

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

JEAN VINÍCIUS GESUATTO

**TRATAMENTO ACÚSTICO PARA FINS DE REDUÇÃO DO RUÍDO INTERNO
EM TEMPLOS RELIGIOSOS**

LONDRINA

2025

JEAN VINÍCIUS GESUATTO

**TRATAMENTO ACÚSTICO PARA FINS DE REDUÇÃO DO RUÍDO INTERNO
EM TEMPLOS RELIGIOSOS**

**Acoustic treatment for the purpose of reducing internal noise in religious
temples**

Monografia apresentada à Universidade
Tecnológica Federal do Paraná, como requisito
parcial para a obtenção do título de Especialista
em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Orientador: Prof. Édipo Henrique da Silva

LONDRINA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JEAN VINÍCIUS GESUATTO

**TRATAMENTO ACÚSTICO PARA FINS DE REDUÇÃO DO RUÍDO INTERNO
EM TEMPLOS RELIGIOSOS**

Monografia apresentada à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Data de aprovação: 07 de abril de 2025.

Orientador: Prof. Édipo Henrique da Silva
Especialização

Prof. Rogério Grahl
Especialização

Prof. Wilson Aparecido da Silva
Mestrado

LONDRINA

2025

Dedico este trabalho aos meus avós paternos, Primo e Júlia, pela criação, pela oração e por serem responsáveis pelo meu êxito profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a Jesus e ao Espírito Santo, pela vida, pela saúde, pelo cuidado sobre minha vida e de minha família, pelo discernimento e sabedoria em cada momento do curso, e por me ajudar no equilíbrio entre estudos, trabalho e minha família, que é o que tenho de mais precioso na vida.

Agradeço a minha esposa Ana, por ser tão forte e sábia, me apoiando em momentos de dificuldade e abrindo mão muitas vezes do nosso tempo em família para que meus estudos avançassem, a minha filha Alicia por ser meu maior presente, que em todos os momentos, me deu amor e revigorando o ânimo de alcançar o objetivo.

Agradeço ao meu orientador, professor Édipo, a professora Suely e a todos os professores que com carinho e dedicação me fizeram avançar e aprender bases fortes que levarei para minha vida profissional, pela amizade que levarei no coração por todos meus dias, todos vocês foram de extrema importância e conquistaram minha admiração pelo amor ao ensino e pelas pessoas maravilhosas que são.

A gratidão é e sempre será a base de tudo, a todos vocês o meu muito obrigado!

“Não podemos prever o futuro, mas podemos criá-lo” (Peter Drucker).

RESUMO

No século XXI uma das grandes questões relacionadas à saúde e ao bem-estar humano nos centros urbanos é a poluição sonora. Devido a isto, há necessidade de estudos que revelem as fontes de geração deste tipo de poluição e criar ferramentas para eliminar ou tratar os ruídos a fim de minimizar seus impactos aos indivíduos que convivem nesses ambientes. Os templos religiosos, geralmente, por apresentarem um isolamento acústico inadequado e tratamento acústico ineficiente representam uma das fontes de geração de poluição sonora e de ruído excessivo para pessoas que estão presentes nestes ambientes. Na ótica da Segurança do Trabalho, as fontes de poluição sonora e os níveis de ruído internos, representam riscos ocupacionais aos trabalhadores do templo e seus membros. Diante disto, o objetivo do presente estudo é realizar a análise o condicionamento acústico de um templo religioso e apresentar ferramentas para melhoria do seu desempenho, a fim de reduzir ruídos e mitigar seus riscos ocupacionais. A metodologia utilizada neste estudo consistiu em uma pesquisa bibliográfica que levantou fontes científicas sobre a temática. Também foi desenvolvido estudo prático em templo religioso em um município da região do norte do Paraná. Após a realização deste estudo verificou-se que em muitos templos religiosos são considerados fonte de geração de poluição sonora e de ruído excessivo, pois, a produção de ruídos ultrapassa os níveis de critérios de avaliação dispostos na NBR 10151, que determina que seja entre 40 e 50 Db. Destacou-se que para manter o ruído em um limite de tolerância estabelecido pelas normas técnicas vigentes são necessárias algumas medidas de mitigação como o estudo de seu comportamento acústico, ações para corrigir suas deficiências e instigar ações preventivas. No estudo prático constatou-se que para diminuir os níveis de pressões sonoras internas do templo e conseqüentemente os ruídos externos durante os cultos, se faz necessário a melhoria do condicionamento acústico do templo, com dispositivos absorvedores acústicos adequados e difusores das ondas sonoras, diminuindo o tempo de reverberação e os ruídos internos conforme estabelecido na NBR 10152.

Palavras-chaves: Segurança do Trabalho; Acústica; Igreja; Som.

ABSTRACT

In the 21st century, one of the major issues related to human health and well-being in urban centers is noise pollution. Because of this, there is a need for studies that reveal the sources of this type of pollution and create tools to eliminate or treat noise in order to minimize its impacts on individuals who live in these environments. Religious temples, due to inadequate acoustic insulation and inefficient acoustic treatment, generally represent one of the sources of noise pollution and excessive noise for people who are present in these environments. From the perspective of Occupational Safety, the sources of noise pollution and internal noise levels represent occupational risks to temple workers and their members. In view of this, the objective of this study is to analyze the acoustic conditioning of a religious temple and present tools to improve its performance, in order to reduce noise and mitigate its occupational risks. The methodology used in this study consisted of bibliographical research that raised scientific sources on the subject. A practical study was also developed in a religious temple in a municipality in the northern region of Paraná. After conducting this study, it was found that many religious temples are considered sources of noise pollution and excessive noise, since the noise production exceeds the levels of the evaluation criteria established in NBR 10151, which determines that it should be between 40 and 50 dB. It was highlighted that in order to keep the noise within a tolerance limit established by the current technical standards, some mitigation measures are necessary, such as the study of its acoustic behavior, actions to correct its deficiencies and instigate preventive actions. In the practical study, it was found that in order to reduce the internal sound pressure levels of the temple and consequently the external noises during services, it is necessary to improve the acoustic conditioning of the temple, with adequate acoustic absorbing devices and sound wave diffusers, reducing the reverberation time and internal noises as established in NBR 10152.

Keywords: Occupational Safety; Acoustics; Church; Sound.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CMA	Comissão de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
dB	Decibéis
Leq	Nível sonoro contínuo equivalente
L10	Nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medida efetiva
L50	Nível de pressão sonora excedido em 50% do tempo de medida efetiva
L90	Nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo de medida efetiva
Lmax	Pressão sonora máxima registrada
Lmin	Pressão sonora mínima registrada
NIS	Nível de intensidade Sonora
NPS	Nível Pressão Sonora
OMS	Organização Mundial da Saúde
REW	<i>Room EQ Wizard</i>
RT	Tempo de reverberação
STI	Índice de Transmissão da Fala

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala de decibéis conforme a pressão sonora	23
Figura 2 - Sonômetro, unidade de medida é o decibel (dB)	23
Figura 3 - Fenômenos da acústica no ambiente.....	24
Figura 4 - Comportamento das ondas sonoras no ambiente	25
Figura 5 - Reflexão do som no ambiente	25
Figura 6 - Refração sonora.....	26
Figura 7 - Difração sonora.....	27
Figura 8 - Princípios da Ressonância sonora.....	28
Figura 9 - Homem correndo na ponte durante oscilação	29
Figura 10 - Soluções decorativas para melhoria acústica	30
Figura 11 -Soluções projetadas para tratamento acústico.....	31
Figura 12 - Diferença entre reverberação e eco.....	32
Figura 13 - Reflexões sucessivas em um ambiente – reverberação.....	33
Figura 14 - Inteligibilidade	35
Figura 15 - Parâmetros base para classificação da inteligibilidade da fala nos ambientes	36
Figura 16 - Medidor de distância laser	42
Figura 17 - Sonômetro	43
Figura 18 - Interface de áudio M-áudio – Fast Track Pro	44
Figura 19 - Microfone de medição	44
Figura 20 - Gráfico de frequência plana e omnidirecional.....	44
Figura 21 - Pontos das medições utilizando o Sonômetro 01dB.....	45
Figura 22 – Aferição de nível de pressão sonora.....	46
Figura 23 - Ponto 1 Gráfico de espectro	47
Figura 24 - Ponto 2 Gráfico de espectro	47
Figura 25 - Ponto 3 Gráfico de espectro	48
Figura 26 - Ponto 4 Gráfico de espectro	48
Figura 27 - Tabela de resultados do ponto 1	49
Figura 28 - Tabela de resultados do ponto 2	49
Figura 29 - Tabela de resultados do ponto 3	50
Figura 30 - Tabela de resultados do ponto 4	50
Figura 31 - Ponto 3 Gráfico de espectro (palavra falada)	51

Figura 32 - Ponto 4 Gráfico de espectro (palavra falada)	52
Figura 33 - Tabela de resultados do ponto 3 palavra falada	52
Figura 34 - Tabela de resultados do ponto 3 palavra falada	53
Figura 35 - Ponto 5 Gráfico de espectro (sala de som).....	53
Figura 36 - Tabela de resultados do ponto 5 (sala de som)	54
Figura 37 - Valores de referência para ambientes internos de uma edificação de acordo com as suas finalidades de uso	55
Figura 38 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente	55
Figura 39- Sonômetro	57
Figura 40 - Ω- Equação de Sabine	57
Figura 41 - Tabela de tempo ótimo de reverberação.....	58
Figura 42 - Dodecaedro Speaker.....	58
Figura 43 - Microfone RTA.....	59
Figura 44 - Resultado obtidos na aferição 1	60
Figura 45 - Gráfico das frequências da aferição 1.....	60
Figura 46 - Pontos de aferição com microfone RTA e decibelímetro	61
Figura 47 - Estampido ideal capturado no templo religioso condição atual P1 (frente a esquerda).....	62
Figura 48 - Estampido ideal capturado no templo religioso condição atual P2 (frente a direita).....	62
Figura 49 - Frequências e tempo de reverberação no ponto 1.....	63
Figura 50 - Frequências e tempo de reverberação no ponto 2.....	64
Figura 51 - Estampido ideal capturado no templo religioso condição atual P3 (fundo a esquerda).....	64
Figura 52 - Estampido ideal capturado no templo religioso condição atual P4 (fundo a direita).....	65
Figura 53 - Frequências e tempo de reverberação no ponto 3.....	66
Figura 54 - Frequências e tempo de reverberação no ponto 4.....	66
Figura 55 - Conversão de dados T20 e T30 para parâmetros T60 ou RT60 ...	67
Figura 56 - Cálculo do volume do ambiente	68
Figura 57 - Tabela de Tempo Ótimo de Reverberação NBR12179	69
Figura 58 - Painéis Acústicos Absorvedores	70
Figura 59 - Painéis Acústicos Difusores de onda	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das ondas sonoras de acordo com a frequência .. 22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
2.1 Fundamentação Teórica	18
2.2 Análise de estudos de caso existentes	18
2.3 Simulações Computacionais	19
2.4 Equipamentos e ferramentas utilizados	19
2.5 Estrutura para proposta de soluções	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 Características gerais do som	20
3.1.1 Ondas sonoras, suas frequências e período.....	21
3.1.2 Intensidade sonora.....	22
3.1.3 Comportamento das ondas sonoras	23
3.1.4 Reflexão do som	25
3.1.5 Refração sonora.....	26
3.1.6 Difração sonora	26
3.1.7 Ressonância	27
3.1.8 Reverberação e eco.....	31
3.1.9 Inteligibilidade	34
3.2 Acústica em templos religiosos	37
4 ESTUDO PRÁTICO DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM TEMPLOS RELIGIOSOS	41
4.1 Características construtivas do templo	41
4.2 Características acústicas do templo	41
4.3 Levantamento de dados	42
4.4 Resultados Obtidos	45
4.4.1 Níveis de intensidade	45
4.4.2 Tempo de reverberação	56
4.5 Solução Proposta	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

O estudo da acústica é um ramo da física que estuda o som, sua criação, o meio de propagação e a recepção do som e tem sido uma importante ferramenta para tratar uma série de questões ligadas a saúde e bem-estar das pessoas (ALMEIDA; SILVA, 2005).

