

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

Lorenzo Sartori

**ISOLAMENTO E CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DE UM
SALÃO DE FESTAS EM UM PRÉDIO RESIDENCIAL**

Porto Alegre
junho 2016

LORENZO SARTORI

**ISOLAMENTO E CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DE UM
SALÃO DE FESTAS EM UM PRÉDIO RESIDENCIAL**

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

Orientadora: Letícia Fleck Fadel Miguel

Porto Alegre
junho 2016

LORENZO SARTORI

**ISOLAMENTO E CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DE UM
SALÃO DE FESTAS EM UM PRÉDIO RESIDENCIAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pelo Relator na disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 27 de junho de 2016

Professora Doutora Letícia Fleck Fadel Miguel
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Professor Doutor Walter Jesus Paucar Casas
Universidade Estadual de Campinas – Unicamp

Doutorando Sérgio Pastor Ontiveros Pérez
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Dedico este trabalho aos meus pais, Alexandre e Maria
Angela, e a minha namorada Alessandra, pelo apoio
durante minha graduação e pelo amor irrestrito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de desenvolver meus estudos.

Agradeço aos meus pais, que sempre me apoiaram em todos os momentos da minha vida e nunca deixaram de estar ao meu lado.

Agradeço, também, a minha namorada Alessandra, pelo carinho em todos os momentos que passamos juntos.

Agradeço aos meus tios Claudio e Alaiides, por me acolherem no início de minha faculdade e me auxiliarem durante o tempo que estive em Porto Alegre.

Agradeço a Professora Letícia Fleck Fadel Miguel, orientadora deste trabalho, pela qualidade do conhecimento que me foi transmitido nos encontros relacionados ao trabalho e pelo auxílio constante e sincero.

Agradeço a todos os meus amigos, que me auxiliaram no tempo que estive na graduação, especialmente ao meu amigo Wagner Padilha, que me ajudou em muitos momentos de estudo, e aos diversos companheiros, que conheci e fizeram o tempo de graduação ser mais saudável e feliz.

Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o
que você conquista.

Aldo Novak

RESUMO

Este trabalho analisa alguns parâmetros acústicos em um estudo de caso de um salão de festas real, de um prédio residencial, localizado no município de Bento Gonçalves – RS. A partir da revisão sistemática da literatura, foi possível identificar alguns aspectos importantes para analisar o salão de festas, como a perda por transmissão sonora dos elementos construtivos do local, assim como uma análise do tempo de reverberação e adequação de ambos os parâmetros com os limites estipulados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Assim, o estudo teve por objetivo abordar soluções para uma adequação do desempenho acústico do local. O estudo permitiu abordar duas soluções construtivas para os problemas encontrados de isolamento sonoro e condicionamento acústico. Ambas as soluções foram apenas projetadas e serão apresentadas aos condôminos, pois o prédio está passando por uma série de reformas que podem levar em consideração as soluções propostas neste trabalho.

Palavras-chave: Isolamento Acústico. Condicionamento Acústico. Estudo de Caso. Salão de Festas. NBR 10.151. NBR 12.179.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura das etapas da pesquisa.....	16
Figura 2 – Valor do isolamento acústico de diversas materiais.....	34
Figura 3 – Tempo de reverberação em função do volume.....	35
Figura 4 – Nível de critério de avaliação para ambientes externos em decibéis.....	36
Figura 5 – Valores de dB para conforto acústico.....	37
Figura 6 – Vista externa do prédio onde se encontra o salão.....	38
Figura 7 – Planta baixa do local de estudo.....	39
Figura 8 – Local do estudo de caso.....	39
Figura 9 – Local do estudo de caso.....	40
Figura 10 – Planta baixa com dimensões do salão de festas.....	42
Figura 11 – Coeficientes de absorção acústica.....	43
Figura 12 – Paredes compostas em planta baixa.....	49
Figura 13 – Fotos das paredes compostas 1 a 4.....	52
Figura 14 – Planta baixa das respectivas perdas por transmissão.....	53
Figura 15 – Nível de critério de avaliação para ambientes externos em decibéis.....	56
Figura 16 – Solução proposta de vidro duplo.....	58
Figura 17 – Gráfico da perda por transmissão da janela de vidro duplo.....	58
Figura 18 – Solução proposta de forro absorvente.....	62
Figura 19 – Coeficiente de absorção acústica do forro Kombimentall Liso.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dimensões dos móveis presentes no salão de festas.....	43
Quadro 2 – Resultados da Lei de Massa.....	45
Quadro 3 – Resultados de perda por transmissão das paredes simples de alvenaria.....	45
Quadro 4 – Resultados de perda por transmissão das portas.....	47
Quadro 5 – Resultados de perda por transmissão das janelas.....	48
Quadro 6 – Perda por transmissão em 500 Hz da Parede 1.....	50
Quadro 7 – Perda por transmissão em 500 Hz da Parede 2.....	50
Quadro 8 – Perda por transmissão em 500 Hz da Parede 3.....	51
Quadro 9 – Perda por transmissão em 500 Hz da Parede 4.....	51
Quadro 10 – Coeficientes de absorção e áreas individuais.....	54
Quadro 11 – Tempo de reverberação do recinto para 5, 10, 15, 20 e 25 pessoas (500 Hz).....	55
Quadro 12 – Perda por transmissão da janela de vidro duplo.....	59
Quadro 13 – Perda por transmissão em 500 Hz da Parede 1 com vidro duplo.....	60
Quadro 14 – Perda por transmissão em 500 Hz da Parede 2 com vidro duplo.....	60
Quadro 15 – Tempo de reverberação do salão com a utilização do forro absorvente.....	64

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

NPS – Nível de Pressão Sonora

RBC – Rede Brasileira de Calibração

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	14
2.2.1 Objetivo Principal	14
2.2.2 Objetivos Secundários	14
2.3 PRESSUPOSTO.....	15
2.4 PREMISA	15
2.5 DELIMITAÇÕES	15
2.6 LIMITAÇÕES	15
2.7 DELINEAMENTO	15
3 CONCEITOS DA ACÚSTICA E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	18
3.1 FUNDAMENTOS ACÚSTICOS	18
3.1.1 Definição de ruído e problemas causados	18
3.1.2 Dissipação do som	19
3.1.3 Absorção do som	20
3.1.4 Isolamento e condicionamento acústico	21
3.2 UNIDADES E PARÂMETROS ACÚSTICOS	21
3.2.1 Decibel	21
3.2.2 Frequência	22
3.2.3 Absorção do som	23
3.2.4 Tempo de reverberação	26
3.2.5 Perda por transmissão sonora	27
3.3 MÉTODOS DE CÁLCULO	28
3.3.1 Condicionamento acústico	29
3.3.1.1 Expressão de Sabine	29
3.3.1.2 Expressão de Millington	30
3.3.2 Isolamento acústico	30
3.3.2.1 Lei de massa	30
3.3.2.2 Patamar	31
3.3.2.3 Frequências maiores que f_l	32
3.4 NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS À ACÚSTICA	32
3.4.1 NBR 12179/1992	33

3.4.1.1 Isolamento acústico	33
3.4.1.2 Condicionamento acústico	34
3.4.2 NBR 10151/2000	35
3.4.3 NBR 10152/1987	36
4 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	38
4.1 ANÁLISE DO SALÃO DE FESTAS.....	40
4.1.1 Dados de entrada do isolamento acústico.....	41
4.1.2 Dados de entrada do condicionamento acústico.....	42
5 CÁLCULO DOS PARÂMETROS RELEVANTES.....	45
5.1 PERDA POR TRANSMISSÃO DAS PAREDES SIMPLES.....	45
5.2 PERDA POR TRANSMISSÃO DAS PORTAS.....	47
5.3 PERDA POR TRANSMISSÃO DAS JANELAS.....	48
5.4 PERDA POR TRANSMISSÃO DAS PAREDES COMPOSTAS.....	49
5.5 TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	54
6 SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA OS PROBLEMAS DE ISOLAMENTO E CONDICIONAMENTO ACÚSTICO	57
6.1 SOLUÇÃO PARA O ISOLAMENTO ACÚSTICO.....	58
6.1.1 Cálculo da perda por transmissão das paredes críticas com a solução proposta	60
6.1.2 Considerações dos resultados para a solução do isolamento acústico.....	61
6.2 SOLUÇÃO PARA O CONDICIONAMENTO ACÚSTICO.....	62
6.2.1 Cálculo do tempo de reverberação com a solução proposta.....	63
6.2.2 Considerações dos resultados para a solução do condicionamento acústico....	65
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE A.....	70

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a sociedade está demandando uma grande quantidade de novos apartamentos, seja por jovens adquirindo seu primeiro imóvel ou por pessoas que querem trocar suas moradias por apartamentos novos. Com isso, construtoras estão entregando apartamentos em uma velocidade incrível.

Contudo, com prazos de execução pequenos e rápida entrega de apartamentos novos, estão surgindo alguns problemas graves nos novos lares. Uma das principais reclamações de moradores de apartamentos residenciais são os ruídos provenientes de cômodos próximos. Estes ruídos causam desconforto, atrapalham o sono dos usuários do apartamento e, a longo prazo, podem até causar problemas de saúde. Carvalho (2006, p. 11) afirma que “Algumas vezes ouvimos depoimentos de pessoas que dizem ter se ‘acostumado’ com tais ruídos próximos às suas residências e/ou locais de trabalho, quando na realidade estão sofrendo a perda de sua sensibilidade auditiva.”.

O problema de ruídos no interior de prédios se agrava quando o salão de festas do condomínio é no interior do edifício, em especial quando há apartamentos residenciais abaixo do salão de festas, pois em dias em que o salão está em uso, há um grande fluxo de pessoas, causando muitos ruídos aos vizinhos próximos. Dependendo da frequência do uso do salão, pode ser altamente desconfortável ter um apartamento no pavimento abaixo e/ou acima do salão de festas do condomínio.

Para Bistafa (2011), é possível melhorar as características de absorção sonora de uma parede isolante, densa e reflexiva, revestindo-a com material absorvente, fibroso ou poroso. Ou seja, é possível aliar técnicas de condicionamento acústico com isolamento sonoro para melhorar o desempenho de uma parede.

Neste contexto, este projeto irá abordar os problemas comuns em salões de festas e propor soluções construtivas para melhorar o desempenho acústico, assim, novos projetos poderão utilizar este trabalho para melhorar seus empreendimentos, proporcionando melhorias na audibilidade do local e no isolamento de ruídos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho estão subdivididas em questão, objetivos, pressuposto, premissa, delimitações, limitações e delineamento, sendo descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual o isolamento e o condicionamento acústico que podem ser projetados para um salão de festas, com alto índice de reclamações de vizinhos com apartamentos próximos, para a edificação estudada?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a elaboração de soluções para problemas de isolamento e de condicionamento acústico para um salão de festas, a fim de minimizar o desconforto dos moradores próximos e dos ocupantes do próprio salão, no edifício estudado.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) fazer uma análise da situação atual do salão de festas em estudo, tanto em termos de condicionamento quanto de isolamento sonoro, e levantar todos os problemas encontrados;
- b) avaliar se os valores calculados para o condicionamento e o isolamento estão de acordo com os recomendados pelas normas técnicas NBR 12179/1992 e NBR 10151/2000;

- c) propor soluções para adequar o salão de festas tanto em termos de condicionamento acústico quanto de isolamento;
- d) determinar os resultados esperados para as soluções propostas e verificar se estas estarão dentro do recomendado pelas referidas normas.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o gráfico para análise do tempo de reverberação descrito na NBR 12179/1992 bem como seus coeficientes de absorção são válidos. Também, os parâmetros estabelecidos pela NBR 10151/2000, NBR 10152/1987 e NBR 15575-4/2013 para avaliação do nível de ruído do salão de festas serão considerados válidos.

2.4 PREMISSE

O trabalho de pesquisa é realizado com a premissa de que prédios e salões de festas sem um isolamento acústico adequado podem causar diversos incômodos aos condôminos.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho de diplomação está delimitado ao estudo do salão de festas do edifício analisado.

2.6 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são descritas a seguir:

- a) a absorção sonora do ar será desconsiderada;
- b) a solução proposta dificilmente poderá ser implementada no salão estudado antes da defesa do trabalho, não sendo possível assim verificar se os resultados obtidos teoricamente correspondem com a realidade;

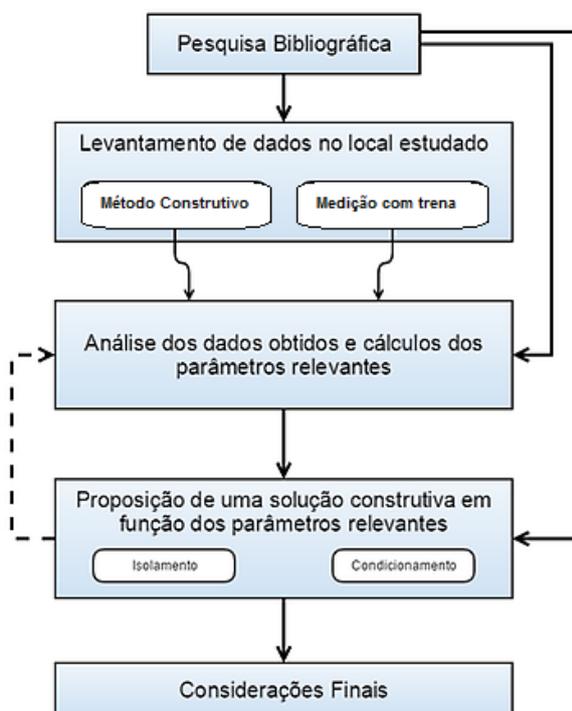
2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir (Figura 1) e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;

- b) análise do método construtivo empregado no prédio estudado e medições com trena para levantamento de dados;
- c) análise dos dados obtidos e cálculo dos parâmetros relevantes;
- d) proposição de uma solução construtiva para isolamento e condicionamento acústico;
- e) recalcular parâmetros relevantes e analisar se a solução estipulada é satisfatória para o problema;
- f) considerações finais.

