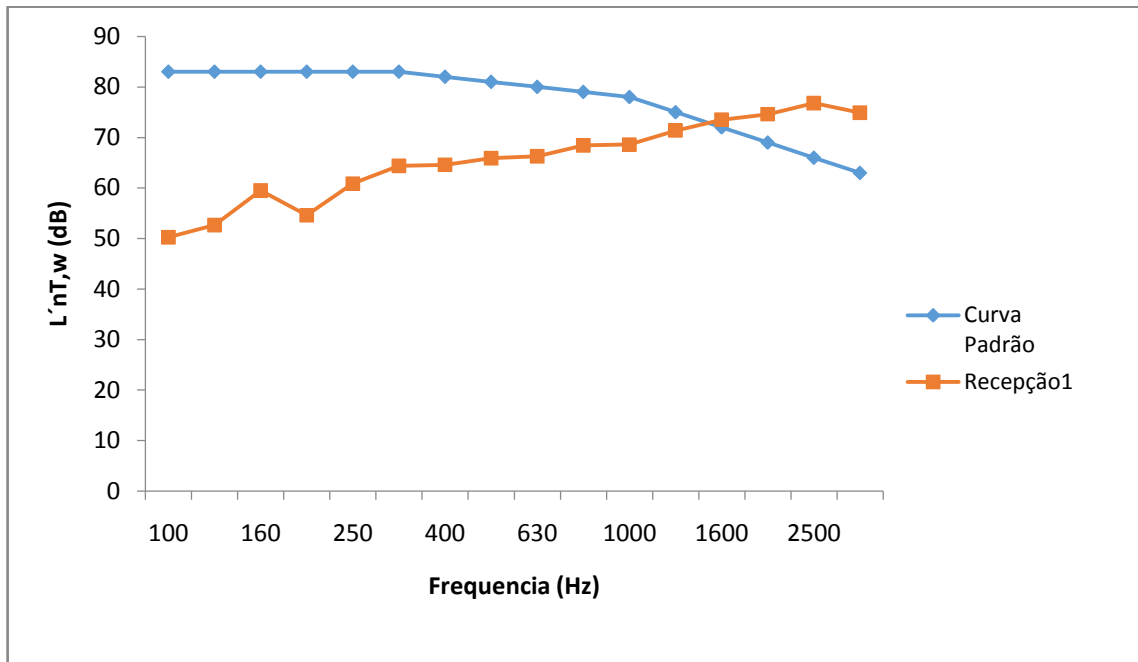
P3 – Ponto 3

P4 – Ponto 4

Os testes no quarto2 para a primeira medição resultaram o valor de 46,2 dB na captação do ruído de fundo e 81 dB para o nível de ruído de impacto padronizado, não atingindo o limite de desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575/2013.

No Gráfico 5 está a relação do nível de ruído de impacto padronizado e a frequência obtida nos experimentos feitos no quarto 2 na primeira medição.

Gráfico 5 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do apartamento 2 na primeira medição



Fonte: O Autor (2018)

4.2.3 Quarto3 (medição 1)

O quarto3 tem 3,50 metros de largura e 2,50 metros de comprimento, as paredes com espessura de 15 centímetros. A área total do dormitório é de 6,07 metros quadrados e um volume de 14,57 metros cúbicos, mostrados na Tabela 9.