Um dos itens que está presente na maioria dos estudos e projetos da arquitetura, engenharia, medicina e outras ciências, é o conforto acústico, já que a acústica afeta diretamente a nossa capacidade de descansar, relaxar, trabalhar e desfrutar de um ambiente sem distrações e com maior nível de concentração. A ausência do conforto acústico pode causar problemas à saúde, como danos à audição, dores de cabeça, distúrbios do sono, estresse entre outros.

Conforto acústico pode ser definido como a sensação de bem-estar auditivo que se tem em um ambiente, é alcançado através do uso estratégico de materiais que absorvem, refletem e controlam as frequências sonoras, reduzindo a reverberação, melhorando a clareza sonora e tornando o ambiente agradável e harmonioso (HIRASHIMA; ASSIS, 2017).

Destaca-se ainda que o padrão arquitetônico tem uma grande influência na acústica de um ambiente, e o comportamento do som pode ser afetado de acordo com os materiais, móveis e decorações nele presentes, ausência de materiais absorvedores e difusores torna o ambiente propício para as sobras harmônicas e reverberação.

A NBR10151, NBR10152, NBR12179, NBR15575 e na NR-15 determinam normas que balizam e tratam de questões muito importantes para a saúde de seus usuários. Já a NR-17 determina que “nos locais de trabalho em ambientes internos onde são executadas atividades que exijam manutenção da solicitação intelectual e atenção constantes, devem ser adotadas medidas de conforto acústico e de conforto térmico” (NR-17 item 17.8.4). Além disto, esta norma também trata dos níveis máximos de pressão sonora para os ambientes para garantir a integridade auditiva e o conforto acústico de seus usuários (NR-17 item 17.8.4.1.1).

Portanto, para assegurar a redução de riscos ocupacionais que possam afetar a saúde e o bem-estar de indivíduos que frequentam os templos religiosos faz-se necessário que a acústica nestes ambientes esteja em conformidade com as normas supracitadas. Também é necessário investigar ferramentas que contribuam para mitigar e controlar a propagação do som no ambiente.

Para garantir a saúde física, mental e bem-estar dos trabalhadores e de usuários é extremamente importante o estudo da acústica e seus efeitos, não apenas em ambientes laborais, mas também em ambientes de descanso, aprendizado, reuniões e em templos religiosos, como é o objetivo proposto neste estudo.

Em geral, os templos religiosos têm um tempo de reverberação alto, o que prejudica diretamente a inteligibilidade naquele local. Muitas vezes, para tentar compensar a inteligibilidade baixa no ambiente, aumenta-se a intensidade do som, piorando ainda mais a situação. Um projeto de acústica adequado ajuda a reduzir a pressão sonora gerada pelas igrejas. Se os frequentadores conseguem entender com clareza o que está sendo falado ou cantado, a necessidade de intensidade sonora dentro da igreja será menor (RANGEL, 2009).

Outro aspecto a ser destacado é que em templos religiosos, existem as bandas compostas por músicos, que em alguns templos são contratados para equipe conhecida como ministério de louvor, para realizarem os louvores com hinos e cânticos. Na perspectiva da Segurança do Trabalho estes músicos podem ser considerados como pessoas que realizam um trabalho e, neste sentido, podem ser tratados como trabalhadores que estão expostos a riscos ocupacionais de fontes sonoras.

Diante disto, a justificativa para o desenvolvimento desta pesquisa é porque possibilita entender com clareza quais os parâmetros para melhorar o desempenho acústico em templos religiosos, contribuindo para redução de riscos ocupacionais, pois, a exposição contínua ou intermitente a ruídos pode gerar perda na qualidade de desempenho do trabalhador, comprometendo a sua qualidade de vida e saúde, incluindo acometimentos por adoecimentos e acidentes de trabalho.

Em face disto, o objetivo geral deste estudo é a análise do condicionamento acústico de um templo religioso e apresentar ferramentas para melhoria do seu

desempenho, a fim de reduzir ruídos e mitigar seus riscos ocupacionais. Os objetivos específicos são: Identificar o comportamento acústico da igreja, materiais utilizados na construção, materiais difusores e absorvedores existentes; Caracterizar que variáveis influenciam no seu condicionamento acústico e se estão de acordo com a normas pertinentes; Apresentar tecnologias e ferramentas eficazes tratar as deficiências acústicas causadas pela sua arquitetura, trazendo equilíbrio das frequências sonoras presentes no interior do ambiente, controlando suas reflexões e sobras harmônicas com a utilização de soluções acústicas, dispositivos absorvedores e difusores acústicos instalados em locais estratégicos.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e prática, por meio de análise técnica baseada em estudos existentes, com o objetivo de avaliar questões relacionadas à acústica em espaços de templos religiosos. A pesquisa abordou elementos como pressão sonora, condicionamento acústico, tempo de reverberação, uso de materiais absorvedores e reflexivos, inteligibilidade e identificação de falhas no condicionamento acústico.

2.1 Fundamentação Teórica

A fundamentação do trabalho será baseada em bibliografias científicas, normas técnicas e artigos especializados que abordam a acústica em edificações de grande porte, particularmente templos religiosos. Foram consultadas as normas regulamentadoras NR-15, NR-17, NBR 10151, NBR 10152, NBR12179 e NBR 15575.

2.2 Análise de estudos de caso existentes

Como alternativa à pesquisa de campo, foi realizada uma análise comparativa de estudos de caso descritos na literatura, em templos com características semelhantes às apresentadas na introdução do trabalho. Essa etapa incluirá:

- Caracterização das dimensões e materiais típicos encontrados nesses espaços;
- Identificação de soluções propostas por outros autores para problemas acústicos similares;
- Análise de equipamentos sonoros e sistemas de equalização descritos em casos já documentados.

2.3 Simulações Computacionais

Foram realizadas simulações acústicas utilizando *softwares* especializados como o *Room EQ Wizard* (REW), para análise acústica de salas, ferramentas estas que permitirão a análise de parâmetros, como tempo de reverberação, comportamento das ondas sonoras e quais são as frequências ressoam por mais tempo no ambiente estudado, sempre baseados nos dados fornecidos pela literatura.

2.4 Equipamentos e ferramentas utilizados

Para a realização das simulações, foram considerados os seguintes equipamentos e ferramentas digitais:

- *Softwares* de análise acústica (REW);
- Dados hipotéticos baseados em padrões normativos e estudos publicados;

Configurações de sistemas de áudio, como mesas de som e alto-falantes amplificados, com especificações técnicas baseadas em modelos amplamente utilizados no mercado.

2.5 Estrutura para proposta de soluções

Com base nos resultados das análises e simulações, foram sugeridas soluções práticas para otimização acústica em templos religiosos, priorizando:

- Recomendações sobre materiais para revestimento e absorção sonora;
- Recomendações sobre a utilização de difusores de onda sonora;
- Estratégias de reposicionamento de equipamentos sonoros;
- Indicações para melhoria da inteligibilidade nos cultos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta sessão tem como proposta, apresentar uma base teórica sobre a características gerais do som, a importância da qualidade da fonte sonora, da emissão e propagação do som no ambiente e do seu tratamento acústico, através desses conceitos atender os itens estabelecidos pelas normas, para maior clareza sonora e para o conforto de seus ouvintes.

3.1 Características gerais do som

O som é uma vibração que se propaga num meio físico (sólido, líquido ou gasoso) com uma frequência entre 20Hz e 20KHz, frequência essa que é capaz de ser percebida pelos ouvidos humanos, após sua emissão o som se propaga em todas as direções de forma linear e pode ser classificado de acordo com a suas frequências.

Sobre a propagação do som, Souza (2003, p.1) ressalta:

As vibrações sonoras são transmitidas ao meio que circunda o corpo sonoro (fonte sonora), produzindo compressões e distensões sucessivas, que se propagam com velocidade uniforme em todas as direções, se a propriedade elástica do meio é igual em todos os seus pontos, isto é, se o meio é isótropo. O som, portanto, se propaga por meio de impulsos ocasionados ao meio, em torno do corpo sonoro, os quais provocam deformações transitórias que se movimentam longitudinalmente, de acordo com a onda de pressão criada.

A citação acima aborda de forma técnica a propagação das vibrações sonoras, explicando como elas interagem com o meio ao redor da fonte sonora. A descrição evidencia que as compressões e distensões geradas no meio dependem de suas propriedades elásticas, destacando a isotropia como um fator que garante a uniformidade da propagação em todas as direções. A menção ao deslocamento longitudinal das ondas sonoras reforça o caráter dinâmico do som, que se comporta como uma onda de pressão que deforma temporariamente o meio durante sua propagação.

3.1.1 Ondas sonoras, suas frequências e período

A onda sonora é uma perturbação mecânica que se propaga em um meio material, como o ar, a água ou um sólido, transportando energia e informações, tem suas variantes de acordo com a sua frequência e seu período, ou seja, baixas frequências geram os sons mais graves e quanto maior a frequência mais agudo o som fica. Sons com frequência abaixo de 20 Hz são chamados de infrassom e acima de 20KHz chamados de ultrassom, a percepção aos ouvidos humanos nas regiões de maior frequência (sons agudos) tendem a diminuir com o envelhecimento. (STINGLIN,2017). Existe uma relação entre frequência sonora e faixa etária, conforme se verifica abaixo:

- Pessoas na faixa dos 20 anos conseguem ouvir até 17.000 Hz ou mais.
- Pessoas na faixa dos 30 anos conseguem ouvir até 16.000 Hz.
- Pessoas na faixa dos 50 anos conseguem ouvir até 12.000 Hz.

A relação entre a frequência sonora e o envelhecimento auditivo é ilustrada de forma simples e clara, mostrando como a capacidade de percepção de altas frequências diminui com a idade, o que é explicado pela perda gradual de células ciliadas na cóclea. Esses dados reforçam a importância de proteger a audição ao longo da vida para minimizar essa perda natural e mostram a relevância do som tanto na comunicação quanto em aplicações tecnológicas (SOUZA, 2003).

As frequências mais altas, com maior número de oscilações temporais, correspondem aos sons mais agudos, enquanto as frequências mais baixas, com menor número de oscilações temporais, aos sons mais graves (CARVALHO, 2011).

O Quadro 1 classifica as frequências sonoras em categorias, destacando sua percepção pelo ouvido humano. Frequências abaixo de 20 Hz (infrassons) e acima de 20.000 Hz (ultrassons) não são audíveis. Baixas frequências produzem sons graves, médias geram sons médios, e altas frequências resultam em sons agudos. Essa organização facilita a compreensão das características do som e sua relação com a audição humana.