Figura 1 – Estrutura das etapas da pesquisa.



(fonte: elaborada pelo autor)

A primeira etapa compreende a **pesquisa bibliográfica**, que consistirá em desenvolver um embasamento teórico para proporcionar melhor compreensão do tema proposto. Através da pesquisa bibliográfica será possível obter dados e métodos de cálculos recomendados pela literatura. Para isso, será necessário usar normas técnicas, artigos científicos, guias e livros durante todo o desenvolvimento do trabalho.

A etapa seguinte será destinada ao **levantamento de dados construtivos** da edificação, em que serão coletados na planta baixa, como espessura das paredes do salão de festas e do andar superior, assim como a espessura das lajes. No levantamento realizado no local físico, serão contabilizadas as quantidades de portas, janelas, cadeiras, móveis e demais objetos fixos do

salão de festas. Também necessitará ser feita uma medição de área das paredes do local e calcular seu volume interno. Por fim, o projeto estrutural irá auxiliar para verificar o método construtivo que foi adotado no prédio (lajes e paredes).

Após a execução das etapas anteriores, torna-se viável **analisar os dados levantados** em campo e verificar se há alguma inconsistência nos valores obtidos. Assim, poderá se dar início aos **cálculos dos parâmetros relevantes** para avaliar o desempenho acústico do local. Dentre os parâmetros cabe ressaltar o tempo de reverberação que será calculado pelos métodos descritos na NBR 12179. Com a absorção do local e o tempo de reverberação calculado, será comparado o resultado obtido com a norma, e assim, verificado se a sala é muito reverberante ou surda. Além disso, também será calculado um fator importante para o isolamento acústico que é a perda por transmissão de todas as paredes do salão de festas bem como do forro. Para isso, a literatura cita os métodos de cálculo empregados para diferentes frequências, bem como para a frequência crítica.

Na quarta etapa prevista, é abordada uma **solução construtiva** e viável para eventuais problemas de isolamento e condicionamento acústico. De forma geral, tanto prédios antigos quanto novos não estão conseguindo atender a nova Norma de desempenho acústico na sua totalidade (NBR 15575/2013), e assim, o presente estudo será direcionado para estes pontos falhos, propondo uma solução para eventuais desconformidades. Essa solução será detalhada, informando as etapas de construção do método para eficácia da resolução do problema, suas vantagens e se possível uma estimativa de custo, incluindo mão de obra e materiais.

A partir da solução proposta na quarta etapa, serão **recalculados os parâmetros** que não obtiveram resultados satisfatórios inicialmente. Com os novos resultados de tempo de reverberação, de perda por transmissão e de outras propriedades, será realizada uma **nova análise da solução** para verificar se a intervenção obteve os resultados esperados e condizentes com os que as normas recomendam. Assim, se a solução ainda apresentar falhas, outro método construtivo será proposto e testado até obter resultados satisfatórios para todos os itens estudados.

Finalmente, com a solução construtiva adotada, serão feitas as **considerações finais** deste trabalho de pesquisa.

3 CONCEITOS DE ACÚSTICA E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

A seguir serão descritos os principais pontos relacionados à acústica no seu âmbito geral e os métodos e normas para avaliar o desempenho acústico no Brasil. Os itens estão divididos em: fundamentos acústicos, unidades essenciais para o estudo em questão, métodos de cálculo úteis para a pesquisa e normas brasileiras para avaliar o desempenho acústico do local.

3.1 FUNDAMENTOS ACÚSTICOS

As diferenças de som e ruído, assim como as peculiaridades de como o som é dissipado pelo ar e de como ele é absorvido por materiais serão descritos a seguir.

3.1.1 Definição de ruído e problemas causados

O som é um elemento essencial na vida de qualquer ser humano seja pela fala e comunicação como pelos sons agradáveis de instrumentos musicais por exemplo. De acordo com Carvalho (2006, p. 15), “O som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectada pelo ouvido humano.”, mas Bistafa (2011, p. 17) esclarece esta informação retrucando que “[...] nem toda estrutura que vibra gera som [...]”. Por exemplo, o autor acrescenta que “[...] a corda de um instrumento musical colocada com as mãos em vibração, não gera som. Para que haja som, a corda precisa estar presa e as vibrações serem induzidas de forma adequada [...]”.

Entretanto, não são todos os sons captados pelo ouvido humano que são agradáveis, e para Bistafa (2011, p. 17) o ruído é este som indesejável e desagradável que tem aceção negativa na percepção humana. Estes sons definidos como ruídos são comumente encontrados nos centros urbanos e causam alguns incômodos aos seus habitantes, tanto na parte pública das cidades como nos interiores dos lares urbanos. Pereyron (2008, p. 15) afirma que “A crescente verticalização das cidades e a constante evolução das tecnologias desenvolvidas pelo homem trouxeram consigo um aumento significativo no nível de ruído proveniente das mais variadas fontes e com ele os malefícios causados ao ser humano.”, que podem ser desde pequenas

dores de cabeça decorrentes de alguns minutos exposto ao ruído, até casos mais graves de *stress*, fadiga e irritabilidade dependendo da intensidade do som emitido pela fonte sonora.

Entre tantos locais ruidosos, atualmente o único lugar em que o ser humano não deveria estar sujeito a sons desagradáveis é o seu próprio lar. Contudo, não é algo incomum de perceber pessoas infelizes com o desempenho acústico de suas casas e apartamentos e neste quesito Santos Neto (2006, p. 38) comenta que:

[...] o conforto acústico ainda não é uma prioridade para arquitetos e engenheiros, no desenvolvimento de projetos. O excesso de ruído presente no dia a dia do ser humano é tão preocupante quanto qualquer outra patologia. Além disso, os sintomas são intrínsecos e, muitas vezes, não percebidos.

Quando uma pessoa é submetida a altos níveis de ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo. O ruído não afeta somente a audição, mas inclusive o sono, agindo sobre o seu subconsciente e sobre o seu sistema nervoso, prejudicando sua saúde psíquica e mental.

Estas reações adversas ao excesso de ruído no organismo são identificadas por Cornacchia (2009, p. 10):

[...] 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 [...]

Para melhor compreensão do som e especificamente do ruído, os itens a seguir abordam como o som é dissipado e absorvido por materiais.

3.1.2 Dissipação do som

Para o ruído chegar até o ouvido humano ele precisa primeiramente ter sido gerado por uma fonte sonora, e posteriormente precisa se propagar por meio de ondas até encontrar seu destino. Estas ondas sonoras podem ser divididas em planas e esféricas, como expõe Bistafa (2011, p. 22):

Ondas sonoras planas ocorrem em situações muito particulares (por exemplo, no interior de um duto com diâmetro bem menor que o comprimento de onda), não sendo representativa das ondas sonoras mais comuns. Na realidade, na maioria das situações, a pressão sonora apresenta a mesma fase em superfícies esféricas com centro na fonte sonora. A propagação mais representativa que ouvimos no dia a dia se dá na forma de ondas esféricas.

De acordo com Pedroso (2007, p. 24), “O ruído aéreo, decorrente da produção de uma pressão sonora, propaga-se no ar em forma de ondas esféricas a partir da sua origem [...]”. Contudo, o ruído também pode ser transmitido por meio de sólidos e geralmente é chamado de ruído de impacto ou ruído estrutural. Segundo Cornacchia (2009, p. 19):

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 a 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.

3.1.3 Absorção sonora

Indiscutivelmente, moradores de zonas urbanas não querem ouvir todos os sons e ruídos gerados no ambiente externo de seus lares, por isso, materiais construtivos absorvem boa parte dos sons externos. Contudo, a absorção sonora de materiais usuais em obra como tijolos, argamassa, entre outros, não é suficiente para absorver altos níveis de pressão sonora, e por isso é indicado para um bom desempenho acústico de casas e apartamentos utilizar materiais com boa absorção sonora. De acordo com Bistafa (2011, p. 244):

Materiais tipicamente utilizados para absorver som são fibrosos (lã de vidro, lã de rocha, etc.), ou porosos (espumas de poliuretano – do tipo das esponjas utilizadas em limpeza doméstica, etc.). Materiais absorventes são leves e não possuem características estruturais.

Nesses materiais, a absorção se dá essencialmente pela dissipação da energia sonora por atrito, devido ao movimento das partículas do ar no interior do material, quando da passagem da onda sonora. Um bom absorvente de som é o material que “respira”, ou seja, o material que permite às partículas do ar penetrar e se movimentar em seu interior. Tecidos com trama muito estreita que não permitem que o ar os atravesse (por exemplo, encerados de algodão) são ineficazes, assim como aqueles que apresentam trama muito esparsa, que permitem enxergar através deles (gaze, por exemplo).

O autor também cita que para os materiais porosos e fibrosos obterem uma boa capacidade de dissipar a energia incidente sobre eles, devem ser colocados juntamente a uma superfície sólida, como lajes e paredes.

3.1.4 Isolamento e condicionamento acústico

Para um projeto arquitetônico de uma casa ou apartamento ter desempenho acústico satisfatório, não deve ser restringido somente ao isolamento sonoro do local. Outra ciência muito importante na análise do desempenho acústico é o condicionamento do cômodo. Segundo Miguel e Tamagna (2007, p. 80):

Há décadas isolamento e condicionamento acústico são confundidos, embora sejam totalmente diferentes.

O isolamento acústico consiste em não deixar o som passar de dentro para fora, nem de fora para dentro de um ambiente.

Já o condicionamento acústico, consiste em criar uma sonoridade agradável dentro do ambiente, controlando parâmetros como a reverberação e promovendo uma resposta de frequências adequada ao tipo de utilização.

Para o condicionamento acústico, também, analisar a geometria do local é importante, pois recintos muito estreitos e compridos tendem a ter menos audibilidade do que recintos mais proporcionais.

3.2 UNIDADES E PARÂMETROS ACÚSTICOS

A necessidade da definição de parâmetros acústicos é essencial para a boa análise do desempenho acústico no salão de festas estudado. Parâmetros básicos como decibel e frequência são imprescindíveis para a definição do som e parâmetros como coeficiente de absorção, tempo de reverberação e a perda por transmissão sonora em sólidos como paredes e lajes.

3.2.1 Decibel

O decibel é uma das mais importantes unidades na acústica, pois esta unidade pode caracterizar a intensidade sonora de uma fonte e o nível de pressão sonora (NPS).

De acordo com Carvalho (2006, p. 26), “O bel é a unidade de intensidade física relativa ao som. Recebe esse nome em homenagem a Alexander Graham Bell, inventor do telefone. Foi utilizado naquela oportunidade para medições de perdas em linhas telefônicas.”. Esta unidade pode ser caracterizada pela equação 1 apresentada por Bistafa (2011, p. 30):

$$bel = \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right), \quad (\text{Equação 1})$$

sendo P a potência do sistema e P_0 uma potência arbitrária de referência.

Na realidade, o bel é uma unidade relativa que depende da definição de P_0 . Esta unidade, porém, é muito grande para medir níveis de ruído, e por isso usa-se comumente na acústica o decibel, que é a décima parte do bel. Por ser uma grandeza logarítmica, o decibel não pode ser somado linearmente, como por exemplo:

$$70\text{dB} + 80\text{dB} \neq 150 \text{ dB}$$

Neste caso, usam-se as regras logarítmicas para definir o resultado corretamente.

Torna-se importante também, definir o nível de pressão sonora, que conforme Carvalho (2006, p. 26), “[...] para existir um som é necessário uma variação da pressão do meio ambiente (P), pode-se afirmar que a medida de um nível de pressão sonora (NPS) também pode ser quantificada com base na variação de pressão do meio ambiente: $20 \log_{10} P/P_0$.”.

3.2.2 Frequência

A frequência de ondas sonoras é o principal parâmetro para caracterização das mesmas e está diretamente ligada ao decibel. Costa (2003, p. 4) comenta que “A frequência da onda sonora caracteriza a qualidade chamada de altura do som.”. Como se não bastasse, a audição humana também é limitada pela frequência, pois o ouvido humano capta apenas uma faixa determinada de frequências. De acordo com Bistafa (2011, p. 66):

[...] o sistema auditivo não é sensibilizado por sons inferiores a 20 Hz e acima de 20 kHz, aproximadamente. Isso significa que, na faixa de frequências de maior sensibilidade, uma pressão sonora em torno de 20 μPa e igual a 0 dB é suficiente para estimular o sistema auditivo, ao passo que, por exemplo, em 100 Hz, necessita-se de uma pressão sonora 10 vezes maior, correspondente a 20 dB.

Primeiramente, cabe definir o conceito de frequência, que conforme Costa (2003, p. 3):

Dá-se o nome de frequência de uma onda sonora ao número de vibrações completas executadas pela mesma em um segundo.

A unidade empregada para medir a frequência da onda sonora é o hertz (Hz), que corresponde à frequência de um som que executa uma vibração completa ou ciclo, por segundo, entendendo-se ciclo ou onda completa a totalidade das variações de pressão que, iniciando no zero, apresentam todos os valores positivos e negativos possíveis crescente e decrescentes, terminam novamente no zero.