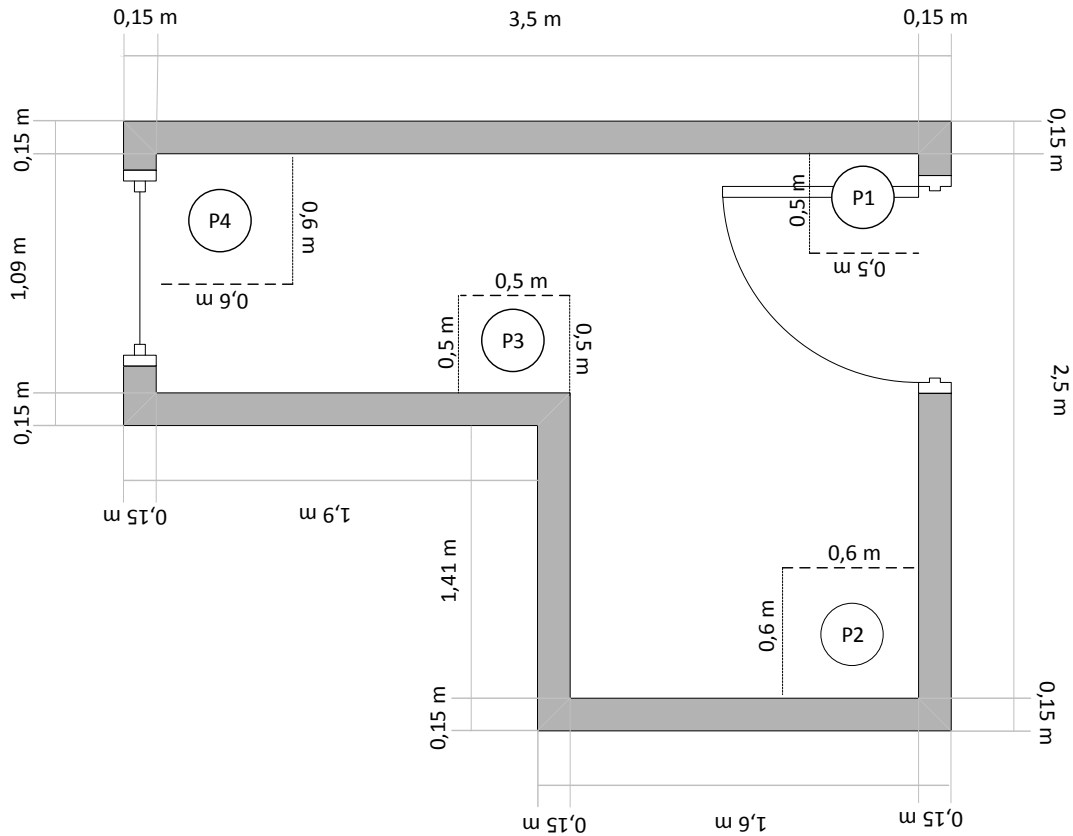
Tabela 9 – Dimensões do quarto3 do segundo edifício

Quarto3	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
	2,50	3,50	6,07	14,57

Fonte: O Autor (2018)

As dimensões do dormitório também são mostradas no croqui, juntamente dos pontos de localização aos quais os equipamentos ficavam localizados, exibido na Figura 29.

Figura 29 – Croqui do quarto3 do segundo edifício



Fonte: O Autor (2018)

Legenda:

P1 – Ponto 1

P2 – Ponto 2

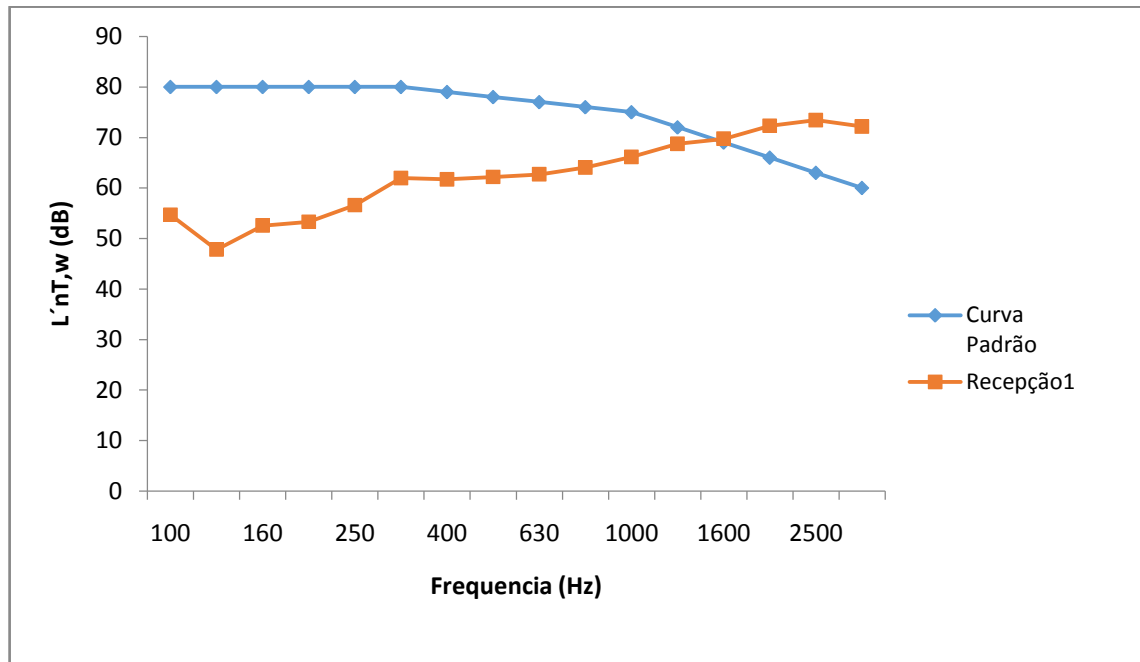
P3 – Ponto 3

P4 – Ponto 4

Os testes no quarto3 para a primeira medição resultaram o valor de 46,9 dB na captação do ruído de fundo e 78 dB para o nível de ruído de impacto padronizado, atingindo o limite de desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575/2013.

No Gráfico 6 está a relação do nível de ruído de impacto padronizado e a frequência obtida nos experimentos feitos no quarto3 na primeira medição.

Gráfico 6 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nT,w}$) e a frequência (Hz) do quarto3 na primeira medição



Fonte: O Autor (2018)

4.2.4 Quarto1 (medição 2)

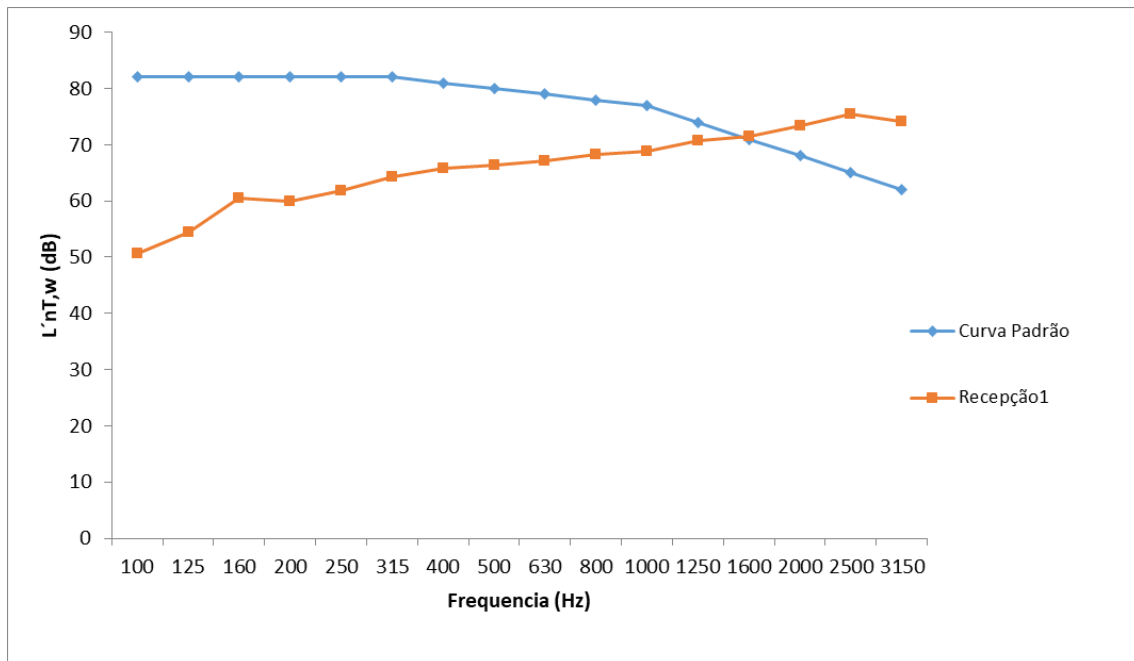
O quarto1 tem 2,5 metros de largura e 2 metros de comprimento, as paredes com espessura de 15 centímetros. A área total do dormitório é de 8,66 metros quadrados e um volume de 21,13 metros cúbicos, mostrados na Tabela 7.