Quadro 1 - Classificação das ondas sonoras de acordo com a frequência

Categoria	Frequência	Descrição
Infrassons	Abaixo de 20 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano
Baixas Frequências	De 20 a 200 Hz	Sons graves
Médias Frequências	De 200 a 2.000 Hz	Sons médios
Altas Frequências	De 2.000 a 20.000 Hz	Sons agudos
Ultrassons	Acima de 20.000 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano

Fonte: CARVALHO (2011)

3.1.2 Intensidade sonora

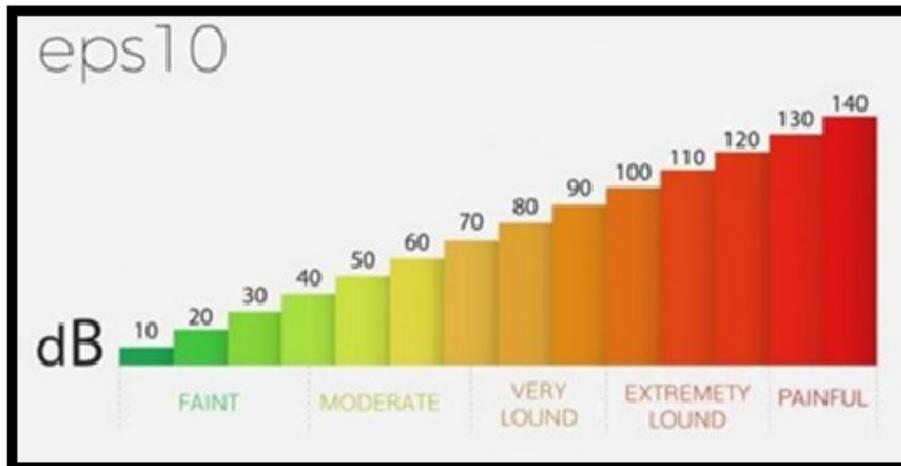
Intensidade do som é a quantidade de energia que as ondas sonoras transferem, através de uma área durante o intervalo de tempo de um segundo, o Bel é sua unidade de intensidade física relativa ao som, o Decibéis (dB) é a unidade mais comum nas medições de nível pressão sonora (NPS) (Figura 1) e Nível de intensidade Sonora (NIS), 1 Decibel é igual a decima parte de um Bel (0,1 Bel) (STINGLIN,2017).

A diferença de pressão sonora vem da amplitude de vibração da onda emitida, quanto maior a amplitude da onda, maior a pressão que a onda exercerá no ar. Isso faz com que os nossos tímpanos vibrem de maneira mais intensa.

O ouvido humano é capaz de suportar sons dentro de uma faixa de 0 a 90 dB NPS. Acima disto, os sons se tornam desconfortáveis e dolorosos, podendo ser lesivos e destrutivos ao se aproximarem de 130 dB NPS (NUNO,2022).

A Figura 1 mostra a escala em decibéis.

Figura 1 - Escala de decibéis conforme a pressão sonora



Fonte: VECTORSTOCK (2021)

O Sonômetro (Figura 2), também conhecido como decibelímetro ou medidor de pressão sonora, é um equipamento utilizado para medir a intensidade do som do ambiente correlacionando o valor obtido à sensação auditiva humana (FERRAZ, 2024).

Figura 2 - Sonômetro, unidade de medida é o decibel (dB)



Fonte: LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL (2020)

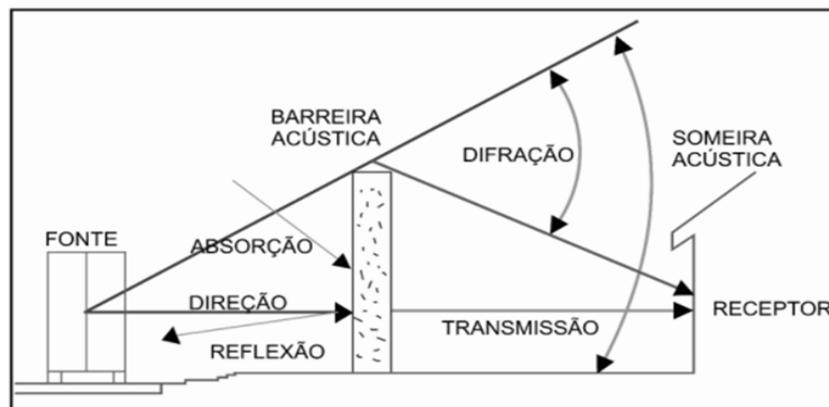
3.1.3 Comportamento das ondas sonoras

As ondas sonoras emitidas tendem a se propagar em linha reta em uma ou mais direções até que encontrem um obstáculo (Figura 3). Esses obstáculos podem mudar o comportamento das ondas sonoras de acordo com suas características construtivas, materiais reflexivos, difusores ou absorvedores que são responsáveis pela mudança de comportamento do som em um ambiente. Quando se precisa de

uma sala equilibrada acusticamente, se faz necessária a correta combinação desses materiais. A refração, a difração, ressonância e a transmissão parcial também são fenômenos que alteram o comportamento da onda sonora (STINGLIN, 2017).

A Figura 3 ilustra os fenômenos da acústica.

Figura 3 - Fenômenos da acústica no ambiente



Fonte: Aatoria (2025)

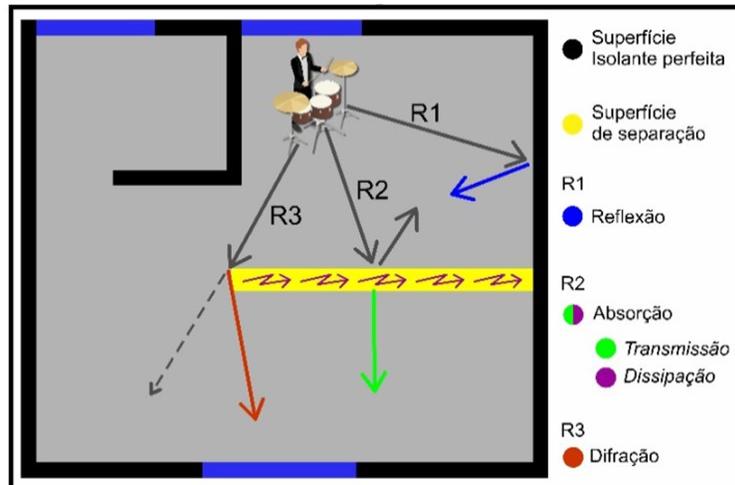
Conforme De Marco (1982, p.27), sobre o comportamento da onda:

Quando a onda de pressões sonoras encontra um obstáculo – por exemplo, uma parede –, o choque que se segue ao nível molecular faz com que parte de sua energia volte em forma de uma onda de pressões refletidas e que o resto produza uma vibração das moléculas do novo meio, o que, visto de fora, é como se a parede “absorvesse” parte do som incidente. Parte dessa energia de vibração das moléculas da parede será dissipada sob a forma de calor, devido a atritos que as moléculas enfrentam no seu movimento ondulatório; outra parte voltará ao primeiro meio, somando-se com a onda refletida, e o resto da energia contida na vibração da própria parede produzirá a vibração do ar do lado oposto, funcionando a parede como uma nova fonte sonora que criará uma onda sonora no terceiro meio.

Na citação acima, o autor aborda o comportamento das ondas sonoras ao encontrar um obstáculo, explicando os fenômenos de reflexão, absorção e transmissão. A reflexão ocorre quando parte da energia retorna ao meio original, enquanto a absorção transforma energia sonora em calor devido ao atrito molecular.

Já a transmissão ocorre quando a energia atravessa o obstáculo, criando uma onda sonora no meio oposto (Figura 4). Essa explicação é fundamental para compreender a acústica de ambientes e como materiais e superfícies influenciam a propagação do som, sendo especialmente relevante em projetos de controle acústico.

Figura 4 - Comportamento das ondas sonoras no ambiente

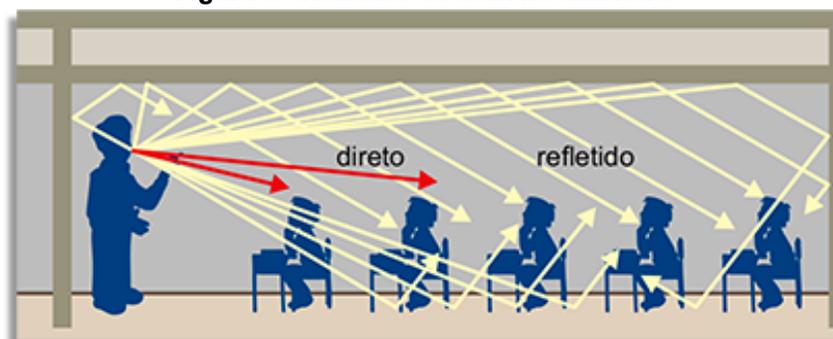


Fonte: Adaptado de De Marco (2024)

3.1.4 Reflexão do som

A reflexão sonora (Figura 5) é um fenômeno que acontece quando uma onda sonora encontra um obstáculo com características reflexivas como os tetos e paredes de alvenaria, madeiras maciças, vidro e retorna para o meio de onde se propagava. A reflexão do som segue as mesmas leis da reflexão da luz (PAZOS, 2015).

Figura 5 - Reflexão do som no ambiente

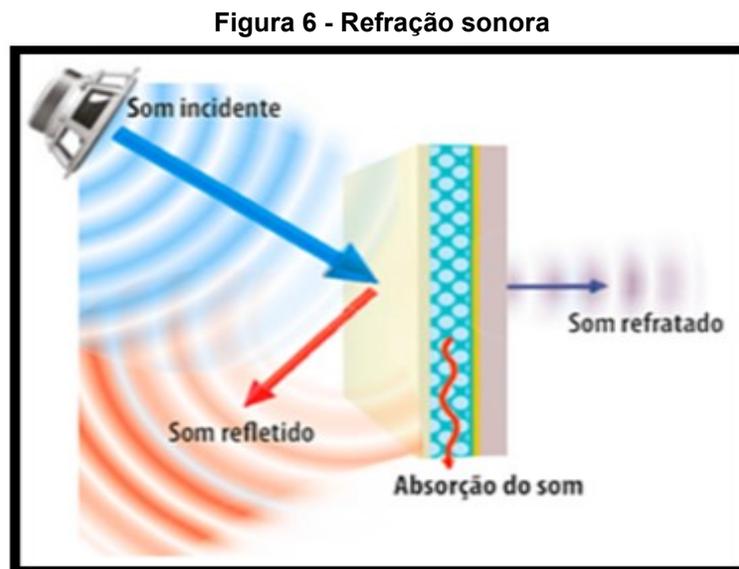


Fonte: PORTAL DA ACÚSTICA (2024)

A reflexão do som pode dar origem a outros dois fenômenos: o eco e a reverberação. O eco ocorre quando o som refletido retorna depois que o som original já se extinguiu. A reverberação acontece quando o intervalo de tempo entre a chegada dos sons ao ouvido é menor que 0,1 segundo.

3.1.5 Refração sonora

Refração do som (Figura 6) é a mudança de direção que uma onda sonora sofre quando passa de um meio de propagação para outro. Essa alteração de direção é causada pela brusca variação da velocidade de propagação que sofre a onda (CARVALHO, 2010).