A frequência da onda sonora, isto é, o movimento vibratório das partículas do meio no qual a onda se propaga, é igual àquela da fonte.

Com esta grandeza definida e mensurada para a audição humana, deve-se estudar a sua relação com os materiais da construção civil e salas utilizadas pelas pessoas. Marros (2011, p. 30) propõe que “A frequência do som e sua relação com as dimensões da sala que se pretende analisar são de fundamental importância para o estudo do condicionamento acústico.”.

Além disso, os materiais absorventes utilizados pela construção civil em conjunto com paredes de alvenaria e concreto, reagem de formas diferentes para frequências diferentes. Na visão de Bistafa (2011, p. 246, grifo do autor):

A espessura de materiais absorventes aplicados diretamente sobre superfícies sólidas deve ser pelo menos um décimo do comprimento de onda do som incidente. Para a frequência de **1.000 Hz**, o comprimento de onda é de aproximadamente **34 cm** e, nesse caso, a espessura do material absorvente deve ser de pelo menos 3,4 cm.

Por fim, Costa (2003, p. 4) esclarece que “O som de baixa frequência diz-se grave, enquanto o de alta frequência diz-se alto ou agudo.”.

3.2.3 Absorção do som

No meio prático da construção civil, este é o parâmetro que engenheiros e construtores procuram conhecer para projetar recintos, pois conhecendo o coeficiente de absorção sonora de determinado material se tem uma boa ideia de como e quanto o material absorve o ruído. Certamente, não é o único parâmetro a ser considerado em um projeto acústico, e na determinação do material que será utilizado para obter um bom isolamento e condicionamento acústico, porém, não deixa de ser um parâmetro essencial para o estudo do desempenho acústico. Absorção do som na visão de Costa (2003, p. 32) é:

Quando uma onda sonora incide sobre uma superfície sólida, parte da energia sonora é absorvida devido ao atrito e viscosidade do ar, transformando-se em calor.

Esta parcela de energia que, [...], caracteriza o coeficiente de absorção, depende essencialmente da natureza do material.

Materiais de grandes coeficientes de absorção são de estrutura porosa como tecidos, feltros, plásticos porosos, madeira aglomerada, etc.

Definir justamente o material mais adequado para cada caso de isolamento e condicionamento acústico é um dos pontos chave no projeto. Assim, Carvalho (2006, p. 55) afirma que “Materiais bons absorventes acústicos são necessariamente materiais macios, porosos ou fibrosos, que têm a capacidade de absorver sons que neles incidem [...]”. O mesmo autor também comenta que o tamanho do material e as peculiaridades dos poros do material interferem na absorção acústica dependendo da sua frequência.

Outro fator importante que deve ser observado é o fato de paredes e lajes estruturais serem compostas de materiais sólidos. Assim, Bistafa (2011, p. 249) afirma que:

Os principais mecanismos de absorção sonora não existem nos materiais sólidos, pois estes não permitem que as partículas de ar interajam com a sua estrutura. A absorção sonora é drasticamente reduzida nesses materiais, e passa então a depender das características superficiais de cada material. Uma análise dos dados experimentais revela que o coeficiente de absorção sonora de materiais sólidos depende basicamente da frequência do som incidente e da rugosidade superficial. Observa-se que, para uma dada frequência, o coeficiente de absorção sonora diminui quanto menos rugosa é a superfície.

Além disso, há um mecanismo de absorção sonora que é observado nos ruídos de baixa de frequência incidindo em determinados materiais. Bistafa (2011, p. 249) explica este mecanismo de absorção sonora:

Quando um painel de revestimento é montado numa parede, piso ou teto, ou mesmo quando um painel divide dois recintos, ele fica livre para vibrar quando da incidência das ondas sonoras. Poderá ocorrer, então, dissipação de energia sonora devido à flexão do painel. Dependendo da frequência do som incidente, o painel ressoa e passa a absorver som nessa frequência [...].

Entretanto, nenhum material absorvente utilizado na construção civil é ótimo absorvente em todas as frequências incidentes, e isto é comentado por Costa (2003, p. 34):

A maior parte dos materiais absorventes do som que se encontram no mercado apresentam o grave inconveniente de ter um coeficiente de absorção bastante variável com a frequência.

Ora, como a clareza e a inteligibilidade da palavra e o timbre dos diversos aparelhos musicais dependem das componentes sonoras de diversas frequências, se estas forem desigualmente absorvidas, inevitavelmente ocorrerá uma indesejável distorção do som original. É o que acontece geralmente nas salas de espetáculos de grandes

dimensões, quando o material de revestimento utilizado apresenta características de absorção pouco adequadas.

Como descrito, os materiais absorventes disponíveis no mercado não realizam adequadamente sua função para várias frequências, e somado com isso, o desempenho acústico do tratamento aplicado na edificação pode ser pífio se executado erroneamente. Para Carvalho (2006, p. 56), “[...] o comportamento acústico dos materiais pode ser alterado em função das suas condições de aplicação (diretamente sobre a superfície rígida, sobre superfície elástica, afastado de superfícies, função do afastamento entre apoios, etc.)”. Além disso, outro fator determinante na capacidade de absorção dos materiais empregados na construção civil é a pintura aplicada na superfície que recebe o som. Para Costa (2003, p. 34), “A pintura da superfície exposta ao som de um material absorvente reduz a sua capacidade de absorção. Assim, o verniz ou o esmalte usado como acabamento sobre um material [...], pode acarretar a redução de sua capacidade de absorção de até 30%.”. O mesmo autor ressalva que existem algumas tintas permeáveis que não influem tanto na absorção sonora dos materiais.

Para se calcular a absorção sonora de uma superfície necessita-se do coeficiente de absorção já comentado anteriormente. Estes coeficientes estão dispostos na tabela apresentada pela Associação Brasileira de Normas Técnica na NBR 12179 e variam de acordo com a frequência. Como muitas frequências incidem nos materiais, a Norma apresenta de um modo mais simplificado apenas as frequências centrais da banda de oitava, que seriam 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz.

Além da absorção sonora dos materiais utilizados na construção civil, os objetos, mobiliários, pessoas e o próprio ar também absorvem sons emitidos de uma fonte. Apesar de o ar ter uma absorção praticamente insignificante, mobiliários e pessoas apresentam absorções realmente consideráveis, especialmente se há um grande número de objetos ou pessoas. Contudo, Bistafa (2011, p. 251) sugere que “Em resumo, pode-se dizer que, como primeira aproximação, a absorção sonora de um recinto é dada essencialmente pela absorção sonora das superfícies que o delimitam, a não ser que o recinto possua grande volume, tenha uma grande quantidade de mobiliário [...]”.

3.2.4 Tempo de reverberação

Este parâmetro é essencial no estudo e no projeto de condicionamento acústico de qualquer tipo de ambiente. O tempo de reverberação é função principalmente da área das superfícies expostas ao som, assim como dos coeficientes de absorção sonora dos materiais empregados nestas superfícies, ou seja, da absorção do ambiente.

De acordo com Costa (2003, p. 44, grifo do autor), o tempo de reverberação é “[...] **tempo necessário, para que a intensidade energética de um som puro de 512 Hz se reduza a um milionésimo de seu valor inicial (60 dB), a partir do momento no qual a fonte cessa de emití-lo.**”. Esta definição está bem concretizada por especialistas da acústica, pois a literatura cita esta mesma definição em várias obras.

Este tempo de reverberação tão importante para qualquer projeto de condicionamento acústico foi definido primeiramente por Wallace Sabine. Carvalho (2006, p. 85) comenta que:

As experiências de Wallace Sabine (escola americana) com absorção sonora dentro de salas de aulas o levaram a solidificar a relação da reverberação do ambiente com a presença de absorvedores de som. Ele observou que ouvia melhor com maior número de alunos na sala ou com almofadas sobre cadeiras e janelas abertas.

Ao tratar de medir este fenômeno, ele usou a fonte de um órgão vibrante na frequência de 500 Hz e o receptor do próprio ouvido humano dentro da sala de aula. Com o auxílio de um cronômetro, Sabine media o tempo que o som do tubo do órgão parava de soar até o som cessar.

A equação de Sabine será apresentada nos próximos itens, junto com outras fórmulas de suma importância.

Após realizar o cálculo teórico do tempo de reverberação, se faz necessário analisar se este tempo é satisfatório para o local ter uma boa audibilidade. De uma maneira mais geral, Bistafa (2011, p. 260) afirma que:

Um tempo de reverberação longo é inadequado para recintos destinados à palavra falada, tais como salas de aula, salas de conferência e teatros para drama. Nesses recintos, a inteligibilidade da fala é prejudicada quando o tempo de reverberação é longo, pois o som refletido permanece no recinto na forma de reverberação por tempo maior que o ideal, interferindo no som direto, e reduzindo sua inteligibilidade. Assim, deve-se projetar salas destinadas a comunicação através da fala com tempos de reverberação relativamente curtos. Por outro lado, em salas de concerto, a reverberação é até certo ponto necessária, a fim de imprimir qualidade acústica à música orquestral, sendo então recomendados tempos de reverberação mais longos nessas salas.

Esta análise do tempo de reverberação também é abordada por outros autores na literatura de uma forma mais específica para quartos, salas e salões de festas, como Costa (2003, p. 44) que explica que “Uma reverberação excessiva ocasiona confusão e ininteligibilidade, enquanto uma reverberação escassa torna o ambiente surdo, e o nível sonoro decresce muito rapidamente ao afastar-nos da fonte.”.

Para verificar se o tempo de reverberação é excessivo ou escasso a Associação Brasileira de Normas Técnicas expõe um gráfico do tempo ideal para determinadas finalidades do recinto e em função do volume. Este gráfico será apresentado e descrito melhor na divisão 3.4 de Normas acústicas.

3.2.5 Perda por transmissão sonora

Se para a avaliação do condicionamento acústico de um salão de festas o parâmetro essencial é o tempo de reverberação, para o isolamento acústico o parâmetro essencial é a perda por transmissão sonora. Esta perda acontece quando o som incide sobre as paredes, teto e chão de um local, e para Costa (2003, p. 92) a atenuação acústica de uma parede é:

O fenômeno da transmissão do som pelas superfícies divisórias, como aquelas que delimitam os ambientes nas construções civis e industriais, tanto no sentido vertical como horizontal, é bastante complexo, pois é devido a três causas diversas:

- a) refração da onda sonora, fenômeno que segue as leis análogas à refração da luz [...];
- b) absorção de parte da energia sonora através dos poros do material que constitui parede;
- c) irradiação por vibração da parede.

Nos estudos sobre o isolamento acústico na prática, entretanto, podemos limitar-nos a considerar apenas a última causa, porque a energia transmitida pela mesma é muitas vezes superior às ocasionadas pelas causas anteriores, ao menos para as estruturas divisórias usadas normalmente nas construções.

Assim, a perda por transmissão sonora nas paredes simples (em que há apenas o material divisório sem janelas, portas e aberturas) pode ser considerada como causada apenas pela irradiação por vibração da parede.

Entretanto, várias divisórias em cômodos residenciais e salões de festas tem algum tipo de abertura, janela ou porta, ou seja, a parede não é homogênea. Estas divisórias são tratadas como paredes compostas e é necessário adequar todos os coeficientes de transmissão de cada

material. Costa (2003, p. 97, grifo do autor) reforça esta ideia sugerindo que “[...] coeficiente de transmissão t que vai definir a atenuação da superfície em consideração será igual a média ponderada dos coeficientes de transmissão $t_1, t_2, t_3, \dots t_i$ das correspondentes parcelas de superfície $S_1, S_2, S_3, \dots S_i$, que compõem a superfície total em consideração.”.

Por fim, para aumentar a perda por transmissão sonora nas paredes compostas e assim melhorar o isolamento acústico da divisória como um todo, as esquadrias devem ter uma atenção especial, principalmente por se tratar de um elemento que contém frestas e o vidro simples encontrado na maioria das residências não tem um isolamento ótimo. Carvalho (2006, p. 109) afirma que:

Nas esquadrias de vidro, por exemplo, o acréscimo de massa dos vidros (duplos, triplos, etc.) e os afastamentos relativos entre os mesmos são fatores determinantes do isolamento do sistema, mas não somente isso:

- a) as conexões dos vidros com as esquadrias, utilizando borracha ou equivalente, evitando a transferência de vibrações;
- b) a forma de fechamento das esquadrias;
- c) a hipótese de criação de vácuo entre cada duas lâminas de vidro;
- d) o preenchimento dos vazios no caso de perfis ocos.

Esquadrias com vidro duplo são boas alternativas para paredes compostas não transmitirem tanto ruído para o exterior e nem receberem ruído para o interior do local.

3.3 MÉTODOS DE CÁLCULO

Para a correta avaliação e projeto acústico de um salão de festas, alguns parâmetros precisam ser calculados com os dados característicos do local estudado. Em posse de dados construtivos do recinto (como material empregado nas paredes e no forro, quantidade de janelas e portas, material das janelas e portas, tipo de piso colocado no salão) e em posse de níveis de pressão sonora usualmente percebidos no salão, calculam-se dois parâmetros de fundamental importância (entre outros parâmetros que também podem ser estudados).

O primeiro parâmetro a ser calculado é o tempo de reverberação, que está diretamente relacionado ao condicionamento acústico do local. Este já teve seu conceito definido anteriormente, e pode ser calculado pelas expressões de Sabine, Millington e Norris-Eyring,

dependendo do tamanho do local e do valor dos coeficientes de absorção das superfícies do local.