As dimensões do dormitório também são mostradas no croqui, juntamente dos pontos de localização aos quais os equipamentos ficavam localizados, exibido na Figura 27.

Os testes no quarto1 para a segunda medição resultaram o valor de 47,4 dB na captação do ruído de fundo e 80 dB para o nível de ruído de impacto padronizado, atingindo o limite de desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575/2013.

No Gráfico 7 está a relação do nível de ruído de impacto padronizado e a frequência obtida nos experimentos feitos no quarto 1 na segunda medição.

Gráfico 7 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do quarto 1 na segunda medição



Fonte: O Autor (2018)

4.2.5 Quarto2 (medição 2)

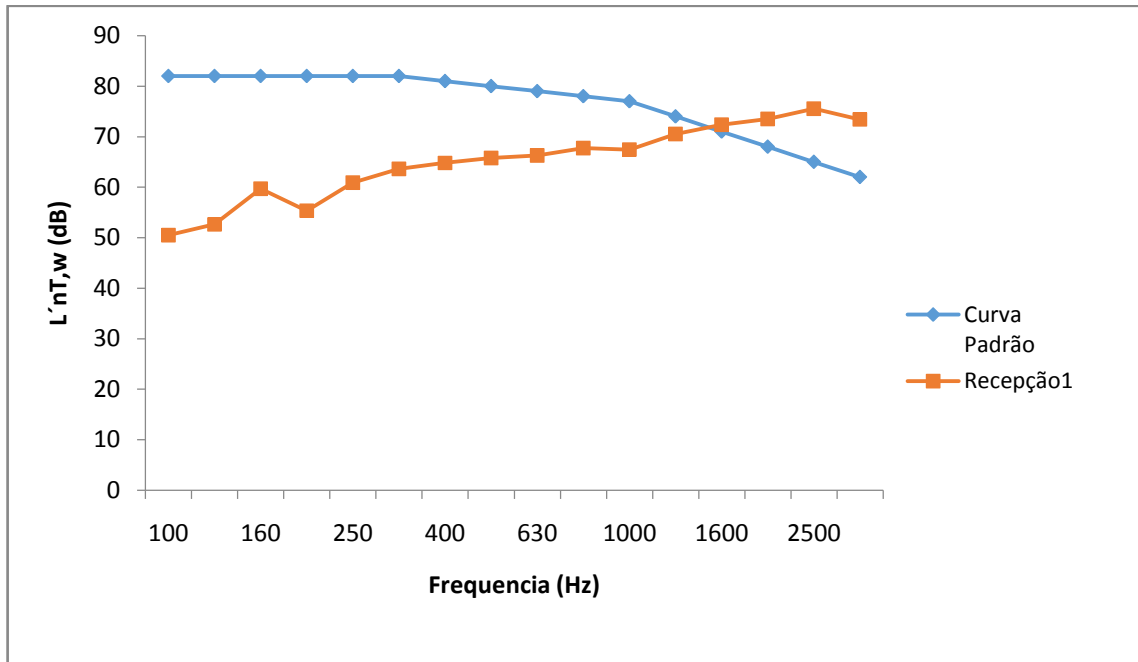
O quarto2 tem 2,63 metros de largura e 3,60 metros de comprimento, as paredes com espessura de 15 centímetros. A área total do dormitório é de 9,47 metros quadrados e um volume de 22,73 metros cúbicos, mostrados na Tabela 8.

As dimensões do dormitório também são mostradas no croqui, juntamente dos pontos de localização aos quais os equipamentos ficavam localizados, exibido na Figura 28.