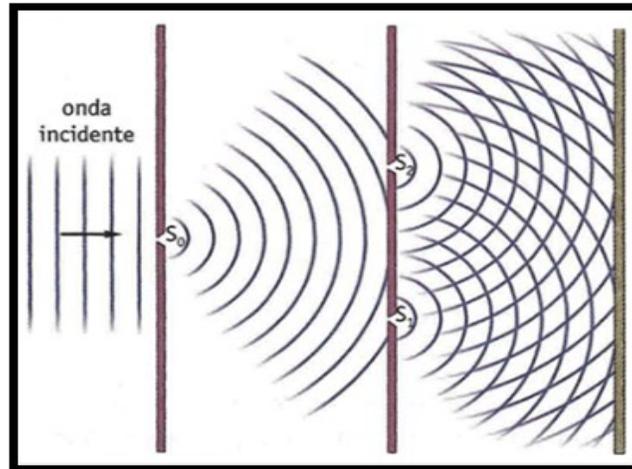


Fonte: TIMM (2020)

3.1.6 Difração sonora

Difração do som Difração do som (Figura 7) é a propriedade que uma onda sonora possui de transpor obstáculos posicionados entre a fonte sonora e a recepção, mudando sua direção e reduzindo sua direção, conforme representação na figura 6 (CARVALHO, 2010).

Figura 7 - Difração sonora



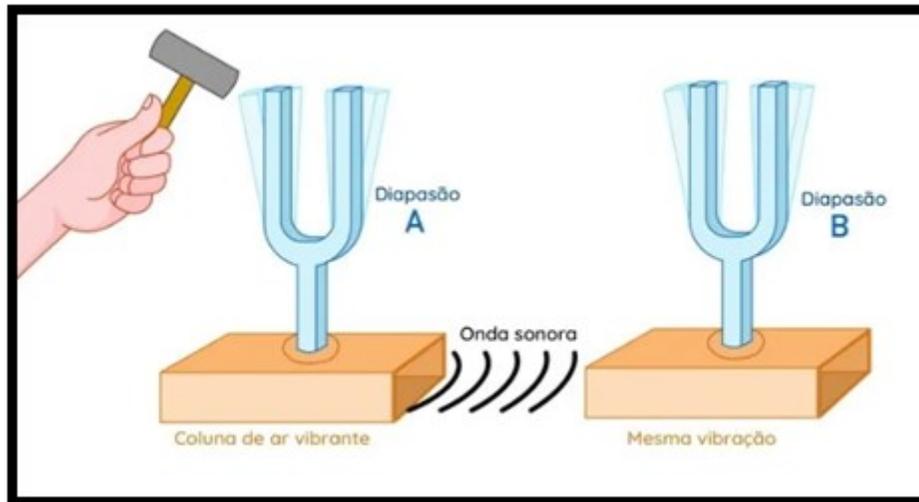
Fonte: TIMM (2020)

A difração do som ocorre devido à capacidade das ondas sonoras de contornar obstáculos ou atravessar pequenas aberturas, propagando-se além do objeto que obstrui sua trajetória direta. Esse fenômeno é mais perceptível em sons de baixa frequência, pois possuem maiores comprimentos de onda, o que facilita sua interação com obstáculos. Esse efeito é fundamental na acústica, pois explica como o som pode ser ouvido em locais onde não há uma linha direta entre a fonte sonora e o receptor, contribuindo para o entendimento de problemas acústicos em ambientes fechados e abertos.

3.1.7 Ressonância

Ressonância sonora (Figura 8) é o fenômeno que ocorre quando a frequência de uma onda sonora emitida é muito próxima à frequência de oscilação natural de um receptor, ou seja, é a vibração de um corpo por influência de outro que está na mesma frequência.

Figura 8 - Princípios da Ressonância sonora



Fonte: Timm (2020)

A ressonância é um fenômeno de extremo interesse para a Arquitetura e a Engenharia, áreas que estudam as vibrações das estruturas projetadas e construída. Por isso, calcula-se a frequência que atua sobre os materiais utilizados, como as ferragens e o concreto por ter relação com o conforto acústico e o silêncio do ambiente.

A queda da ponte de Tacoma Narrows foi um evento muito estudado, inaugurada em 1º julho de 1940, e entrou em colapso 4 meses e seis dias após sua inauguração. Este fato coloca em ênfase duas teorias, a do fenômeno linear e da ressonância mecânica, listados por alguns livros de física como Halliday e Tipler e o fenômeno das forças não lineares (Figura 9).

Sobre o incidente Castro *et al.* (2019, p.12) afirmam que:

No dia do desabamento fomenta que a ponte foi atingida por rajadas de ventos de 60km/h à 70km/h, onde a amplitude máxima das vibrações de torção foi de 35°, e a frequência de ressonância foi de aproximadamente 0,2 Hz, a mesma desmoronou causando uma queda de seção de mais de 600m em apenas 10 minutos.

Figura 9 - Homem correndo na ponte durante oscilação



Fonte: CASTRO et al. (2019)

A ressonância na acústica pode ser causada por imperfeições da arquitetura do ambiente e mesmo que algumas frequências que ressoam favoreçam regiões da voz ou instrumentos ela pode afetar negativamente o comportamento das ondas sonoras e suas reflexões. O tratamento acústico é o método eficaz para controlar as frequências em um ambiente, para reduzir a ressonância e melhorar a qualidade do som em um ambiente. Pode-se utilizar difusores ou materiais absorvedores como carpetes, tapete, cortinas ou até mesmo soluções projetadas como os painéis acústicos (Figura 10) (COSTA, 2003).

Figura 10 - Soluções decorativas para melhoria acústica



Fonte: Pyt Audio (2024)

Sobre as ressonâncias acústicas Costa (2003, p.16) afirma que:

A aplicação da ressonância na acústica dos ambientes consiste no reforço de algumas ondas sonoras competentes da voz e da música, por meio de ressonadores (painéis vibrantes, palcos, recipientes, etc.). Entretanto, é importante salientar que o fenômeno da ressonância dá origem à formação de ondas estacionárias que podem vir a prejudicar a acústica dos ambientes.

Contudo, Costa (2003) alerta que o fenômeno também pode gerar ondas estacionárias, que, ao se acumularem, prejudicam a qualidade acústica ao criar pontos de interferência e desigualdade na distribuição sonora. Esse equilíbrio é essencial no design acústico (Figura 11).

Figura 11 -Soluções projetadas para tratamento acústico



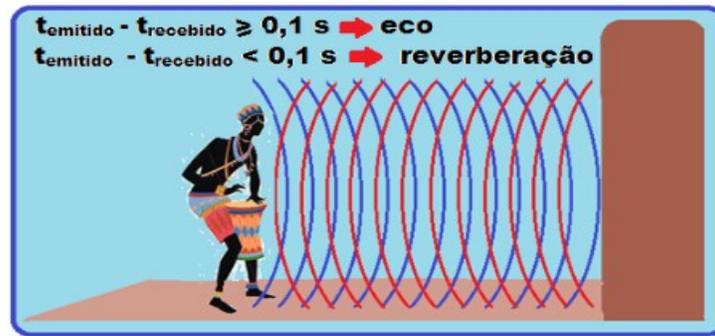
Fonte: PYT AUDIO (2024)

O equilíbrio é essencial no design acústico, pois exige o uso de técnicas específicas, como a instalação de difusores e absorvedores sonoros, para minimizar os impactos negativos da ressonância e assegurar uma experiência acústica uniforme e agradável nos ambientes.

3.1.8 Reverberação e eco

A principal diferença entre o eco e reverberação (Figura 12) é o intervalo de tempo entre o som original e o som refletido que chega ao ouvinte. A Reverberação ocorre quando o intervalo do som emitido e refletido é inferior a 0,1 segundo, trazendo ao ouvinte uma sensação de profundidade e prolongamento do som. O eco ocorre quando o som emitido encontra uma reflexão e chega ao ouvinte com um tempo superior a 0,1 segundo, permitindo que seja distinguido o som refletido do som originalmente emitido justo pelo seu intervalo de tempo (Figura 12) (LACERDA, 2018).

Figura 12 - Diferença entre reverberação e eco



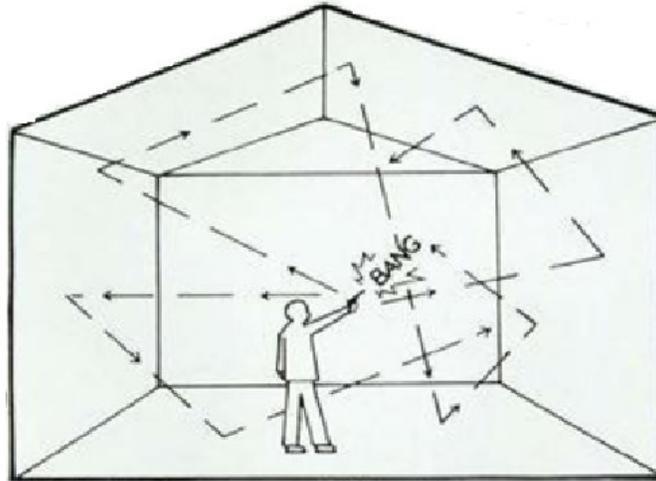
Fonte: FÍSICA E VESTIBULAR (2024)

Diferenciando reverberação e eco, Costa (2003, p.44) explica:

A reverberação difere do eco, pois enquanto a reverberação caracteriza uma permanência do som no ambiente, o eco é caracterizado pela repetição distinta do mesmo. Tal persistência, devido às reflexões sucessivas do som pelas paredes, tem uma grande importância na determinação da qualidade acústica dos ambientes. Uma reverberação excessiva ocasiona confusão e ininteligibilidade, enquanto uma reverberação escassa torna o ambiente surdo, e o nível sonoro decresce rapidamente ao afastar-nos da fonte.

A reverberação (Figura 13), como persistência sonora, é essencial para a percepção auditiva adequada, mas requer equilíbrio. Quando excessiva, prejudica a inteligibilidade; quando insuficiente, reduz a riqueza sonora do espaço. Essa análise ressalta a importância de um controle acústico eficiente para atender às finalidades específicas de cada ambiente, como auditórios ou salas de música (KOWALTOWSKI,2011).

Figura 13 - Reflexões sucessivas em um ambiente – reverberação



Fonte: MANUAL PROACÚSTICA (2019)

Sobre a reverberação no ambiente Kowaltowski (2011, p.18) expõe que:

O tempo de reverberação depende do volume, da área de absorção das superfícies internas, da ocupação do ambiente (móveis, objetos e pessoas), ou seja, do coeficiente de absorção dos materiais, e da característica do espaço (geometria), segundo.

O tempo de reverberação é influenciado por diversos fatores, conforme apontado por Kowaltowski (2011). Elementos como o volume do ambiente, a área de absorção das superfícies internas, a ocupação (móveis, objetos e pessoas) e o coeficiente de absorção dos materiais desempenham um papel significativo. Além disso, a geometria do espaço afeta diretamente como o som se propaga e é refletido. Esses aspectos são cruciais no planejamento acústico, pois determinam a qualidade sonora e a funcionalidade do ambiente para diferentes usos, como salas de aula, teatros ou auditórios.

Ainda sobre a reverberação Santos (2005, p.17) afirma que:

O tempo de reverberação quantifica a absorção acústica dos ambientes, podendo ser definido como o tempo necessário para a Energia Sonora decair em relação à Energia Incidente, um milhão de vezes, assim, é o tempo necessário para que o Nível de Pressão Sonora decaia 60 dB e para que as ondas sonoras deixem de serem percebidas.

O conceito de tempo de reverberação, apresentado por Santos (2005), é fundamental para a análise acústica de ambientes. Ele quantifica o tempo necessário para que a energia sonora decaia significativamente, até que as ondas sonoras deixem de ser percebidas. Essa medida, definida pela redução do nível de pressão sonora em 60 dB, é essencial para avaliar o conforto acústico e a funcionalidade de um espaço. Um tempo de reverberação adequado é crucial, pois ambientes com reverberação excessiva podem comprometer a inteligibilidade da fala e a qualidade do som, enquanto uma reverberação insuficiente pode tornar o espaço acusticamente "frio" ou pouco eficiente.