O segundo parâmetro é a perda por transmissão, que está mais ligado ao isolamento acústico do salão. Este parâmetro é calculado para várias frequências, dentro do intervalo que o ouvido humano capta, com a Lei de Massa.

As expressões de fundamental importância para este trabalho estão descritas nos próximos itens.

3.3.1 Condicionamento Acústico

3.3.1.1 Expressão de Sabine

Uma das equações mais importantes para o cálculo do tempo de reverberação de recintos é a expressão proposta por Sabine, que foi o pioneiro em estabelecer uma relação matemática para o tempo de reverberação. Na NBR 12179, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992, p. 3) propõe que após realizar o estudo geométrico acústico, os métodos para obter o tempo de reverberação pode ser feito por Sabine, Millington ou Eyring. Contudo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992, p. 3) determina que a fórmula de Sabine deve-se “[...] empregar quando o coeficiente médio de absorção for menor ou igual a 0,3.”.

Segundo Carvalho (2006, p. 85), Wallace Sabine:

Observou que em cada sala ensaiada o tempo de reverberação (t_{60}) era inversamente proporcional à absorção total (A), por isso $A \times t_{60} = K_i$, se tornou uma constante para cada sala.

Para uniformizar uma fórmula referente a este fenômeno, Sabine relacionou a constante anterior com o seu volume:

$$A \times t_{60} = K \times V$$

É natural que o produto esteja relacionado com o volume, pois o t_{60} cresce em relação linear (numa dimensão) no circuito percorrido pelo som. Assim, a constante K foi adotada pelo valor de 0,161, que fecha a equação usada até hoje de tempo de reverberação: $t_{60} = 0,161 \times V/A$, onde

$$A = \sum S_i \times \alpha_i$$

Assim, esta fórmula tem como dados de entrada o volume do recinto em m^3 que necessita ser obtido pelo estudo geométrico, a área das superfícies interiores do recinto em m^2 , os

coeficientes de absorção (α_i) respectivos as áreas internas (coeficientes disponibilizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para diversos materiais) e como dado de saída o t_{60} que é o tempo de reverberação do recinto em segundos. Note que o t_{60} pode ser escrito como t_r também, pois tempo de reverberação segundo Carvalho (2006, p. 84) “é o tempo necessário para que o nível de intensidade de um determinado som decresça 60 dB após o término da emissão de sua fonte.”.

3.3.1.2 Expressão de Millington

Desde a publicação dos resultados de Sabine, várias outras equações foram desenvolvidas para caracterizar a reverberação em recintos fechados. Entre elas, a expressão empírica de Millington merece destaque. Esta expressão é dada por Miguel e Tamagna (2007, p. 65) como:

$$T = \frac{0,161V}{-\sum S_i \ln(1 - \alpha_i)} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo V o volume, S_i as superfícies, α_i os coeficientes de absorção.

A equação de Millington é aplicável a locais que tenham superfícies com coeficientes de absorção acústica muito diferentes entre si. Além disto, esta equação assim apresentada não está considerando a absorção do ar, a qual é relativamente baixa.

3.3.2 Isolamento Acústico

3.3.2.1 Lei de massa

Para a análise do isolamento das paredes e do forro do recinto deve ser calculada a perda por transmissão da parede. Contudo, esta perda é diferente para frequências variadas e a região controlada pela massa é a de frequências baixas (próximas do limiar da audição que é 20 Hz), ou seja, apenas nas frequências mais baixas é que a lei da massa pode ser aplicada.

A frequência crítica limita a região de aplicação da lei da massa e é calculada por uma série de parâmetros como densidade do material, coeficiente de Poisson e outros. Contudo, o detalhamento da frequência crítica não é relevante no momento, e sim a caracterização do método de cálculo da lei da massa.

A perda por transmissão (R) calculada pela lei da massa tem algumas observações, e Bistafa (2011, p. 282, grifo do autor) afirma que:

Na região controlada pela massa, e para uma dada densidade superficial, R aumenta 6 dB por oitava (6 dB para cada duplicação de frequência). A R também aumenta 6 dB, em toda faixa de frequências da região controlada pela massa, toda vez que a densidade superficial do painel é duplicada.

O método de cálculo da lei da massa mais próximo à realidade é definido por Costa (2003, p. 93) como:

$$R = 20 \log (mf) - 48 \text{ dB} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde, fazendo $K = 20 \log f - 47,4$ obtém-se a fórmula de uso mais geral na prática:

$$R = 20 \log m + K \text{ dB} \quad (\text{Equação 4})$$

Assim, os dados de entrada são a massa (m) do objeto em kg/m^2 , a frequência admitida (f) e o dado de saída é a perda por transmissão (R) para determinada frequência admitida.

Por fim, a lei da massa se faz muito útil para o cálculo de perda por transmissão de paredes para frequências baixas e deve ser usada em conjunto com outras fórmulas caso se deseje conhecer a perda por transmissão de frequências maiores.

3.3.2.2 Patamar

Para frequências menores que a metade da frequência crítica calcula-se a perda por transmissão da parede com a lei de massa. Contudo, quando se deseja obter a perda por transmissão para frequências maiores que $f_c/2$ esta equação não é mais utilizada. Entre as frequências $f_c/2$ e f_1 existe um patamar que permanece constante com o valor da perda por transmissão de $f_c/2$. Ou seja, após calcular a perda por transmissão da metade da frequência crítica com a lei de massa, essa perda permanece constante até a frequência f_1 , que é definida por Miguel e Tamagna (2007, p. 85) para paredes pesadas como:

$$f_1 = 10^{\log(f_c) - 0,33 \log(\eta) - 0,267} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo η o coeficiente de amortecimento.

Para paredes leves a frequência f_l é definida por Miguel e Tamagna (2007, p. 85) como:

$$f_l = 10^{\log(f_c) - 0,33 \log(\eta) - 0,433} \quad (\text{Equação 6})$$

A definição de parede leve e parede pesada depende da massa por unidade de área e esta definição está explicada no item 4.1.1.

3.3.2.3 Frequências maiores que f_l

Para frequências maiores que f_l os valores da perda por transmissão sonora não permanecem mais constantes. Estes valores diferem para cada frequência e dependem da frequência crítica, do coeficiente de amortecimento e da massa por unidade de área da parede. Assim, a partir de f_l aplica-se a expressão sugerida por Miguel e Tamagna (2007, p. 85) como:

$$R = 20 \log(m \times f) + 10 \log\left(\frac{\eta \times f}{f_c}\right) - 45 \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo a f a frequência para a qual se deseja obter o valor da perda por transmissão.

Por fim, com os valores obtidos com a lei da massa, com o valor da perda no patamar constante, e com o cálculo da perda por transmissão para frequências maiores que f_l é possível gerar um gráfico completo da perda por transmissão da parede em função das frequências estudadas.

3.4 NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS À ACÚSTICA

A necessidade do conhecimento das normas técnicas relacionadas à acústica é fundamental para a elaboração de qualquer projeto acústico, pois todo o cálculo e também a avaliação devem estar baseados e atenderem o estipulado pelas normas brasileiras para que o projeto apresente um bom desempenho. Em 2013, a nova norma de desempenho de edificações, a ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais: Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), entrou em vigor, trazendo diversas mudanças para novas construções, inclusive na parte acústica dos empreendimentos. Esta norma, porém, não aborda pontos importantes de um projeto acústico, que estão apresentados em outras normas da ABNT. Por isso, diversas normas devem ser consultadas e respeitadas

para o desenvolvimento de um bom projeto acústico, que englobe tanto condicionamento quanto isolamento sonoro, tais como a NBR 10151, a NBR 10152 e a NBR 12179.

3.4.1 NBR 12179/1992

3.4.1.1 Isolamento acústico

Para definir o conceito de isolamento acústico em edificações, a NBR 12179 esclarece que o isolamento é o “Processo pelo qual se procura evitar a penetração ou a saída, de ruídos ou sons, em um determinado recinto. O isolamento acústico compreende a proteção contra ruídos ou sons aéreos e ruídos ou sons de impacto.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2).

Neste processo para evitar a penetração ou saída de som do recinto, a norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2), solicita que:

O tratamento acústico, destinado ao conforto humano, implica o conhecimento de valores das condições locais, em função do conjunto de condições do recinto, a saber:

- a) nível de som exterior, em decibéis;
- b) nível de som do recinto, em decibéis (em função do gênero de atividade deste recinto);
- c) planta de situação do imóvel onde se acha o recinto a ser tratado;
- d) plantas e cortes longitudinais e transversal do recinto;
- e) especificações dos materiais empregados no recinto: de construção (P.ex.: pisos, paredes, etc.) e de utilização (mesas, poltronas, cortinas, etc.).

Para selecionar o material mais adequado para cada situação de ruído acima do recomendado, a Figura 2 dispõe do valor de isolamento acústico para determinados materiais usualmente usados na construção civil, com ondas sonoras emitidas na frequência de 500 Hz.

Figura 2 – Valor do isolamento acústico de diversas materiais.

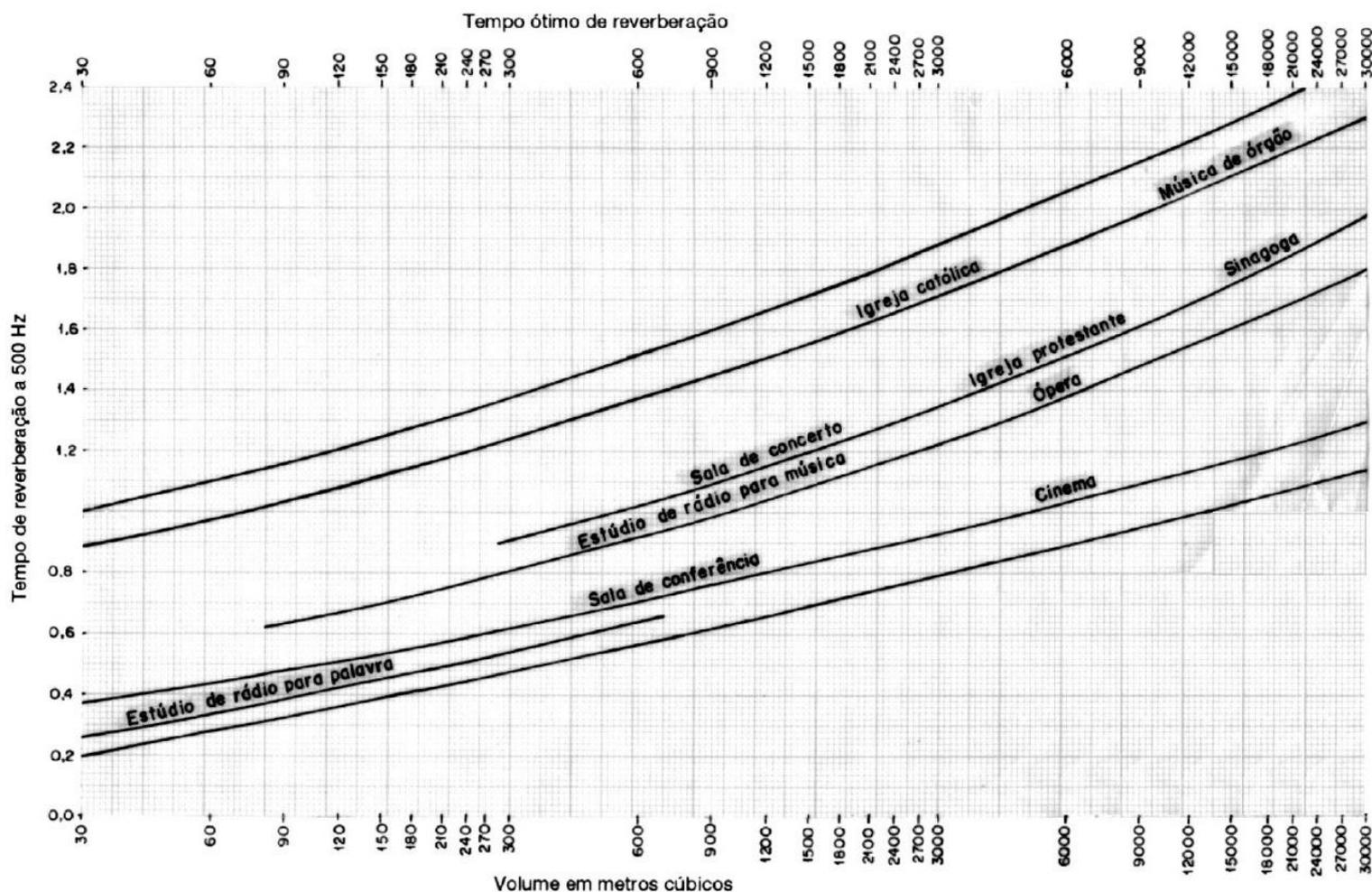
Material	Isolamento acústico em decibéis (500Hz)
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 10 cm)	45
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 20 cm)	50
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 30 cm)	53
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 40 cm)	55
Alvenaria de tijolo furado (espessura de 25 cm)	10
Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-Board" (espessura de 12 mm)	18
Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-Board" com camada de ar intermediária	30
Chpas ocas de gesso (espessura de 10 cm)	24
Compensado de madeira (espessura de 6.0 mm)	20
Compensado de madeira (espessura de 6.0 mm) duas placas com camada de ar intermediária de 10 cm	25
Concreto - laja entre pavimentos	68
Vidro de janela (espessurar de 2 a 4 mm)	20 a 24
Vidro grosso (espessura de 4 a 6 mm)	26 a 32
Vidro de fundição (espessura de 3 a 4 mm) uma placa	24
Vidro de fundição (espessura de 4 a 6 mm) duas placas com camada de ar intermediária	36

(fonte: adaptado NBR 12.179/1992, p. 5)

3.4.1.2 Condicionamento acústico

O condicionamento acústico também é abordado na NBR 12179, em que propõe que “Estabelecido o nível de som do recinto deve ser feito o estudo geométrico-acústico e determinado o tempo de reverberação.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 3). Ao final do estudo geométrico-acústico, a distribuição da área do local pode ser modificada se for necessário para melhorar a distribuição do som no recinto. Na Figura 3, é apresentada uma faixa de valores em que o tempo de reverberação tem que se enquadrar dependendo do volume em metros cúbicos do local. Se o tempo de reverberação do local construído ou projetado, na frequência de 500 Hz, se enquadrar no intervalo em função do seu volume, o condicionamento acústico do local é considerado satisfatório.