Os testes no quarto2 para a segunda medição resultaram o valor de 49,2 dB na captação do ruído de fundo e 80 dB para o nível de ruído de impacto padronizado, atingindo o limite de desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575/2013.

No Gráfico 8 está a relação do nível de ruído de impacto padronizado e a frequência obtida nos experimentos feitos no quarto 2 na primeira medição.

Gráfico 8 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do quarto 2 na segunda medição



Fonte: O Autor (2018)

4.2.6 Quarto3 (medição 2)

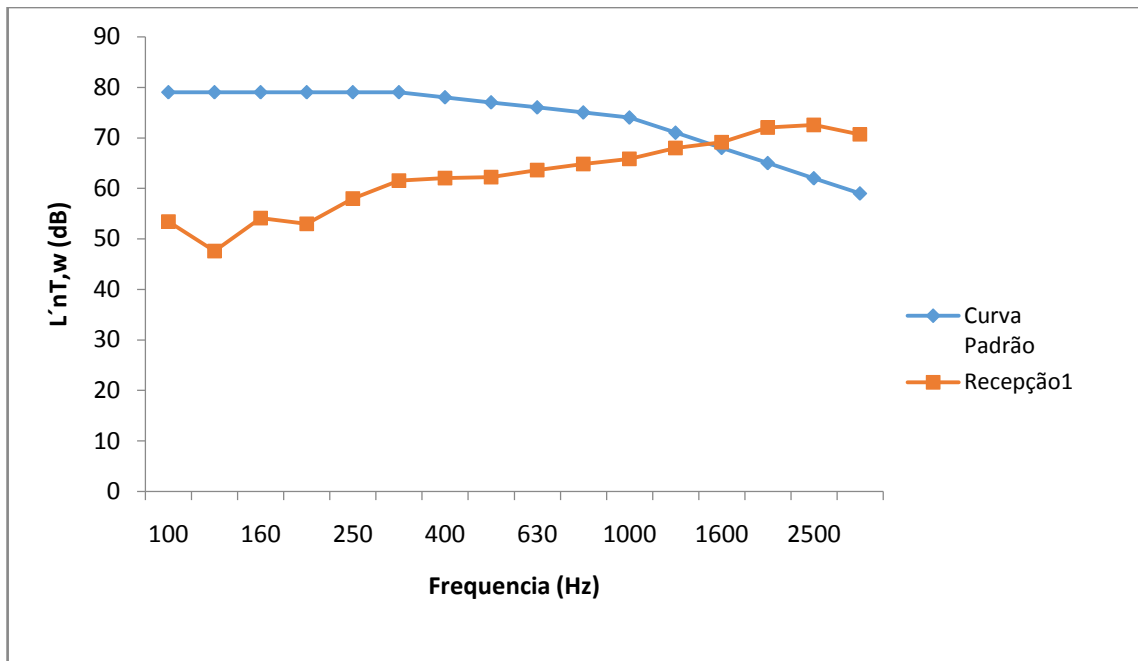
O quarto3 tem 3,50 metros de largura e 2,50 metros de comprimento, as paredes com espessura de 15 centímetros. A área total do dormitório é de 6,07 metros quadrados e um volume de 14,57 metros cúbicos, mostrados na Tabela 9.

As dimensões do dormitório também são mostradas no croqui, juntamente dos pontos de localização aos quais os equipamentos ficavam localizados, exibido na Figura 29.

Os testes no quarto3 para a segunda medição resultaram o valor de 49,9 dB na captação do ruído de fundo e 77 dB para o nível de ruído de impacto padronizado, atingindo o limite de desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575/2013.

No gráfico 9 está a relação do nível de ruído de impacto padronizado e a frequência obtida nos experimentos feitos no quarto3 na segunda medição.