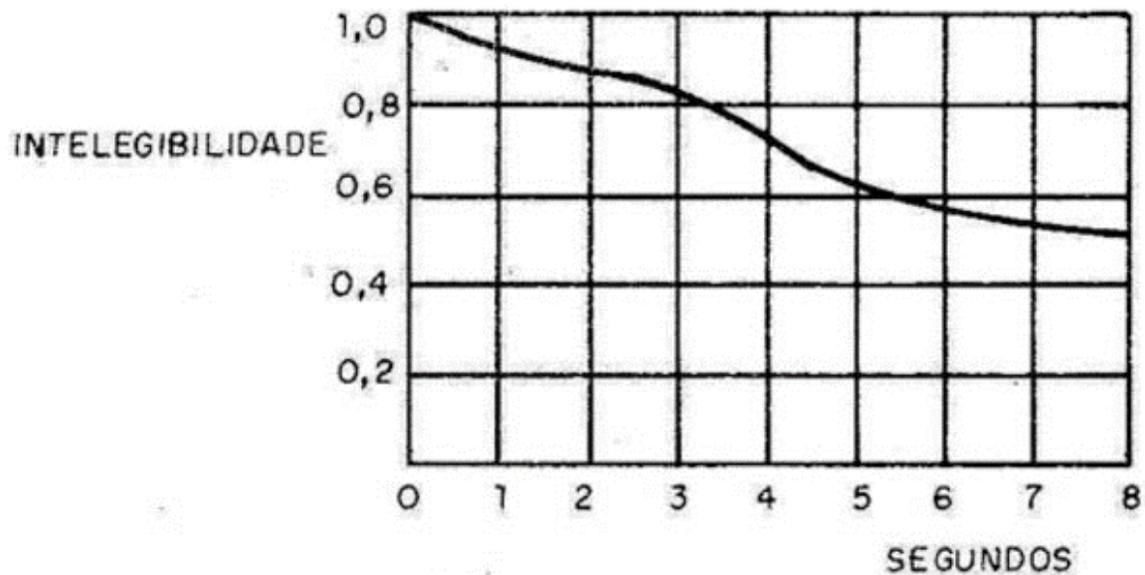
3.1.9 Inteligibilidade

A inteligibilidade sonora é a capacidade de compreender a mensagem transmitida através de uma fonte sonora ou de um sistema de som, ou seja, a clareza com que o áudio é recebido pelo ouvinte, é um dos aspectos mais importantes da acústica, pois mostra a qualidade com que o áudio é recebido e a qualidade da acústica do ambiente (GONÇALVES *et al*, 2009).

A compreensão do que é discursado em um ambiente se refere à "inteligibilidade da fala", para locais de grandes proporções onde a comunicação é essencial como nas igrejas, salas de aula ou salas de conferência por exemplo. Portanto, precisa-se de um tratamento acústico adequado para alcançar níveis de compreensão satisfatórios, e ter a garantia da clareza do áudio aos ouvintes.

A inteligibilidade sonora (Figura 14) pode ser otimizada para condições de audições específicas, já que ela diminui com o aumento do tempo de reverberação de um ambiente. A Figura 14 mostra a inteligibilidade relativa em função do tempo de reverberação em segundos.

Figura 14 - Inteligibilidade



Fonte: BRAGA (2021)

O Índice de Transmissão da Fala (STI) é um parâmetro essencial para avaliar a inteligibilidade em ambientes destinados à comunicação verbal, como auditórios. Ele mede a clareza com que o discurso é transmitido e compreendido pela plateia, variando de 0 (péssima inteligibilidade) a 1 (perfeita inteligibilidade) (HERRMANN,2018).

A padronização pelo IEC 60268-16 (2011) fornece critérios objetivos para classificar a qualidade acústica do espaço. Um STI adequado é crucial para garantir a eficácia da comunicação, especialmente em auditórios, onde a compreensão da fala é determinante para o propósito do ambiente. Essa métrica auxilia no ajuste e melhoria dos sistemas acústicos e arquitetônicos (Figura 15).

Figura 15 - Parâmetros base para classificação da inteligibilidade da fala nos ambientes

STI	
Valores	Qualidade do discurso
0,00 a 0,30	Ruim
0,30 a 0,45	Pobre
0,45 a 0,60	Razoável
0,60 a 0,75	Bom
0,75 a 1,00	Excelente

Fonte: <https://portalacustica.info/inteligibilidade>

Sobre o conceito de inteligibilidade, Lima (2011) diz que destaca a importância da inteligibilidade da fala como fator crucial para uma comunicação eficaz, exigindo que ao menos 90% das palavras sejam compreendidas. Embora o arquiteto não controle diretamente as "pontas" do processo comunicativo (falante e ouvinte), ele desempenha um papel essencial no design acústico dos espaços, como igrejas.

O arquiteto influencia o comportamento acústico ao projetar o espaço, cuidando de aspectos como controle de barulho, reverberação, características das superfícies e sistemas de som. Esses elementos determinam a qualidade do ambiente acústico, evidenciando a responsabilidade do arquiteto na criação de espaços que promovam uma comunicação clara e funcional.

3.2 Acústica em templos religiosos

A preocupação com a acústica de templos religiosos nasceu na Grécia Antiga (século VI a.C.) com a construção de templos sagrados, teatros ao ar livre, bem como ginásios que ficavam em locais distantes da polis (cidades gregas) (LIMA, 2019).

O primeiro estudo conhecido sobre a qualidade da propagação do som pode ser rastreado até Marcus Vitruvius, que discutiu princípios ópticos e acústicos em seu tratado “De Architectura” por volta de 15 a.C. Com o tempo, a acústica arquitetônica se desenvolveu gradualmente, com igrejas que enfatizavam a música começando a considerar as propriedades do som em seu design. No entanto, foi a evolução da arquitetura protestante que destacou a necessidade de melhor eficiência sonora, pois os sermões se tornaram uma parte central dos rituais religiosos (MORAES JÚNIOR, 2020).

Com a Reforma Protestante no século XVI, houve um esforço consciente para minimizar a reverberação do ruído dentro das igrejas. Apesar dessas preocupações iniciais, foi somente no século XIX que o estudo da acústica ganhou uma base científica sólida. Essa mudança ocorreu em 1877, quando Lord Rayleigh publicou sua Teoria do Som, estabelecendo princípios que continuam a influenciar a acústica moderna.

Assim, desde a antiguidade até os dias atuais, com o aprimoramento de instrumentos e técnicas, tem se buscado promover a melhoria na acústica de templos religiosos, visando proporcionar melhor conforto acústico, bem como criar um ambiente relaxante, em que o som não esteja fora dos parâmetros considerados adequados.

A adoração é o ápice da comunicação entre Deus e os seres humanos em muitas religiões. A adoração pode ser individualista ou comunitária. A adoração individual pode acontecer em qualquer lugar e a qualquer hora. No entanto, a adoração comunitária geralmente requer espaços dedicados, como templos, igrejas, sinagogas e mesquitas. A comunicação durante a adoração pode assumir várias formas. A oração mental e a contemplação podem ser silenciosas, enquanto

outras formas de adoração, como cânticos, canções e música, todas envolverão som. Neste sentido, a acústica desempenha um papel importante nos espaços de adoração em todas as culturas e religiões.

Um bom desempenho acústico em igrejas está relacionado também medições acústicas e cruzamento dos dados com as legislações municipais e normatizações brasileiras (LIMA, 2019). Na perspectiva de Koefender (2017, p.21):

O desempenho acústico em uma igreja é de extrema importância para que não haja defeitos na comunicação entre o palestrante e o ouvinte, e nem defeitos na transmissão da música litúrgica executada. Sempre que pessoas se reúnem num culto, uma mensagem é transmitida, e é essencial que ela seja transmitida com qualidade, pois quando não compreendida, ela perde seu valor, ou até mesmo pode ser interpretada de maneira incorreta.

O ruído urbano está se tornando uma parte cada vez mais comum da vida cotidiana, afetando casas, locais de trabalho, áreas recreativas, hospitais e escolas. Essa exposição constante pode impactar negativamente as interações sociais, a comunicação, o comportamento e até mesmo o desempenho acadêmico ou o bem-estar de pessoas que vivem nos centros urbanos. Neste contexto, os templos religiosos são considerados como fontes geradoras de poluição sonora que impactam nas condições biológicas, físicas, químicas e principalmente sociais do ambiente, podendo causar redução da qualidade de vida dos indivíduos que frequentam estes locais ou que convivem em seus arredores, pois, em muitos locais, emitem elevados sons no exterior extrapolando os limites determinados pela legislação vigente. Quanto ao seu interior, em muitos casos, apresentam deficiência no tratamento acústico (MARTINS, 2020).

É importante destacar que ruídos altos (acima de 90 dB) podem dificultar o acompanhamento de uma conversa falada em um volume típico de cerca de 40 dB. Em ambientes barulhentos, as pessoas precisam falar mais alto e se concentrar mais para se comunicar de forma eficaz, o que pode aumentar o estresse psicológico e reduzir a concentração. A exposição prolongada a sons altos também pode interferir em tarefas que exigem foco mental, atenção, respostas rápidas e movimentos precisos, com esses efeitos piorando após duas horas de ruído contínuo (CRUZ *et al*, 2016).

Desse modo, o desempenho acústico de igrejas se insere na área de Segurança do Trabalho e desempenha um papel significativo no escopo mais amplo da segurança ocupacional, particularmente no que diz respeito à saúde e bem-estar dos líderes religiosos, membros do coro, músicos e outros funcionários que passam longos períodos nesses espaços. Acústica ruim, reverberação excessiva ou altos níveis de ruído podem contribuir para tensão vocal, fadiga auditiva e até mesmo danos auditivos de longo prazo para aqueles que frequentemente falam ou se apresentam em tais ambientes.

Além disso, a inteligibilidade da fala é crucial para uma comunicação eficaz, impactando tanto os anúncios de segurança quanto a experiência geral dos congregantes e trabalhadores. De acordo com Cruz *et al* (2016, p.15):

A emissão de ruídos de qualquer tipo coloca o direito de sossego público em confronto com a saúde da população em geral e a necessidade de contenção sonora se faz presente para um convívio urbano na medida em que existem normas técnicas de medição de ruídos com critérios específicos. Neste conjunto de fatos surgem opções de tratamento e isolamento acústico que visam à organização e direcionamento de uma quantidade sonora considerável

Quando os níveis de ruído excedem os limites estabelecidos por organizações como a Organização Mundial da Saúde (OMS), eles podem impactar negativamente o bem-estar físico, psicológico e social das pessoas. Esse tipo de poluição interrompe a comunicação entre humanos e outros seres vivos devido à propagação de ondas de pressão sonora. Também pode ocorrer em templos religiosos, onde a falta de isolamento acústico adequado pode causar distúrbios durante as atividades (STRINO; BEZERRA, 2022).

Para Ribeiro e Puel (2017) fiéis que estão presentes nos cultos, que ficam expostos à emissão de ruídos, podendo sofrer lesões tanto psíquicas quanto físicas relacionadas à pressão sonora (volume) no interior dos templos.