Figura 3 – Tempo de reverberação em função do volume



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 9)

3.4.2 NBR 10151/2000

Conforto acústico é um termo subjetivo, pois determinadas pessoas são mais sensíveis ao ruído do que outras. Apesar disso, a NBR 10151 “[...] fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000, p. [1]). A NBR 10151 apresenta valores limites de ruído para períodos diurnos e noturnos os quais são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Nível de critério de avaliação para ambientes externos em decibéis.

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

(fonte: adaptado NBR 10.151/2000, p. 3)

3.4.3 NBR 10152/1987

Deve-se ressaltar que diversos fatores externos podem provocar ruídos desconfortáveis no interior de edificações. O Conama (1990, p. [1]) utiliza a NBR 10151/2000 e também a NBR 10152/1987 como parâmetro, segundo demonstra os itens a seguir:

- a) A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução;
- b) São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior aos ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT;
- c) Na execução dos projetos de construção ou de reformas de edificações heterogêneas, o nível de som produzido por uma delas não poderá ultrapassar os níveis estabelecidos pela NBR 10.152 – Níveis de Ruído para Conforto Acústico da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

O nível do som adequado em cada tipo de recinto é apresentado no Figura 5, assim, se o nível de pressão sonora medido for acima do nível sonoro da faixa superior do quadro significa que ultrapassou o nível aceitável de conforto para o recinto em questão, e por isso necessita uma intervenção para obter conforto acústico satisfatório.

Figura 5 – Valores de dB para conforto acústico.

Locais	dB
Hotéis	
Apartamentos	35-45
Restaurantes, Salas de Estar	40-50
Portaria, Recepção, Circulação	45-55
Residências	
Dormitórios	35-45
Salas de estar	40-50

(fonte: adaptado NBR 10.152/1987, p. 2)

4 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para o estudo de caso dos problemas acústicos relacionados a um salão de festas, foi escolhido um salão em um prédio residencial no município de Bento Gonçalves – RS (Figura 6). Este salão foi escolhido especialmente por estar no segundo pavimento do prédio e no andar superior ter apartamentos residenciais. O prédio também tem a peculiaridade de ser relativamente antigo, pois seus projetos datam de 1986, mesmo período da sua construção. Por fim, o salão foi escolhido devido à facilidade em obter os projetos antigos e por não passar por nenhuma reforma significativa, apenas pinturas e trocas de esquadrias.

Figura 6 – Vista externa do prédio onde se encontra o salão.



(fonte: <https://www.google.com.br/maps/>)

O salão de festas é composto por um ambiente principal de 42,21 m² e uma varanda de 37,8 m², como é apresentado na Figura 7 em linhas amarelas, o restante do andar são recintos diversos.

Figura 7 – Planta baixa do local de estudo.



(fonte: elaborado pelo autor)

Assim sendo, vale ressaltar que o local de estudo possui piso cerâmico, portas em madeira, janelas de madeira com vidro simples, forro de madeira e vários móveis em madeira e/ou granito, além de ser equipado com uma pia e um fogão, como mostram as Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Local do estudo de caso.



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 9 – Local do estudo de caso.



(fonte: elaborado pelo autor)

4.1 ANÁLISE DO SALÃO DE FESTAS

O salão estudado não possui nenhuma patologia visível em sua construção, nem grandes falhas e fissuras em paredes, piso ou forro que possam alterar os resultados teóricos de isolamento e condicionamento acústico do local.

Após uma análise inicial de possíveis patologias que possam alterar os resultados do estudo, faz-se necessário o levantamento de alguns dados de entrada para o cálculo de parâmetros relevantes ao trabalho. Para o cálculo do isolamento acústico do local, os dados de entrada são a frequência crítica das paredes do salão de festas e a massa por unidade de área destas paredes. Para o condicionamento acústico do salão, os dados de entrada são os coeficientes de absorção acústica das paredes, piso, forro, janelas e todos os móveis que estarão presentes em uma festa no local, além das áreas de cada superfície que circundam o recinto e do volume total do mesmo.

4.1.1 Dados de entrada para o isolamento acústico

A determinação da frequência crítica do salão de festas é extremamente importante para aplicação da Lei de Massa nas frequências corretas e a adequada geração do gráfico da perda por transmissão em função das frequências. Cabe ressaltar que todas as paredes do recinto são de alvenaria com uma camada simples de reboco liso.

A frequência crítica de cada uma das paredes pode ser determinada, segundo Miguel e Tamagna (2007, p. 84), com a expressão:

$$f_c = \frac{63733,5}{e} \sqrt{\frac{p(1 - \nu^2)}{E}} \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo que:

e é a espessura das paredes em metros, que pela planta baixa é de 15 cm (0,15m);

p é a densidade da parede de alvenaria com reboco que conforme a NBR 6120, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1980, p.2) explicita que a densidade do tijolo maciço é 1800 kg/m³ e a densidade da argamassa de cimento e areia é 2100 kg/m³. Assim sendo, a densidade utilizada foi 1900 kg/m³ pela espessura de tijolo ser maior que de argamassa;

ν é o coeficiente de Poisson que para alvenaria corresponde a 0,19;

E é o módulo de Young em N/m² que segundo Miguel e Tamagna (2007, p. 86) corresponde para tijolos a 2,5x10¹⁰ N/m².

Assim sendo, utilizando os respectivos dados de entrada, a frequência crítica das paredes de alvenaria do salão de festas é de 115,0004 Hz ~ 115 Hz.

Além da frequência crítica, faz-se necessário obter a massa por unidade de área da parede (kg/m^2) para determinar se a divisória em questão é leve ou pesada. Silva (2000), ao analisar a isolamento sonora aérea de diferentes paredes, utilizou classificação da CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*), do qual paredes leves tem densidade superficial menor que 150 kg/m^2 , e paredes pesadas tem densidade superficial maior do que 150 kg/m^2 .

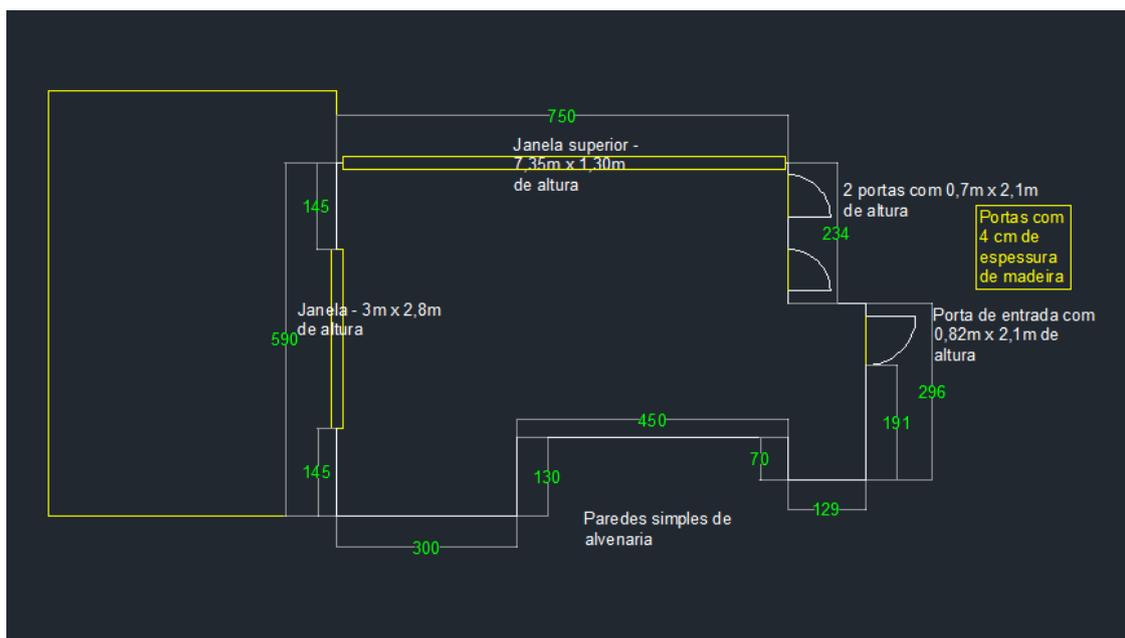
Conhecido a espessura e a densidade da parede (15 cm e 1900 kg/m^3 , respectivamente), basta efetuar a multiplicação para obter sua massa por unidade de área. Assim, a parede possui massa de 285 kg/m^2 , caracterizando uma parede pesada, como era de se esperar por ser alvenaria estrutural.

4.1.2 Dados de entrada para o condicionamento acústico

Para o cálculo do tempo de reverberação do recinto e posteriormente a análise do condicionamento acústico, é necessário levantar a área e o volume do local, além das dimensões das esquadrias e dos móveis. Dito isto, este levantamento foi feito com trena no local, pois a obtenção destes dados por planta baixa era duvidosa por se tratar de uma construção com 30 anos de execução.

A altura do recinto foi medida com trena e obteve-se 2,8 metros de pé-direito. A planta baixa com as dimensões de paredes e esquadrias obtidas com trena estão na Figura 10, bem como os móveis do recinto e suas respectivas áreas superficiais estão no Quadro 1.

Figura 10 – Planta baixa com dimensões do salão de festas.



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 1 – Dimensões dos móveis presentes no salão de festas.

Móvel	Área	Unidade
10 cadeiras	1,012	m ²
Mesa madeira 5,5x0,9m	4,95	m ²
Banco madeira	1,745	m ²
Pia de granito	0,903	m ²
Fogão	0,325	m ²
Móvel mármore e mad.	1,544	m ²

(fonte: elaborado pelo autor)

Assim sendo, a área total do recinto é de 42,2184 m² e o seu volume total é de 118,2115 m³ sem contabilizar a varanda externa que possui mais uma área de 34,08 m².

Por fim, cabe determinar os coeficientes de absorção sonora para os materiais de parede, esquadrias e móveis que o salão de festas terá em dias de uso. Para isso foi utilizado primordialmente os coeficientes de absorção sonora da NBR 12.179/1992, e para os materiais

cujo coeficiente não se encontram na norma, foi utilizado coeficientes de fontes confiáveis disponíveis na *internet*. Cabe ressaltar que os coeficientes de absorção sonora utilizados foram os valores para frequências de 500 Hz, pois além de ser uma frequência próxima da voz humana que será primordialmente a fonte de som das festas, há compatibilidade para comparar resultados com o gráfico da norma NBR 12.179/1992 que é apresentado na frequência de 500 Hz.

A seguir são apresentados os valores de coeficiente de absorção acústica que foram retirados da norma NBR 12.179/1992 na Figura 11.

Figura 11 – Coeficientes de absorção acústica.

Materiais	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Portas de madeira, fechadas	0,14	-	0,06	-	0,10	-
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	-	0,02	-
Uma pessoa com cadeira	0,33	-	0,44	-	0,46	-

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 7)

5 CÁLCULO DOS PARÂMETROS RELEVANTES

Após determinados os dados de entrada para o cálculo do isolamento e do condicionamento acústico do salão de festas, pode-se começar a determinar, teoricamente, os parâmetros relevantes para este estudo de caso, sendo os dois principais: tempo de reverberação para o condicionamento acústico e perda por transmissão das paredes para o isolamento acústico do salão de festas.

5.1 PERDA POR TRANSMISSÃO DAS PAREDES SIMPLES

Primeiramente, para calcular a perda por transmissão das paredes do recinto, determinaram-se quais paredes eram simples (apenas de alvenaria e reboco liso, ou seja, toda de mesmo material) e quais paredes do salão de festas eram compostas (com alvenaria e janelas ou alvenaria e portas, isto é, paredes com mais de um material). Dito isto, constatou-se que 6 paredes do salão de festas eram paredes simples, 2 eram paredes compostas por alvenaria e janela, e 2 eram compostas por alvenaria e portas de madeira.

Admitindo que todas as paredes foram construídas pelo mesmo método construtivo e que possuem a mesma espessura de alvenaria, foi determinado, primeiramente, a perda por transmissão das paredes simples.

Inicialmente deve-se obter a frequência crítica da parede simples que como já foi calculada anteriormente no subcapítulo 4.1.1, será apenas resgatado o valor de $f_c = 115$ Hz.