Gráfico 9 - Relação entre o nível de ruído de impacto padronizado ($L'_{nt,w}$) e a frequência (Hz) do quarto 3 na segunda medição



Fonte: O Autor (2018)

4.3 ENQUADRAMENTO DO RESULTADO EM RELAÇÃO A NORMA 15575/2013

Os resultados obtidos nos testes mostraram que tanto o edifício 1, quanto o edifício 2 conseguiram atingir o limite de desempenho mínimos exigido pela Norma. Os níveis de ruído de impacto padronizado para o edifício 1 foram de 76 dB para o primeiro ambiente e 78 dB para o segundo ambiente. O edifício 2 não atingiu o limite de desempenho mínimo em dos ambientes analisados na primeira medição, porém, com a implementação do forro, contrapiso e revestimento, os limites mínimos foram alcançados, possuindo os níveis de ruído de impacto padronizado de 80 dB, 80 dB e 77 dB para o primeiro, segundo e terceiro ambiente respectivamente mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 – Dimensões do quarto3 do segundo edifício

	Quarto	Sistema de Piso	Características Construtivas do Ambiente							L'ntw (dB)	Classificação
			F	CP	R	PD	L	A	V		
			cm	cm		m	cm	m ²	m ³		
Edifício 1	1	PNF	20	4	P	2,44	12	8,66	21,13	76	Mínimo (M)
	2							12,22	29,81	78	Mínimo (M)
Edifício 2(medida 1)	1	PNF	-	-	-	2,40	16	9,75	23,40	80	Mínimo (M)
	2							9,47	22,73	81	Não atingiu
	3							6,07	14,57	78	Mínimo (M)
Edifício 3(medida 2)	1	PNF	11	4	C	2,40	16	9,75	23,40	80	Mínimo (M)
	2							9,47	22,73	80	Mínimo (M)
	3							6,07	14,57	77	Mínimo (M)

Fonte: O Autor (2018)

Legenda:

PNF = Piso Não Flutuante;

F = Forro (distância entre forro e laje estrutural em cm);

L = Laje estrutural (espessura total em cm);

CP = Contra Piso;

R = Revestimento Porcelanato/Cerâmica Vitrificada;

A = Área do ambiente de emissão e recepção;

V = Volume do ambiente de emissão e recepção;

PD = Pé Direito.

Dessa forma, é esperado que novos edifícios construídos com as mesmas características construtivas dos edifícios analisados nesse estudo obtenham, também, os limites de desempenho mínimo apresentados pela NBR 15575/2013.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ruído de impacto provoca incômodo para habitantes de prédios devido à queda de objetos ou pessoas caminhando. A construção civil busca cada vez mais o conforto acústico das edificações de múltiplos pavimentos, seja por pisos flutuantes, espessura e tipo da laje, espessura de contrapiso, tipo de revestimento e espessura e tipo de forro. Dessa forma, a laje maciça se torna um dos meios para a obtenção do nível mínimo exigido pela NBR 15575/2013.

As avaliações dos ambientes estudados foram feitas com base na norma de desempenho NBR 15575/2013. Os resultados obtidos nesse estudo, mostra que a combinação na construção de edifícios com laje maciça e forro, contrapiso e revestimentos específicos podem alcançar esses níveis de desempenho.

Assim, pode-se esperar que, de acordo com os resultados, os edifícios com características construtivas de laje maciça com 12 cm de espessura, forro de gesso de 20 cm, contrapiso de argamassa comum com 4 cm de espessura, revestimento de porcelanato, pé direito de 2,44 m e a área de 8,66 m² a 12,22 m² chegará ao valor de nível de ruído padronizado variando de 76 dB a 78 dB se enquadrando ao desempenho mínimo da Norma. E os edifícios com características construtivas de laje maciça com 16 cm de espessura, forro de gesso de 11 cm, contrapiso de argamassa comum com 4 cm de espessura, revestimento de cerâmica, pé direito de 2,40 m e a área de 6,07 m² a 9,75 m² chegará ao valor de ruído padronizado variando 77 dB a 80 dB se enquadrando ao nível de desempenho mínimo da Norma.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 2. ed. Rio Grande, 2014.v.2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA RIO GRANDE DO SUL. **Caderno Técnico AsBEA-RS**: norma de desempenho. 1 ed. Porto Alegre, 2014, v. 1.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os Sistemas Estruturais - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os Sistemas de Pisos - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.

BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo: Edgar Blücher, 2006. 368p.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído Isolamento Sonoro de Partições Arquitetônicas**. 1. ed. 2. reimpr. São Paulo: Blucher, 2011. (reimpr. 2012).

BORGES, C. A. de M. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 263f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BOUFLEUR, Vinícius. **Desempenho Acústico de Edificações Habitacionais**: Desafios para implementação da norma de desempenho. 2013. 95 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BRASIL. (11 de setembro de 1990). LEI Nº 8.078, DE 11 DE SETEMBRO DE 1990. **Art. 39 é vedado ao fornecedor de produtos ou serviços, dentre outras práticas abusivas.**

BRASIL. Lei n. 10406/02, de 10 de jan. de 2002. Art. 615 do Código Civil. **Art. 615.** [S.l.], p. 1-1, jan. 2002. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10694459/artigo-615-da-lei-n-10406-de-10-de-janeiro-de-2002>>. Acesso em: 03 out. 2018.

BRASIL. Lei n. 10406/02, de 10 de jan. de 2002. Art. 616. **Art. 616 do Código Civil.** [S.l.], p. 1-1, jan. 2002. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10694430/artigo-616-da-lei-n-10406-de-10-de-janeiro-de-2002>>. Acesso em: 03 out. 2018.

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

BRÜEL & KJÆL. **Measurements in building acoustics.** Dinamarca, 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR15575/2013.** 2. ed. Fortaleza, 2013. 308f.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica.** Brasil: Thesaurus, 2006.

CORNACCHIA, G. M. M. **Investigação in-situ do Isolamento Sonoro ao Ruído de Impacto em Edifícios.** 2009.161 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

FERRAZ, Rafaela. **Atenuação de Ruído de Impacto em Pisos de Edificações de Pavimentos Múltiplos.** 2008. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FERREIRA, Bruno João Chaves. **Análise de níveis sonoros em salas de aula.** 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade de Coimbra, Coimbra, 2010.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle.** 2. ed. atual e aum. Florianópolis: NR, 2000.

MALVEZZI, Betina Fagundes Martins. **Análise de Relatórios de Isolamento de Ruído de Impacto Padrão em Sistemas de Pisos de Edificações Habitacionais.** 2016. 88 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MATEUS, Diogo. **Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído**. [S.l.: s.n.], 2008. 82 p.

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

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural Acoustics: principles and design**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 445p.

MÉNDEZ, A., STORNINI, A. J., SALAZAR, E. B. **Acusticaarquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1995.

NAPPI, Sérgio Castello Branco. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotespré-moldados e nervuradas**. 1993. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

OGAWA, Matheus de Oliveira Afonso; FILHO, Mauro César Ávila; RASSI, Pedro Fábio. **Isolamento Acústico ao Ruído de Impacto em Lajes de Edifícios Habitacionais**. 2014. 71 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEREIRA, Daniel Augusto de Moura. **Desenvolvimento de ferramentas para predição de isolamento do ruído de impacto em edificações de pavimentos múltiplos com laje nervurada**/ Daniel Augusto de Moura Pereira. – João Pessoa, 2018.

PROPAGAÇÃO de ruído de impacto. 2017. Disponível em: <<https://www.espacosmart.com.br/optima-piso/>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

SANTOS J. L. P. **Isolamento Sonoro de Partições Arquitetônicas**. ed. de UFSM,2012.

SOUZA, L. C. L.de; ALMEIDA M. G. de; BRAGANÇA L. **Bê á bá da acústica arquitetônica**: ouvindo a Arquitetura. 1. ed. 2. reimpr. São Carlos: EdUFSCar, 2006. (reimpr. 2009).

SPOHR, V. H. **Análise comparativa:sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. 2008. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa maria, 2005.

TRATAMENTO Acústico. Disponível em:
<<http://dicasdaarquitectura.ig.com.br/index.php/tag/tratamento-acustico/>>. Acesso em: 20 jul. 2018