Dentro desta ótica, pode-se afirmar que em templos religiosos o tratamento acústico adequado é essencial para prevenir riscos à saúde das pessoas presentes aos cultos, tendo em vista que ocorre uma exposição permanente ou intermitente às emissões sonoras. Na perspectiva da Segurança do trabalho, líderes religiosos, membros do coro, músicos e outros funcionários que passam longos períodos

nesses espaços podem ser considerados como pessoas que estão realizando um serviço ao templo. Portanto, são trabalhadores que podem estar expostos a riscos ocupacionais. Os fiéis que frequentam o templo, embora fiquem em exposição por menor tempo, também podem sofrer os impactos da falta de desempenho acústico adequado.

A análise do desempenho acústico em templos religiosos a partir da Segurança do Trabalho, se estende além das preocupações tradicionais para incluir o ambiente acústico, que pode representar riscos ocupacionais para líderes religiosos, membros do coro, músicos e outros funcionários. O desempenho acústico ruim - como reverberação excessiva, altos níveis de ruído ou baixa inteligibilidade da fala - pode levar à tensão vocal, fadiga auditiva e problemas auditivos de longo prazo para aqueles que falam ou se apresentam regularmente nesses espaços. Devido a isto, é de suma importância criar estratégias a fim de minimizar os níveis de ruído e consequentemente os riscos à saúde e bem-estar destes indivíduos.

Sendo assim, gerenciar esses riscos por meio de design acústico adequado, materiais de absorção de som e sistemas de amplificação é essencial para criar um ambiente de trabalho mais seguro e confortável dentro das igrejas.

Cabe também salientar que é necessário cumprir as regras de segurança pertinentes às atividades sonoras que são realizadas dentro dos templos religiosos, buscando oferecer um ambiente que esteja livre de fatores de riscos ocupacionais e para saúde. Considerando estes aspectos, no campo da Segurança do trabalho torna-se crucial levantar, diagnosticar e eliminar os fatores de riscos seguindo os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente.

4 ESTUDO PRÁTICO DE DESEMPENHO ACÚSTICO EM TEMPLOS RELIGIOSOS

Neste capítulo será apresentado o estudo realizado em um Templo Religioso situado na Zona Sul de Londrina, no bairro Jardim Igapó, com capacidade para 500 pessoas.

4.1 Características construtivas do templo

O templo foi construído em alvenaria, com dimensões de aproximadamente 750m² e pé direito de aproximadamente 8 metros, com paredes de aproximadamente 15cm formando parede dupla com os barracões vizinhos, o que totaliza aproximadamente 30cm de paredes entre os barracões. As paredes são cobertas com texturas porosas, telhas de zinco e no teto forro termoacústico.

Inicialmente o espaço foi projetado para locação, assim como os barracões vizinhos que possuem as mesmas características construtivas e estão em uma área de zoneamento urbano comercial/misto. Todos foram construídos com um recuo de 20m do alinhamento predial e com trânsito intenso de veículos na avenida a frente do templo.

4.2 Características acústicas do templo

Como o espaço não foi projetado nem construído pensando no desempenho acústico ideal para seus ouvintes, trata-se de um local com pouca presença de materiais absorvedores e difusores, com pouco controle das reflexões sonoras internas, quesito esse que influencia muito no comportamento do som no ambiente.

Pontos relevantes foram analisados para o estudo, como:

- Características físicas da edificação e os elementos empregados em seu interior para a análise do comportamento acústico.
- Aferição de níveis de pressão sonora em momentos de atividade.
- Aferição do tempo de reverberação do ambiente.

4.3 Levantamento de dados

As aferições das dimensões do ambiente interno foram feitas com o medidor de distância laser Fluke 414D (Figura 16) com precisão de medição, típica: ± 2 mm.

Figura 16 - Medidor de distância laser



Fonte: <https://www.fluke.com/>

As aferições dos níveis de intensidade sonora foram realizadas com sonômetro 01dB (Figura 17) que possui as seguintes especificações técnicas:

Range:

- 21-139 dB (A, B), 26-139 dB (C), 31-137 dB (Z),

Com classe de precisão:

- IEC60651classe1(10-2000);
- IEC60804classe1(10-2000);
- IEC61672-1classe1(09-2013);
- IEC61260classe1(07-1995-2011);
- ANSIS1.11classe12004;
- ANSIS1.4classe1 1983-1985 NF EN 61260/A1 (2002);

Aprovação de modelo:

- DE-16-M-PTB-0006 | IEC 61672:2013 - LNE-27092 rev2 03/2017;

Figura 17 - Sonômetro

Fonte - <https://www.01db.com>

Interface de áudio M-áudio Fast Track Pro (Figura 18), possui 4 conectores de entrada e 4 de saída, conta com uma resolução de áudio de 24 bits e taxa de amostragem de 96kHz.

Figura 18 - Interface de áudio M-áudio – Fast Track Pro



Fonte: <https://www.m-audio.com/category/usb-audio-and-midi-interfaces.html>

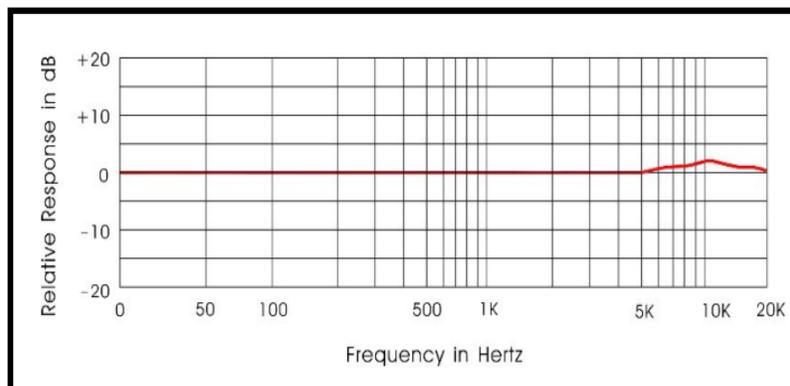
O RTA (Figura 19) é um microfone de medição de frequência plana e omnidirecional com resposta de frequência de 20Hz a 20Khz. A Figura 20 ilustra o gráfico de frequência.

Figura 19 - Microfone de medição



Fonte: <https://dbxpro.com/en/products/rta-m>

Figura 20 - Gráfico de frequência plana e omnidirecional



Fonte: <https://dbxpro.com/en/products/rta-m>

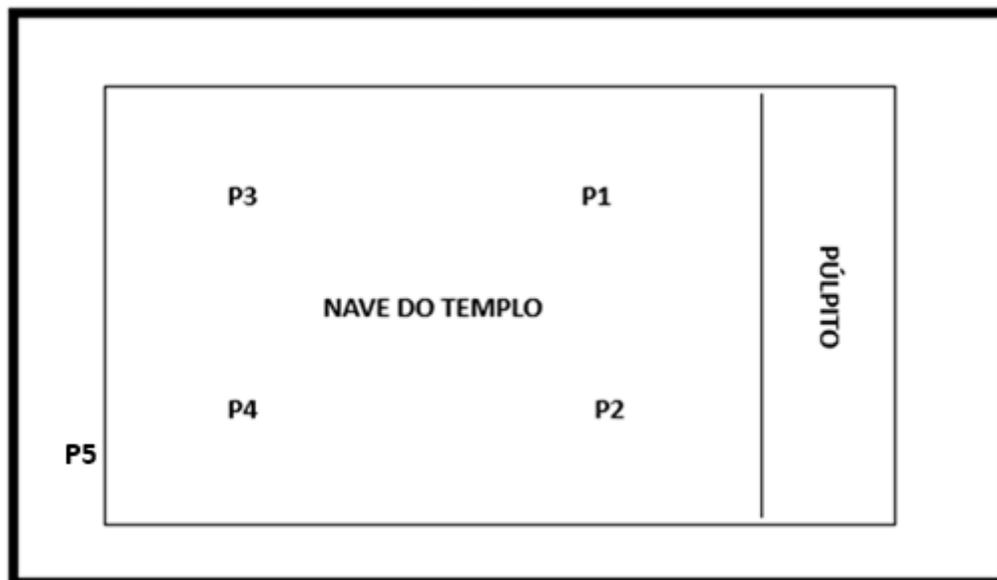
4.4 Resultados Obtidos

4.4.1 Níveis de intensidade

Para determinar o nível de intensidade sonora dentro do templo foram escolhidos quatro pontos distintos (Figura 21) distribuídos dentro do ambiente, de forma uniforme. Foi simulado com o Sonômetro 01dB (decibelímetro) a altura do ouvido de um membro ocupando do seu acento, registrando então um ruído mínimo de 78.5dB (A) e máximo de 90,4dB (A).

Foram definidos 4 pontos distribuídos de maneira uniforme na nave do templo, conforme figura 21, para as aferições dos níveis de intensidade com o sonômetro. Os pontos P1, P2, P3 e P4 foram medidos no momento de maior intensidade sonora da reunião, ou seja momento em que o ministério de louvor estava atuando com instrumentos musicais. Também foram feitas aferições nos pontos P3 e P4 nos momentos de menor intensidade, ou seja, momentos de palavra falada. Uma medição adicional foi feita na sala técnica de som (P5), onde fica a mesa e equipamentos de som controlados pelo sonoplasta, para saber como os níveis de pressão sonora chegam a eles, já que o ambiente da sala técnica é externo a nave da igreja (Figura 22).

Figura 21 - Pontos das medições utilizando o Sonômetro 01dB



Fonte: Autoria própria (2025)

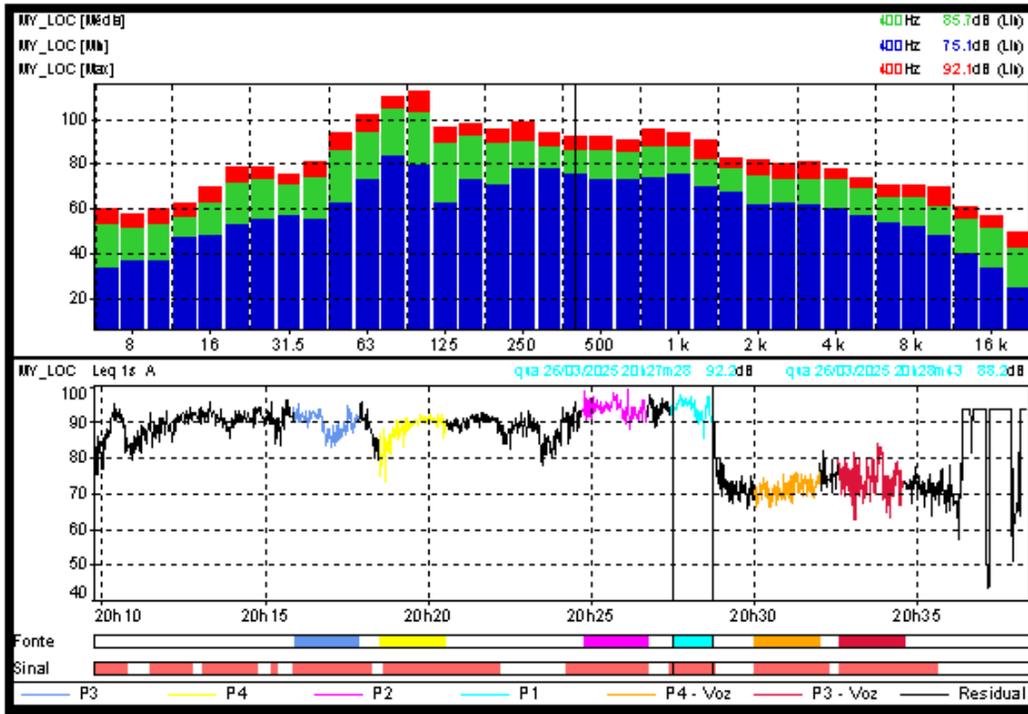
Figura 22 – Aferição de nível de pressão sonora