A parede em questão é considerada Parede Pesada por ter uma massa por unidade de área de 285 kg/m^2 . Assim, segundo Miguel e Tamagna (2007, p. 84) aplica-se a Lei de Massa para valores menores que a metade da frequência crítica de 115 Hz. A Lei de Massa para Paredes Pesadas é dada pela seguinte expressão:

$$R = 20 \log (m \times f) - 48 \quad (\text{Equação 9})$$

Com a Lei de Massa, foram calculados os valores da perda por transmissão (R) da parede para a frequência de 20 Hz e para a metade da frequência crítica (57,5 Hz), obtendo-se os valores do Quadro 2:

Quadro 2 – Resultados da Lei de Massa.

	m=	285	kg/m ²	.->	Parede Pesada	
Para $f_c/2$:	R=	36,29	dB			
Para $f=20$ Hz:	R=	27,12	dB			

(fonte: elaborado pelo autor)

Após isto, foi determinada a frequência f_1 , a qual é a última frequência que a perda por transmissão permanece no patamar, isto é, igual a perda por transmissão da metade da frequência crítica, ou seja, $R = 36,29$ dB. Para isto, Miguel e Tamagna (2007, p. 85) sugerem que a frequência f_1 para paredes pesadas pode ser obtida por:

$$f_1 = 10^{\log(fc) - 0,33 \log(\eta) - 0,267} \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo η o coeficiente de amortecimento, admitido igual a 0,01 para paredes de alvenaria.

Assim sendo, a frequência f_1 foi estimada em 284,25 Hz para as paredes de alvenaria.

A frequência mais importante para o estudo é a frequência de 500 Hz por ser próxima da frequência da voz humana, e assim ainda está acima do valor f_1 . Então, calculou-se a perda por transmissão para frequências acima de f_1 , incluindo a frequência de 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz e 8000 Hz.

Estas frequências se encontram acima de f_1 e, portanto, são calculadas, segundo Miguel e Tamagna (2007, p. 85), com a expressão:

$$R = 20 \log(m \times f) + 10 \log\left(\frac{n \times f}{f_c}\right) - 45 \quad (\text{Equação 11})$$

Os resultados para estas frequências estão expressos no Quadro 3 abaixo:

Quadro 3 – Resultados de perda por transmissão das paredes simples de alvenaria.

R=	44,46	dB	para	f= (Hz)	500
R=	53,49	dB	para	f= (Hz)	1000
R=	62,52	dB	para	f= (Hz)	2000
R=	71,55	dB	para	f= (Hz)	4000
R=	80,58	dB	para	f= (Hz)	8000

(fonte: elaborado pelo autor)

Com todos os resultados da perda por transmissão das paredes simples para diferentes frequências, foi possível construir um gráfico, o qual facilita a visualização dos valores da perda por transmissão da parede estudada no salão de festas em função da frequência (em escala logarítmica), o qual está apresentado no Apêndice A.

5.2 PERDA POR TRANSMISSÃO DAS PORTAS

Para o cálculo da perda por transmissão sonora das paredes compostas, fez-se necessário obter a perda por transmissão dos elementos da parede, além da própria alvenaria.

Sendo assim, foi calculada a perda por transmissão das portas nas frequências de 500, 1000, 2000, 4000 Hz e para a metade da frequência crítica, apesar de que o valor que realmente interessa para fins posteriores do trabalho é a perda por transmissão em 500 Hz.

O cálculo da perda por transmissão sonora das portas de madeira segue o mesmo roteiro de cálculo da perda por transmissão das paredes de alvenaria, modificando os parâmetros de entrada e a equação da Lei de Massa (Equação 9) pela Equação 12 da Lei de Massa.

Primeiramente, foram determinados alguns dados de entrada como as propriedades da madeira comum: densidade da madeira de 650 kg/m^3 , coeficiente de Poisson 0,24, módulo de Young de $1,2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ e coeficiente de amortecimento de 0,03 todos retirados de Miguel e Tamagna (2007, p. 86); e a espessura das portas de 4 cm medidos com trena.

Com a espessura da porta de madeira de 4 cm, foi determinada a massa por unidade de área das portas como 26 kg/m^2 , consistindo em um obstáculo leve para a passagem do som. Assim sendo, a equação da Lei de Massa para paredes leves é descrita por Miguel e Tamagna (2007, p. 85) como:

$$R = 20 \log(m \times f) - 53 \quad (\text{Equação 12})$$

Desta forma, o roteiro de cálculo da perda por transmissão das portas permanece semelhante ao roteiro da perda por transmissão das paredes de alvenaria apresentado no item 5.1, diferenciando apenas os dados de entrada e a equação da Lei de Massa. Utilizando este roteiro de cálculo, portanto, obtêm-se os seguintes resultados apresentados no Quadro 4, para frequência crítica e perda por transmissão sonora em distintas frequências.

Quadro 4 – Resultados de perda por transmissão das portas.

$f_c =$	359,99	Hz			
$f_c/2 =$	180,00	Hz			
R=	20,40	dB	para	$f_c/2$	
R=	23,48	dB	para	f= (Hz)	500
R=	32,51	dB	para	f= (Hz)	1000
R=	41,54	dB	para	f= (Hz)	2000
R=	50,57	dB	para	f= (Hz)	4000
R=	59,60	dB	para	f= (Hz)	8000

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3 PERDA POR TRANSMISSÃO DAS JANELAS

Além do cálculo da perda por transmissão sonora das portas, precisou-se calcular a perda das janelas para depois obter a perda das paredes compostas.

As janelas têm uma espessura de vidro de 4 mm, e dimensões de 3 metros de comprimento por 2,8 metros de altura na varanda e 7,35 metros por 1,3 metros na parede que tem vista para a rua. A posição das janelas bem como suas dimensões estão apresentadas na Figura 10.

Primeiramente, foram determinados alguns dados de entrada como as propriedades do vidro simples, o qual abrange a maior parte da área superficial da janela e é o material com menor perda quando comparado à madeira: densidade do vidro de 2400 kg/m^3 , coeficiente de Poisson 0,24 e módulo de Young de $6,76 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$, todos retirados de Miguel e Tamagna (2007, p. 86); e a espessura do vidro simples na janela é de 4 mm como consta no detalhamento do projeto do prédio.

Assim, determinou-se a frequência crítica para a janela com a equação 8 descrita no subcapítulo 4.1.1, e obteve-se $f_c = 2914,48 \text{ Hz}$. Como a perda por transmissão que é relevante no estudo de caso é a perda na frequência de 500 Hz, por se aproximar da frequência da voz humana, a qual estará predominantemente em dias de festas, a perda por transmissão sonora foi calculada com a Lei de Massa, pois a frequência de 500 Hz está abaixo da metade da frequência crítica que é de $f_c / 2 = 1457,23 \text{ Hz}$. Para as demais frequências acima de 1457, 23 Hz não foi calculado, pois não há interesse para o presente trabalho.

Assim sendo, multiplicando a densidade do vidro por sua espessura obtém-se a massa de 9,6 kg/m², considerado assim um obstáculo leve para a transposição do som. Por se tratar de um obstáculo leve, a equação da Lei de Massa utilizada no cálculo da perda das janelas é a mesma da equação das portas de madeira (Equação 12).

Portanto, utilizando os dados de entrada do vidro, sua espessura e a massa específica de 9,6 kg/m², foi obtido os valores do Quadro 5 para a perda por transmissão das janelas de vidro simples.

Quadro 5 – Resultados de perda por transmissão das janelas.

	m=	9,6	kg/m ²
	$f_c/2=$	1457,23	Hz
Para $f_c/2$:	R=	29,92	dB
Para $f=500$ Hz	R=	20,62	dB

(fonte: elaborado pelo autor)

5.4 PERDA POR TRANSMISSÃO DAS PAREDES COMPOSTAS

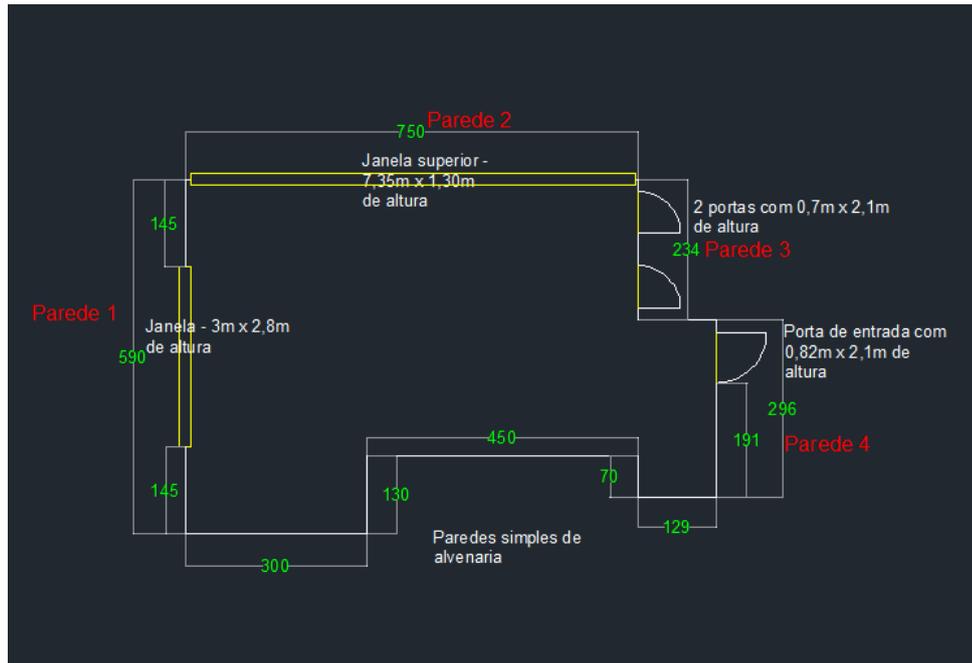
Após obter os valores da perda por transmissão dos três elementos constituintes das paredes compostas do salão de festas, foi então calculado a perda para cada parede composta.

Apesar de obter a perda para diferentes frequências da janela, da alvenaria e da porta de madeira, para o cálculo da perda das paredes compostas serão utilizados apenas os valores de perda por transmissão para a frequência de 500 Hz, por ser próxima da voz humana e ser o som predominante em uma janta ou festa normal.

Assim sendo, as perdas foram consideradas como $R=44,46$ dB para a alvenaria, $R=20,62$ dB para as janelas de vidro simples e $R=23,45$ dB para as portas de madeira.

No salão de festas em questão, quatro paredes são consideradas compostas e foram numeradas de 1 a 4 para melhor organização segundo a Figura 12.

Figura 12 – Paredes compostas em planta baixa.



(fonte: elaborado pelo autor)

Como o procedimento de cálculo para perda por transmissão de parede composta é o mesmo para as quatro paredes, foi detalhado o roteiro de cálculo e depois apenas a substituição dos dados de entrada para a respectiva parede, e assim a obtenção dos valores que posteriormente serão expostos em forma de tabelas para melhor organização. O roteiro de cálculo consiste em obter a perda por transmissão dos elementos individuais já calculados anteriormente para 500 Hz, e a área superficial total da parede bem como a área superficial dos elementos individuais inseridos na parede composta (portas, janelas e alvenaria) medidos com trena.

Após obter os dados de entrada, foi calculada a perda por transmissão das paredes compostas com a equação descrita por Miguel e Tamagna (2007, p. 90):

$$R = 10 \log \sum \frac{S_i}{\frac{R_i}{10^{10}}} \quad (\text{Equação 13})$$

Sendo S_i a superfície do material i e R_i o índice de redução sonora do material i .

Aplicando, portanto, a equação 13 nas quatro paredes compostas obtêm-se os seguintes resultados explicitados nos Quadros 6, 7, 8 e 9. As paredes reais estão na Figura 13.

Quadro 6 – Perda por transmissão em 500 Hz da Parede 1.

PAREDE 1					8,4 m ²
Parede de alvenaria			8,12 m ²	Janela varanda com 3 m x 2,8 m	
Perda (R)=		44,5 dB		Perda (R)= 20,62 dB	
Componentes	R_i	$\frac{R_i}{10^{10}}$	S_i	$\frac{S_i}{\frac{R_i}{10^{10}}}$	
Parede	44,5	27919,037	8,12	0,000291	
Janela	20,625	115,47354	8,4	0,072744	
Σ			16,52	0,073035	
R= 23,54 dB				500 Hz	

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 7 – Perda por transmissão em 500 Hz da Parede 2.

PAREDE 2					9,555 m ²
Parede de alvenaria			11,67 m ²	Janela com 7,35 m x 1,30 m	
Perda (R)=		44,5 dB		Perda (R)= 20,62 dB	
Componentes	R_i	$\frac{R_i}{10^{10}}$	S_i	$\frac{S_i}{\frac{R_i}{10^{10}}}$	
Parede	44,5	27919,037	11,67	0,000418	
Janela	20,625	115,47354	9,555	0,082746	
Σ			21,225	0,083164	
R= 24,07 dB				500 Hz	

(fonte: elaborado pelo autor)

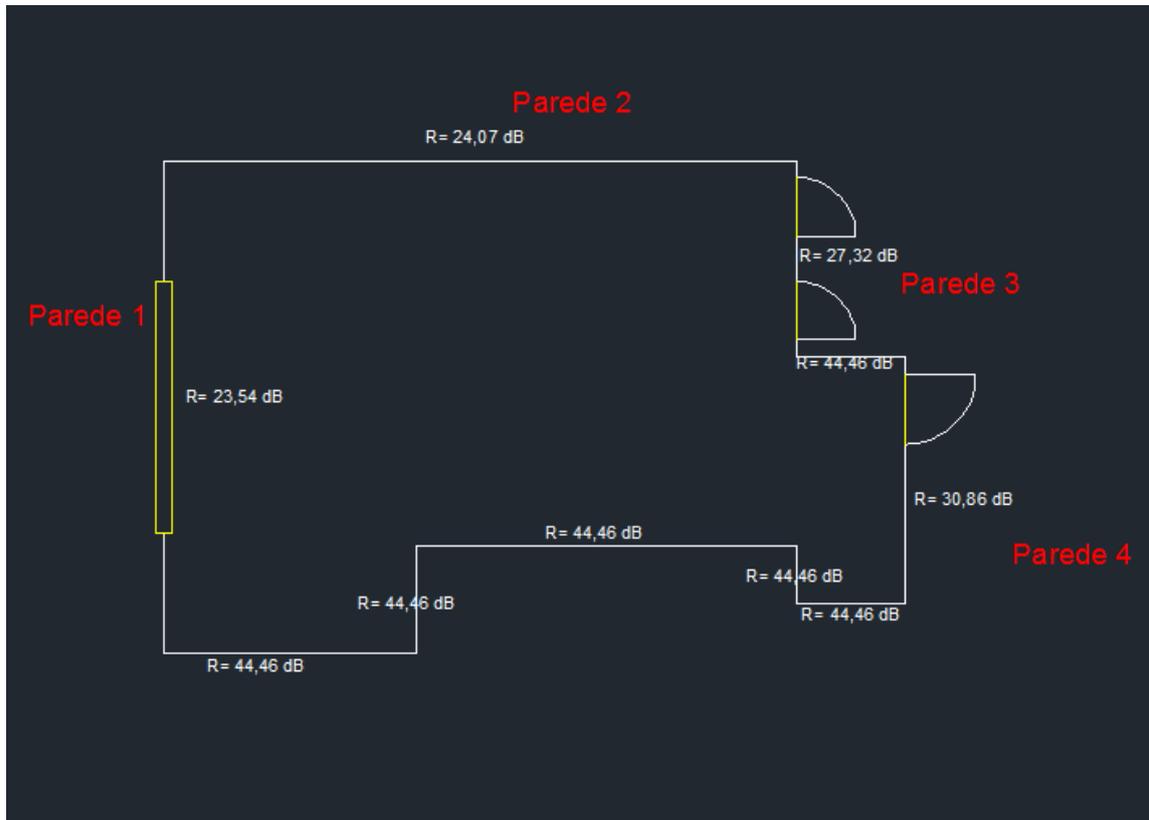
Figura 13 – Fotos das paredes compostas 1 a 4.



(fonte: elaborado pelo autor)

Finalmente, após o cálculo da perda por transmissão sonora de todas as paredes do recinto estudado pode-se gerar uma planta baixa com os respectivos valores de perda por transmissão em 500 Hz das paredes compostas e os valores de 44,46 dB para as paredes simples de alvenaria, conforme Figura 14. Como se pode observar, as paredes com os piores desempenhos de isolamento acústico são as paredes compostas 1 e 2, as quais possuem janelas com vidro simples.

Figura 14 – Planta baixa das respectivas perdas por transmissão.



(fonte: elaborado pelo autor)

5.5 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Para avaliar o desempenho acústico do salão de festas em relação ao condicionamento do local, calcula-se e analisa-se o tempo de reverberação do recinto. A expressão escolhida para o cálculo do tempo de reverberação do salão de festas original foi a equação de Sabine explicitada no item 3.3.1, pois o local não é muito grande e os coeficientes de absorção são relativamente baixos e uniformes (exceto a absorção de uma pessoa com cadeira).

A área total do piso do recinto é de 42,22 m² e o seu volume total é de 118,21 m³, além disso, o ambiente conta com uma mesa de madeira de 4,95 m², um banco de madeira de 1,75 m², uma pia de granito de 0,90 m², um fogão de 0,33 m² e um móvel de mármore e madeira de 1,54 m². O salão é constituído de piso de cerâmica com área superficial total de 42,22 m², paredes de alvenaria com reboco de gesso com área total de 63,57 m², três portas de madeira com área total de 4,66 m², duas janelas com área total de 17,95 m² e forro de madeira com

área total superficial de 42,22 m². Além disso, a bibliografia constata que uma pessoa sentada com uma cadeira padrão tenham aproximadamente 2,10 m² de área superficial.

Para o cálculo do tempo de reverberação foi considerado cinco hipóteses de uso: com 5, 10, 15, 20 e 25 pessoas no local. Além disso, foi considerada apenas uma cadeira por pessoa.

Os últimos dados de entrada da equação de Sabine são os coeficientes de absorção acústica, dos quais alguns foram retirados da NBR 12.179/1992 como consta na Figura 11, e o restante foi retirado de alguns sites relacionados à acústica. Para o coeficiente de absorção acústica do teto de madeira e do piso cerâmico, Ferreira (2015) sugere que o teto de madeira em 500 Hz tenha coeficiente de absorção acústica de 0,03 e para o piso cerâmico de 0,01. Para o coeficiente da mesa de madeira e do banco de madeira, Giacaglia (2002) propõe que a mesa de madeira tenha um coeficiente de 0,03 e o banco de madeira de 0,08.

Assim, para facilitar o entendimento e não cometer erros foi elaborada uma tabela preliminar com os dados dos coeficientes e suas respectivas áreas antes de utilizar a expressão de Sabine. Como as tabelas preliminares para as cinco hipóteses são semelhantes, o que varia é apenas a quantidade de pessoas e o resto continua fixo, o Quadro 10 explicita a tabela para 5 pessoas no salão, e as outras são idênticas com a alteração da área superficial das pessoas no recinto.

Quadro 10 – Coeficientes de absorção e áreas individuais.

Elemento	S_i	α_i	$\alpha_i * S_i$ (m ²)	
Teto de madeira	42,218	0,03	1,266552	
Janelas	17,955	0,03	0,53865	
Portas de madeira	4,662	0,06	0,27972	
Piso cerâmico	42,218	0,01	0,422184	
Paredes	63,567	0,02	1,27134	
5 pessoas c/cadei.	10,506	0,44	4,62264	
Mesa madeira	4,95	0,03	0,1485	
Banco	1,745	0,08	0,1396	
Pia de granito	0,903	0,01	0,00903	
Fogão	0,325	0,15	0,04875	
Móvel mármore	1,544	0,01	0,01544	
		(Σ) $A \alpha =$	8,762406	m ²

(fonte: elaborado pelo autor)

Após obter o somatório para as cinco hipóteses, o tempo de reverberação foi calculado com a equação de Sabine e retornou os seguintes resultados presentes no Quadro 11, todos para a frequência de 500 Hz.

Quadro 11 – Tempo de reverberação do recinto para 5, 10, 15, 20 e 25 pessoas (500 Hz).

Original	Volume	118,21	m ³
Original	Salão	T _a	
	5 pessoas	2,17	seg
	10 pessoas	1,42	seg
	15 pessoas	1,06	seg
	20 pessoas	0,84	seg
	25 pessoas	0,70	seg

(fonte: elaborado pelo autor)

6 SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA OS PROBLEMAS DE ISOLAMENTO E CONDICIONAMENTO ACÚSTICO

Após empregar os métodos de cálculo teóricos para o recinto comparou-se os resultados com as especificações de norma para o isolamento e o condicionamento acústico do local. No caso do condicionamento, a NBR 12.179/1992 traz um gráfico do tempo de reverberação ótimo para 500 Hz em função do volume do recinto, o qual está exposto na Figura 3. Considerando o volume do salão de 118,21 m³ e seguindo o gráfico da NBR 12.179/1992, percebe-se que o tempo de reverberação ótimo está entre a faixa de 0,35 segundos até 1,2 segundos. Como apresentado no Quadro 11, apenas quando o salão de festas tem 15 pessoas ou mais que o tempo de reverberação encontra-se dentro da faixa ótima, porém, o ideal seria que o salão de festas também fosse adequado para atender um encontro menor, como menos pessoas.

Além disso, no caso do isolamento acústico o salão tem duas paredes com perda por transmissão abaixo das outras, que seriam as duas paredes compostas com janelas (1 e 2). Na NBR 10.151/2000, a Associação Brasileira de Normas Técnicas traz limites de níveis de ruído aceitáveis em diferentes tipos de áreas e período do dia, conforme a Figura 4 e novamente apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Nível de critério de avaliação para ambientes externos em decibéis.

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000, p. 3)

Como o salão de festas estudado encontra-se em um prédio localizado em área mista predominantemente residencial em Bento Gonçalves – RS, e geralmente as festas no salão ocorrem a noite, o limite aceitável é de 50 dB de ruído. Nesta região não há grande fluxo de carros à noite, nem grande incidência de ruídos, então será considerado que o ruído

extravasado do salão de festas não pode ser maior que o limite da NBR 10.151/2000 de 50 dB.

Assim sendo, por impossibilidade de medição no local durante uma festa real, foi-se considerado que uma festa normal com razoável número de pessoas emita 80 dB. Considerando também que as paredes com menor perda por transmissão sonora são as paredes compostas 1, 2 e 3, as quais apresentam perdas de 23,54 dB, 24,07 dB e 27,32 dB, respectivamente, observa-se que é insuficiente o isolamento dessas três paredes. Cabe ressaltar, que a parede composta 3 é divisória com um depósito e banheiros, ou seja, não há grandes problemas em esta parede isolar apenas 27,32 dB, sendo assim, desconsiderada como uma parede com problema de isolamento.

Contudo, as paredes compostas 1 e 2 são divisórias com a rua, e como há apartamentos imediatamente acima do salão, este ruído é constatado pelos apartamentos residenciais do andar superior. Portanto, as paredes compostas 1 e 2 necessitam de uma intervenção para obter um melhor desempenho do isolamento acústico.

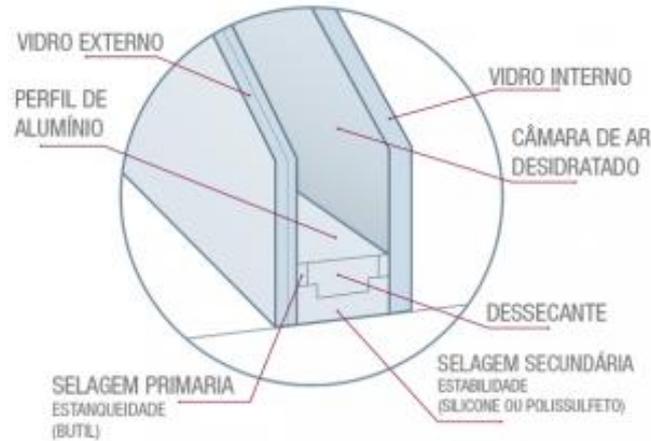
6.1 SOLUÇÃO PARA O ISOLAMENTO ACÚSTICO

Considerando que as paredes críticas na análise do isolamento acústico do salão de festas são as paredes compostas 1 e 2, ou seja, as duas paredes em que há presença de janelas, e considerando que uma intervenção na parte de alvenaria da parede é muito cara e demorada, a melhor solução para a perda por transmissão sonora obter um valor satisfatório é fazer uma intervenção nas janelas. Sendo assim, janelas de vidro duplo seriam uma das soluções mais baratas e práticas de intervenção, pois mantem toda a estrutura e perfil das janelas, modificando assim apenas a folha da janela.

As janelas originais do salão de festas tem uma perda por transmissão sonora de 20,62 dB para a frequência de 500 Hz, portanto, buscou-se janelas que tem uma perda maior para esta frequência. Entre as janelas e marcas pesquisadas, a que foi escolhida por ser uma empresa especializada em janelas especiais foi a janela de vidro duplo (insulado) da Divinal vidros. Uma figura esquemática da concepção da janela proposta como solução para o salão de festas está apresentada na Figura 16.

Figura 16 – Solução proposta de vidro duplo.

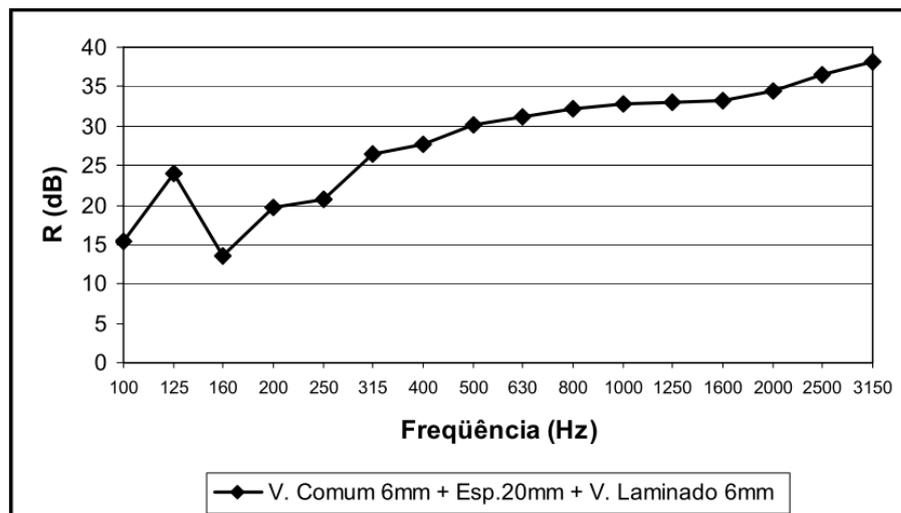
Sistema de vidro duplo (insulado)



(fonte: Divinal Vidros)

A solução proposta para um melhor isolamento acústico do salão de festas é a troca das janelas atuais por janelas de vidro duplo com 6 mm de vidro externo + 20 mm de camada de ar + 6 mm de vidro interno. Assim sendo, como o fabricante, assim como a maioria, não forneceu dados de perda por transmissão sonora da janela por ele fabricada, foram utilizados dados de uma janela similar testada em um trabalho acadêmico. Segundo Scherer (2005, p. 116), uma janela com as mesmas especificações possui uma perda por transmissão sonora de 30,2 dB na frequência de 500 Hz, conforme a Figura 17 e o Quadro 12.