Fonte: Autorial própria (2025)

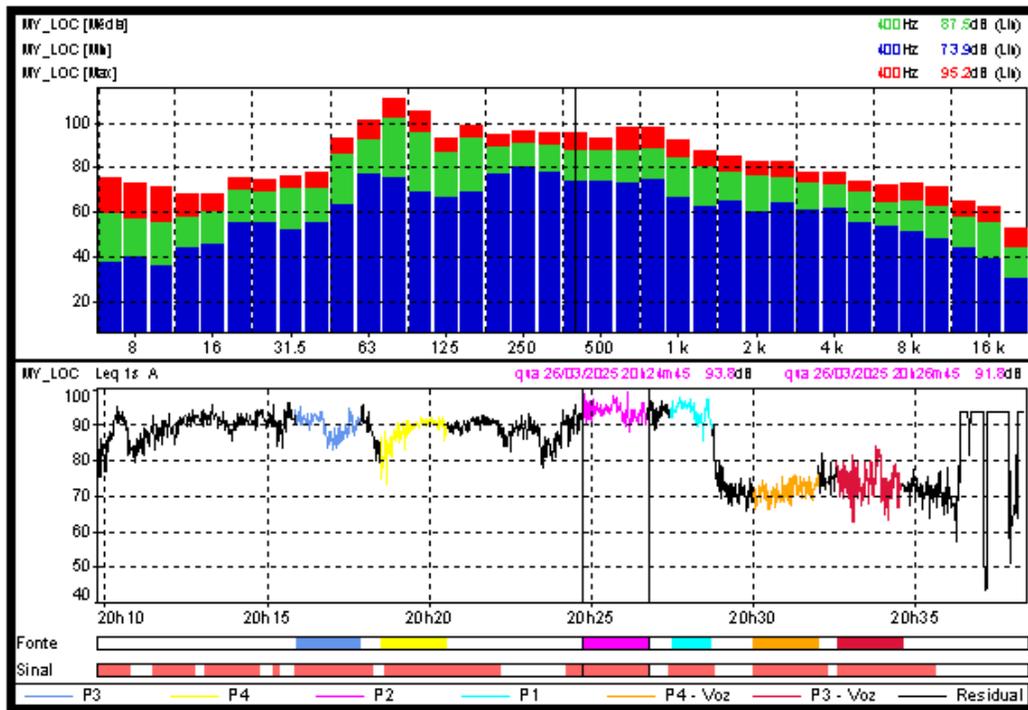
Após a coleta de todos os dados no templo, utilizamos o software dBTrait, disponibilizado pela desenvolvedora do Sonômetro 01dB para otimizar as medições, já que o *software* nos possibilita filtrar alguns ruídos aleatórios ao estudo como ruídos externos ao templo captados durante as medições. O resultado pós tratamento dos dados foram os seguintes (Figuras 23 a 26) :

Figura 23 - Ponto 1 Gráfico de espectro



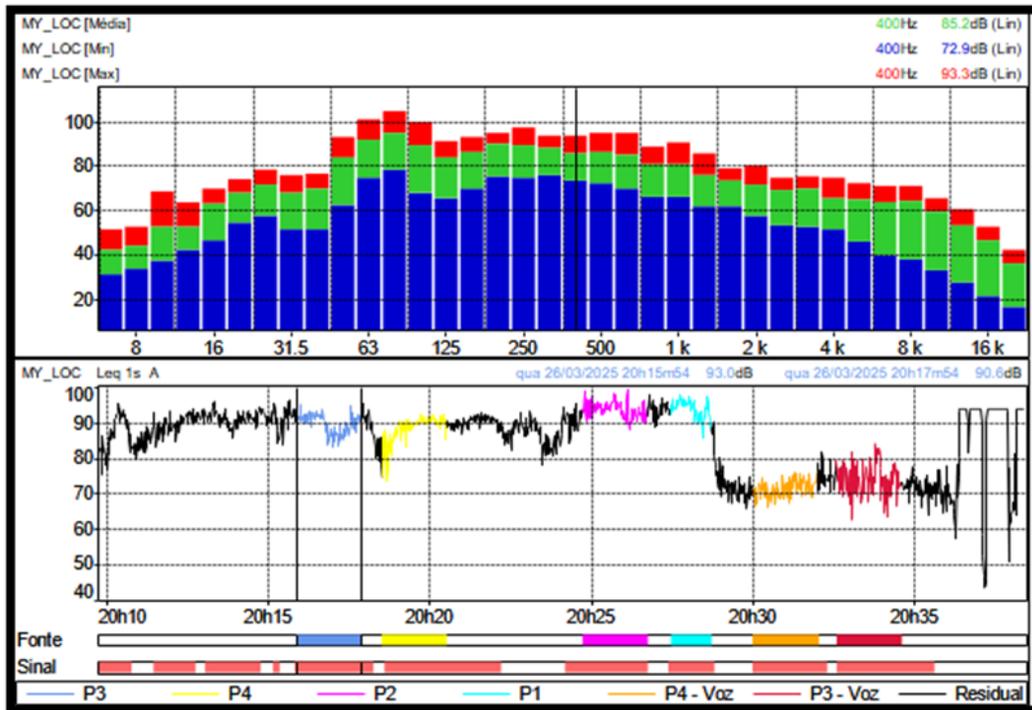
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 24 - Ponto 2 Gráfico de espectro



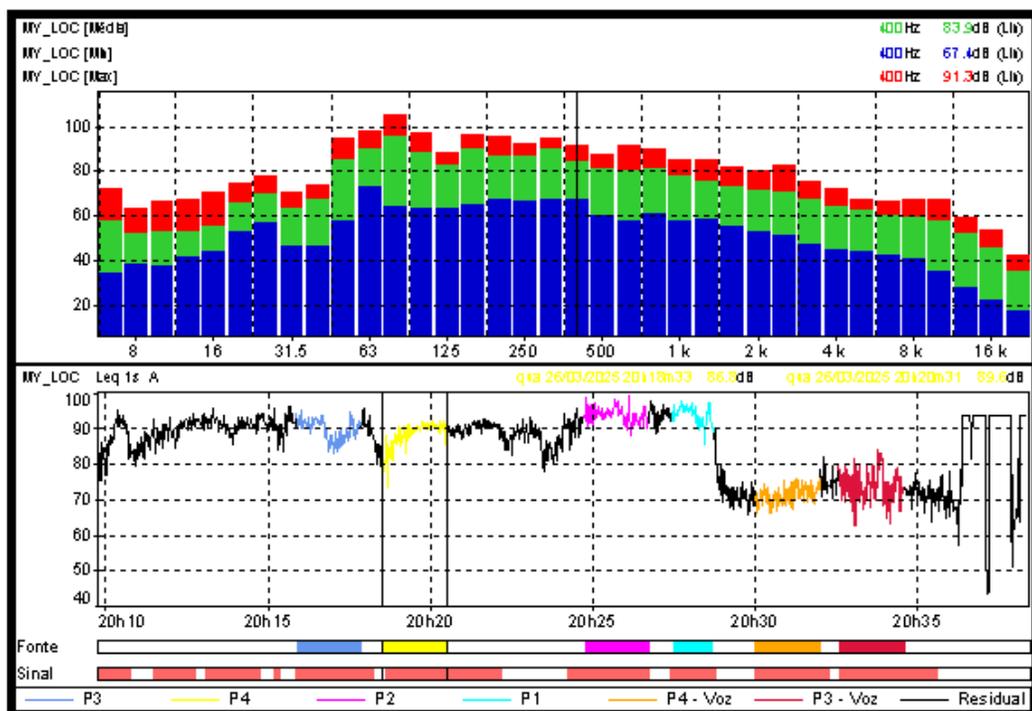
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 25 - Ponto 3 Gráfico de espectro



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 26 - Ponto 4 Gráfico de espectro



Fonte: Autoria própria (2025)

Os gráficos de espectro demonstrados acima, nas Figuras 23, 24, 25 e 26, nos permite analisar, quais foram os níveis de intensidade sonora de cada frequência capturada pelo sonômetro durante o período com o ministério de música atuando).

Nas figuras 27, 28, 29 e 30 podemos analisar as tabelas de resultados aferidos no período de maior intensidade sonora. De acordo com as aferições podemos ver uma diferença de pressão sonora dos pontos 1 e 2 para os pontos 3 e 4, ou seja, os pontos de maior intensidade estão na proximidade das fontes sonoras, considerando que os músicos estão a serviço do templo. Por isso, chegamos à conclusão de altos níveis de ruído, e de acordo com a NR-15 podem ser prejudiciais à saúde dos trabalhadores dependendo do tempo de exposição diária (anexo 1 NR-15).

Figura 27 - Tabela de resultados do ponto 1

Arquivo	20250326_200948_203823.cmg						
Localização	MY_LOC						
Tipo de dados	Leq						
Ponderação	A						
Início	26/03/2025 20:09:48						
Fim	26/03/2025 20:38:23						
	Leq específico	Lmin	Lmax	L90	L50	L10	Duração cumulada
Fonte	dB	dB	dB	dB	dB	dB	hh:mm:ss
P1	94,3	85,6	97,8	90,3	94,4	96,3	00:01:16

Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 28 - Tabela de resultados do ponto 2

Arquivo	20250326_200948_203823.cmg						
Localização	MY_LOC						
Tipo de dados	Leq						
Ponderação	A						
Início	26/03/2025 20:09:48						
Fim	26/03/2025 20:38:23						
	Leq específico	Lmin	Lmax	L90	L50	L10	Duração cumulada
Fonte	dB	dB	dB	dB	dB	dB	hh:mm:ss
P2	94,2	88,0	99,6	90,8	93,6	96,1	00:02:01

Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 29 - Tabela de resultados do ponto 3

Arquivo	20250326_200948_203823.cmg						
Localização	MY_LOC						
Tipo de dados	Leq						
Ponderação	A						
Início	26/03/2025 20:09:48						
Fim	26/03/2025 20:38:23						
	Leq específico	Lmin	Lmax	L90	L50	L10	Duração cumulada
Fonte	dB	dB	dB	dB	dB	dB	hh:mm:ss
P3	90,5	82,8	95,1	85,8	90,5	92,6	00:02:01

Fonte: Autoria própria (2025)