Figura 17 – Gráfico da perda por transmissão da janela de vidro duplo.



(fonte: Scherer, 2005)

Quadro 12 – Perda por transmissão da janela de vidro duplo.

Frequência	R do vidro
100	15,4
125	23,9
160	13,5
200	19,6
250	20,7
315	26,4
400	27,6
500	30,2
630	31,2
800	32,2
1000	32,9
1250	33,0
1600	33,2
2000	34,5
2500	36,6
3150	38,1

(fonte: Scherer, 2005)

6.1.1 Cálculo da perda por transmissão das paredes críticas com a solução proposta

Com o valor da perda por transmissão da janela de vidro duplo estipulado em 30,2 dB para 500 Hz, foi então calculado novamente a perda por transmissão das paredes compostas 1 e 2. O roteiro de cálculo é o mesmo da perda por transmissão das paredes compostas com janelas desenvolvido nas paredes originais e explicitados no subcapítulo 5.4, com a utilização da equação 13 descrita por Miguel e Tamagna (2007, p. 90).

As áreas superficiais das janelas com vidro duplo foram consideradas idênticas às janelas originais, modificando no roteiro de cálculo apenas a perda por transmissão das janelas.

Assim sendo, os novos resultados para perda por transmissão das paredes compostas 1 e 2 estão exibidos nos Quadros 13 e 14.

dB para a parede 1 e 24,07 dB para a parede 2; com as janelas de vidro duplo as paredes compostas tiveram resultados de 32,98 dB para a parede 1 e 33,47 dB para a parede 2.

Assim sendo, a solução proposta coloca o salão de festas dentro dos limites de ruídos aceitáveis impostos pela NBR 10.151/2000, mesmo para festas ou jantadas noturnas, sendo assim, satisfatória para o estudo de caso.

6.2 SOLUÇÃO PARA O CONDICIONAMENTO ACÚSTICO

Considerando que o recinto tem 118 m³ e, portanto, uma faixa de 0,35 segundos até 1,2 segundos de tempo de reverberação ótimo para o recinto, deve-se propor uma solução para que o tempo de reverberação do salão fique dentro desta faixa ótima, tanto para poucas pessoas (5 apenas) utilizando o salão quanto para um número maior de pessoas, próximo à capacidade máxima do mesmo (25 pessoas).

O tempo de reverberação do salão de festas sem tratamento acústico é de 2,17 segundos para o caso de 5 pessoas utilizando o local. Assim sendo, foi necessário diminuir o tempo de reverberação no mínimo de 1 segundo. O tempo de reverberação para o caso com mais pessoas (25 usuários) do salão sem tratamento acústico é de 0,698 segundos, ou seja, está dentro da faixa ótima e por isso deve-se cuidar para este valor não sair do intervalo estipulado, com limite mínimo de 0,35 segundos.

Portanto, analisou-se um tipo de intervenção em que pudesse diminuir o tempo de reverberação do salão de festas. Uma alternativa razoável seria modificar o forro do salão de festas colocando um forro que tenha um coeficiente de absorção acústica maior que o forro de madeira. Além disso, esta alternativa é ponderável, pois forro de madeira dissipa fogo, e atualmente com as exigências de planos de prevenção de incêndios para os prédios, a modificação de um forro de madeira é algo plausível.

Entre os forros absorventes e marcas pesquisadas, o que foi escolhido foi o forro Thermatex Kombimentall Liso da empresa Knauf AMF (<http://www.knaufamf.com.br/wp-content/uploads/THERMATEX-Kombimetall-liso.pdf>), por se tratar de uma grande empresa alemã com expressiva parcela do mercado brasileiro em forros. Além disso, a empresa dispõe de ampla variedade de dados relacionados à acústica e o forro Kombimentall Liso tem um coeficiente de absorção acústica adequado para se tornar a solução do estudo de caso. A

Figura 18 ilustra o aspecto visual do forro absorvente Kombimentall Liso, sendo que o mesmo é do tipo forro aparente.

Figura 18 – Solução proposta de forro absorvente.



(fonte: Knauf Amf)

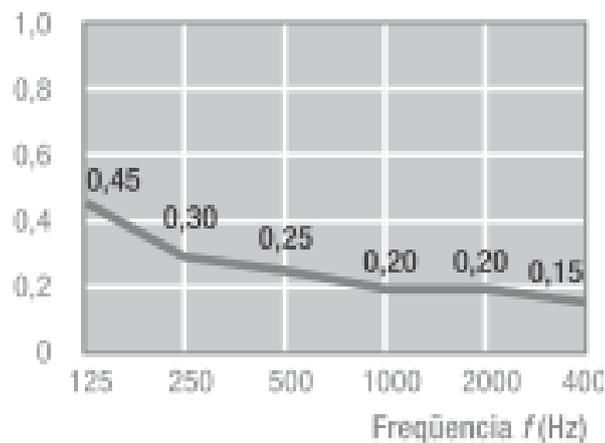
6.2.1 Cálculo do tempo de reverberação com a solução proposta

Para o cálculo do tempo de reverberação com o forro Thermanex Kombimentall Liso ao invés do forro original de madeira, faz-se necessário determinar o coeficiente de absorção acústica do novo forro, além da espessura do forro. O forro de madeira teoricamente necessitaria ser retirado para instalar o novo forro absorvente, e o forro proposto necessita de uma espessura de 22,1 cm para toda a estrutura (incluindo perfis, forro absorvente e junções) além da espessura do forro original. Ou seja, o forro seria rebaixado em 22,1 cm modificando assim o pé-direito e o volume do recinto. A nova altura do salão de festas com o forro absorvente instalado seria de 2,779 m e o novo volume de 117,32 m³. Como a variação de volume é

desprezível, os limites da faixa de tempo de reverberação ótima para 500 Hz continuam sendo de 0,35 segundos até 1,2 segundos.

O outro dado necessário do forro absorvente é o seu coeficiente de absorção acústica, o qual é fornecido pelo fabricante, conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19 – Coeficiente de absorção acústica do forro Kombimentall Liso.



(fonte: Knauf Amf)

Como a faixa de tempo de reverberação ótima é dada para 500 Hz, o coeficiente de absorção acústica do novo forro foi adotado como sendo 0,25.

O roteiro de cálculo do tempo de reverberação desenvolvido com o novo forro é o mesmo do roteiro desenvolvido no salão original, sem tratamento acústico, e explicitado no subcapítulo 5.5, com a utilização da equação de Sabine. A equação de Millington conforme algumas bibliografias recomendam, foi utilizada também, para verificar se os resultados foram coerentes.

A área superficial do novo forro foi considerada igual ao forro original, modificando no roteiro de cálculo apenas o coeficiente de absorção acústica do forro, o pé-direito e o volume do recinto.

Assim sendo, os novos resultados para o tempo de reverberação com o forro Thermatex Kombimentall Liso nos casos de 5, 10, 15, 20 e 25 pessoas são apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 – Tempo de reverberação do salão com a utilização do forro absorvente.

Modificado	Salão	T_a	
SABINE	5 pessoas	1,046	seg
	10 pessoas	0,833	seg
	15 pessoas	0,692	seg
	20 pessoas	0,592	seg
	25 pessoas	0,517	seg
Modificado	Salão	T_a	
MILLINGTON	5 pessoas	0,893	seg
	10 pessoas	0,693	seg
	15 pessoas	0,567	seg
	20 pessoas	0,479	seg
	25 pessoas	0,415	seg

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2.2 Considerações dos resultados para a solução do condicionamento acústico

Após uma análise dos resultados obtidos para o tempo de reverberação do recinto com o novo forro comparados com os resultados originais observa-se uma melhora, pois agora para todos os casos o tempo de reverberação fica dentro do intervalo ótimo de 0,35 segundos até 1,2 segundos. Além disso, utilizando ambos os métodos de cálculo Sabine e Millington obtiveram-se resultados satisfatórios.

Assim sendo, a solução proposta é satisfatória para o estudo de caso do condicionamento acústico, pois se ajustou perfeitamente no intervalo proposto pela NBR 12179 para a frequência de 500 Hz estudada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Problemas de desempenho acústico estão se tornando transtornos comuns vividos pelas pessoas residentes em prédios e condomínios. Estes transtornos derivam de ruídos excessivos dos apartamentos vizinhos ou salão de festas, e/ou a construção foi dimensionada estruturalmente sem atender os requisitos de desempenho acústico. Portanto, soluções que consigam minimizar estes ruídos são de fundamental importância.

Para que o projeto e/ou o tratamento acústico seja considerado adequado, é necessário que o mesmo englobe as duas grandes áreas da Acústica, que são o Condicionamento Acústico e o Isolamento Acústico. Não basta o recinto estar bem isolado se a acústica interna do local não estiver adequada e vice-versa, ou seja, não basta o condicionamento acústico estar adequado, se qualquer ruído produzido no exterior vazar para dentro do recinto ou ruídos produzidos no interior do recinto vazarem para fora do mesmo.

Neste contexto, como definido no segundo capítulo, o objetivo deste trabalho foi elaborar uma solução construtiva para eventuais problemas de condicionamento e isolamento acústico em um determinado estudo de caso (um salão de festas de um prédio residencial). Como objetivo secundário, pretendeu-se mostrar como o salão de festas se comporta em relação a alguns parâmetros acústicos sem nenhum tipo de tratamento sonoro realizado e após a realização do tratamento com a solução proposta.

Assim, concluiu-se que a solução elaborada de troca de janelas de vidros simples por janelas de vidros duplos para o isolamento acústico é interessante do ponto de vista construtivo, pois além de ser uma alternativa simples, sem modificação da estrutura, e relativamente barata, traz resultados satisfatórios, como mostraram os cálculos teóricos. Além disso, o prédio em questão é antigo, com projetos datados de 1986, e por isso as janelas de madeira de vários locais do prédio estão danificadas ou empenadas. Portanto, a troca de todas as janelas do prédio é inevitável a curto prazo, e por isso há a possibilidade de janelas de vidros duplos (6mm vidro simples + 20 mm de ar + 6 mm vidro simples) serem instaladas no salão de festas.

A solução construtiva proposta para o problema do condicionamento acústico do local foi a troca do forro, a qual obteve resultados ótimos para o tempo de reverberação na frequência de 500 Hz. Como mostrado nos cálculos, esta solução adequaria o salão de festas em termos de condicionamento tanto para eventos pequenos, com poucas pessoas, quanto para eventos maiores, com uma quantidade de pessoas próximas à capacidade máxima do salão. Contudo, na prática, esta troca de forro não possui uma relação custo x benefício razoável, pois além do custo do novo forro e da mão de obra para trocá-lo, o salão original sem tratamento acústico não apresenta um comportamento totalmente inadequado no que diz respeito ao tempo de reverberação, inclusive para um evento com 15 pessoas no recinto, por exemplo, o tempo de reverberação já é adequado. Apenas para eventos menores o condicionamento não estaria sendo atendido.

Assim, constatou-se que o principal problema do salão de festas estudado era relacionado à área de isolamento acústico. E, neste sentido, foi mostrado que as soluções propostas tiveram resultados satisfatórios e podem ser consideradas intervenções adequadas para melhorar o desempenho acústico do salão de festas estudado.

Por fim, seria interessante que as soluções construtivas propostas fossem efetivamente realizadas no local estudado, por isso, serão apresentados os dois tipos de intervenção aos condôminos do prédio para verificar se gostariam de realizar tais modificações e assim deixar o salão de festas adequado em termos acústicos. Se as intervenções forem efetivamente realizadas, seria interessante constatar se os valores calculados se assemelham com os valores reais medidos no recinto após as intervenções.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 10.152**: níveis de ruído para conforto acústico – procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 12.179**: tratamento acústico em recintos fechados – procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 10.151**: acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 15.575-4**: edificações habitacionais – desempenho parte 4 – requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 1**, de 8 de março de 1990. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Brasília, 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>>. Acesso em: 16 nov. 2015.

CORNACCHIA, G. M. M. **Investigação in situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92430/268349.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 nov. 2015.

COSTA, E. C. **Acústica técnica**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2003.

DIVINAL VIDROS, **Produtos**. 2016. Disponível em: <<http://www.divinalvidros.com.br/produtos/duplo-insulado/>>

FERREIRA, T. **Coefficientes de absorção sonora**. 2015. Disponível em: <<http://logacustica.com/coeficientes-de-absorcao-sonora-sound-absorption-coefficients/>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

GIACAGLIA, G. E. O. **Absorção de energia sonora**. 2002. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/resumodefisica/acustica/acu08.html>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

KNAUF AMF, **Fichas técnicas de produtos**. 2015. Disponível em: <<http://www.knaufamf.com.br/profissional/download/fichas-tecnicas/>>

MARROS, F. **Caracterização acústica de salas para prática e ensino musical**. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MIGUEL, L. F. F.; TAMAGNA, A. **Tópicos de acústica aplicada**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

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. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/diss_miguel_angelo_teixeira_pedroso.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2015.

PEREYRON, D. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2413>. Acesso em: 09 nov. 2015.

SANTOS NETO, N. A. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SCHERER, M. J. **Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras em vitragem simples e dupla**. 2005. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, 2005.

SILVA, D. T. **Estudo da isolação sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas**. 2000. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, 2000.

APÊNDICE A – Gráfico da perda por transmissão de parede simples