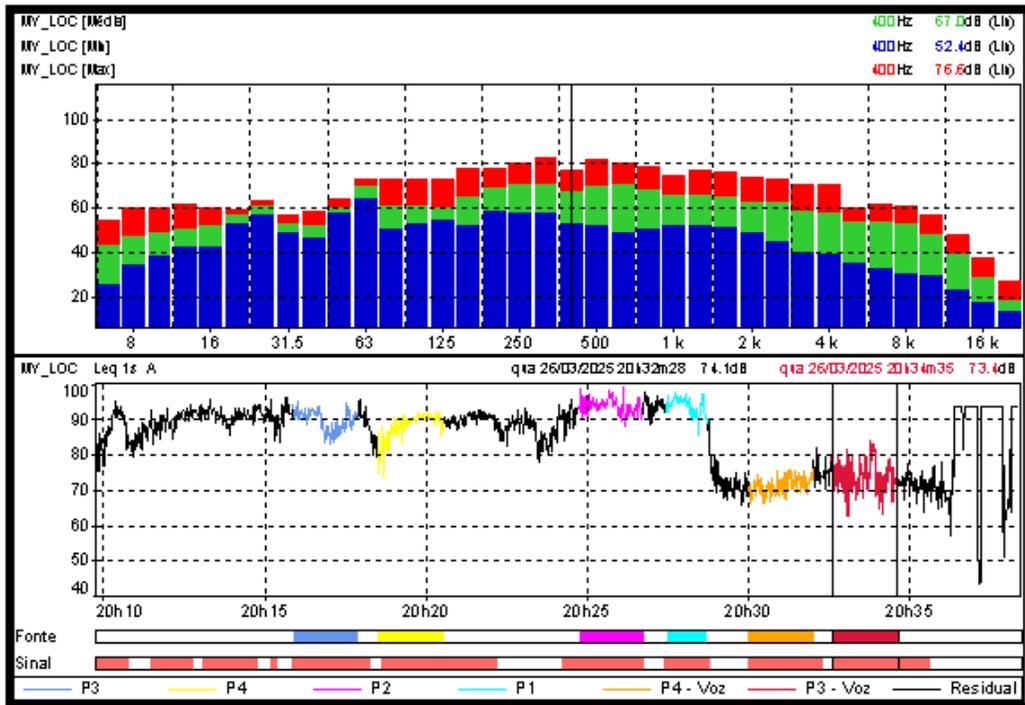
Figura 30 - Tabela de resultados do ponto 4

Arquivo	20250326_200948_203823.cmg						
Localização	MY_LOC						
Tipo de dados	Leq						
Ponderação	A						
Início	26/03/2025 20:09:48						
Fim	26/03/2025 20:38:23						
	Leq específico	Lmin	Lmax	L90	L50	L10	Duração cumulada
Fonte	dB	dB	dB	dB	dB	dB	hh:mm:ss
P4	89,2	73,1	92,4	84,4	89,2	91,2	00:02:01

Fonte: Autoria própria (2025)

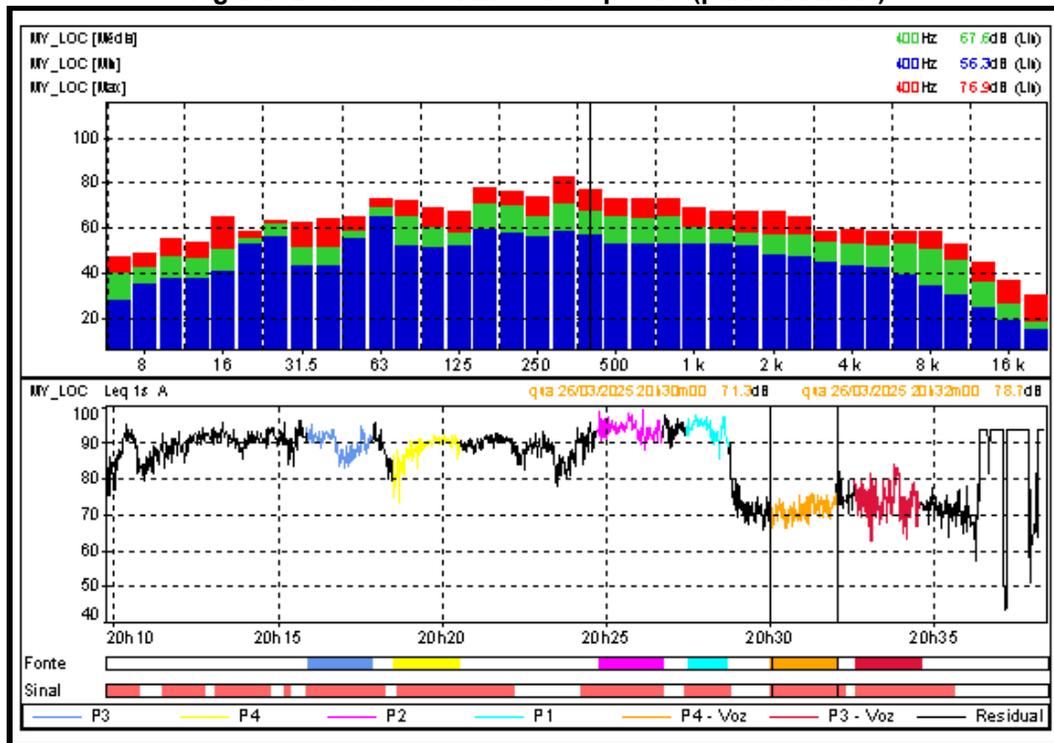
Da mesma forma analisaremos os dados obtidos nas aferições nos pontos 3 e 4 da Figura 31, para os níveis de menor intensidade, ou seja, período da palavra falada ou pregação, conforme demonstrado nas figuras abaixo:

Figura 31 - Ponto 3 Gráfico de espectro (palavra falada)



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 32 - Ponto 4 Gráfico de espectro (palavra falada)



Fonte: Autoria própria (2025)

Comparando os gráficos de espectro (Figura 31 e 32) em períodos de menor intensidade sonora, pode-se concluir que na palavra falada tem-se uma intensidade sonora mais amena, conseqüentemente com menores impactos a seus ouvintes, conforme demonstrado também nas Tabelas 33 e 34.

Figura 33 - Tabela de resultados do ponto 3 palavra falada

Arquivo	20250326_200948_203823.cmg						
Localização	MY_LOC						
Tipo de dados	Leq						
Ponderação	A						
Início	26/03/2025 20:09:48						
Fim	26/03/2025 20:38:23						
	Leq específico	Lmin	Lmax	L90	L50	L10	Duração cumulada
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	hh:mm:ss
Fonte							
P3 - Voz	76,0	62,5	84,2	68,9	73,4	79,6	00:02:01

Fonte: Autoria própria (2025)

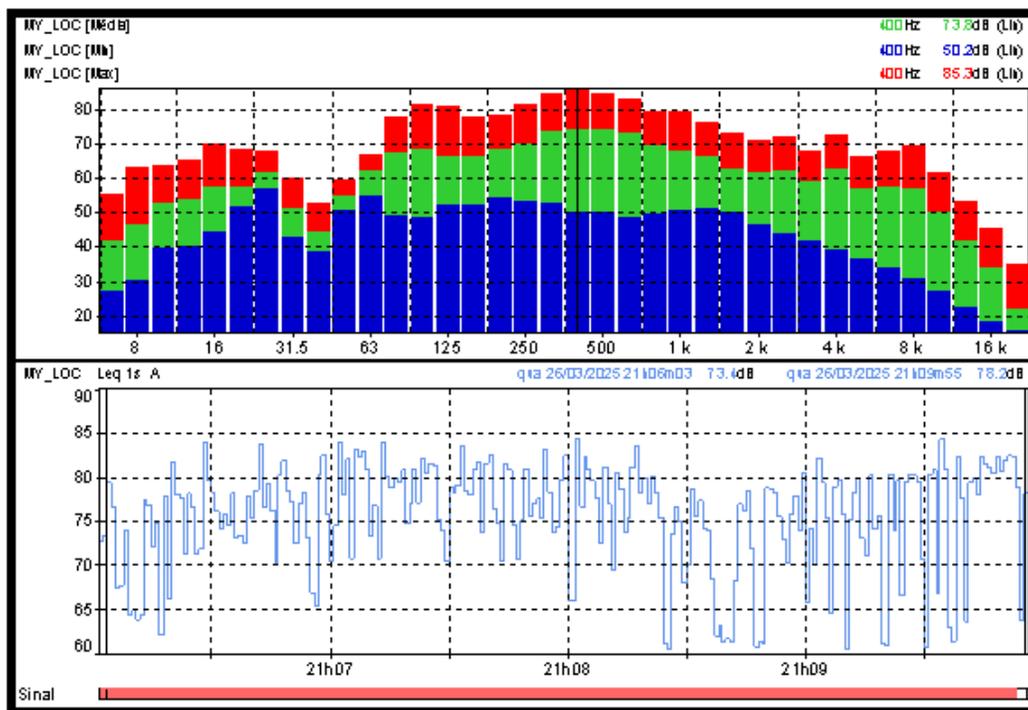
Figura 34 - Tabela de resultados do ponto 3 palavra falada

Arquivo	20250326_200948_203823.cmg						
Localização	MY_LOC						
Tipo de dados	Leq						
Ponderação	A						
Início	26/03/2025 20:09:48						
Fim	26/03/2025 20:38:23						
	Leq específico	Lmin	Lmax	L90	L50	L10	Duração cumulada
Fonte	dB	dB	dB	dB	dB	dB	hh:mm:ss
P4 - Voz	72,0	66,0	78,7	68,4	71,2	74,7	00:02:01

Fonte: Autoria própria (2025)

Como último ponto da análise da intensidade sonora, temos o ponto P5, como um importante dado a ser estudado, já que os níveis de intensidade dos dispositivos amplificadores sonoros são controlados pelo técnico de áudio conforme mostram as Figura 35 e 36.

Figura 35 - Ponto 5 Gráfico de espectro (sala de som)



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 36 - Tabela de resultados do ponto 5 (sala de som)

Arquivo	20250326_210602_210956.cmg									
Início	26/03/2025 21:06:02									
Fim	26/03/2025 21:09:56									
Canal	Tipo	Peso	Unidade	Leq	Lmin	Lmax	L90	L50	L10	
MY_LOC	Leq	A	dB	78,3	60,4	84,3	64,8	76,9	81,9	

Fonte: Autoria própria (2025)

Com esta análise chega-se à conclusão que os níveis de intensidade que chega aos técnicos de áudio na sala técnica, estão bem próximos aos encontrados nos pontos 3 e 4, isso significa que temos uma certa fidelidade nos níveis entre a sala técnica e a nave da igreja.

De acordo com a aferição de pressão sonora do templo, constatou-se um ruído bastante elevado, visto que de acordo com a NBR10152, para a situação estudada os níveis de ruído em repouso, ou seja, sem início das atividades deveriam estar em torno de 40dB (A) para que atenda aos requisitos de conforto acústico conforme Figura 37.

Figura 37 - Valores de referência para ambientes internos de uma edificação de acordo com as suas finalidades de uso

Tabela 3 (continuação)			
Finalidade de uso	Valores de referência		
	RL _{Aeq} (dB)	RL _{ASmax} (dB)	RL _{Nc}
Enfermarias	40	45	35
Laboratórios	45	50	40
Quartos coletivos	40	45	35
Quartos individuais	35	40	30
Salas de espera	45	50	40
Culturais e lazer			
Salões de festa	40	45	35
Restaurantes	45	50	40
Cinemas	35	40	30
Salas de concertos	30	35	25
Teatros	30	35	25
Templos religiosos pequenos ($\leq 600 \text{ m}^3$)	40	45	35
Templos religiosos grandes ($> 600 \text{ m}^3$)	35	40	30

Fonte: NBR10152

Outra constatação foi que os ruídos aferidos também ultrapassaram o limite de 75dB (A) alertados como prejudiciais pela Organização Mundial da Saúde (OMS), citando que esses níveis de ruídos podem causar danos a audição humana. Já NR-15 estabelece valores máximos para exposição diária a ruídos contínuos ou intermitentes, valores estes que variam de acordo com o tempo de exposição conforme mostra a Figura 38.

Figura 38 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

NÍVEL DE RUÍDO dB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: NR-15

No entanto, como a duração média dos cultos são de aproximadamente duas horas e tem sua maior intensidade nos momentos em que o ministério de louvor atua com instrumentos de maior pressão sonora como o baixo, bateria, guitarra e outros, isso representaria aproximadamente 20 a 25 minutos do tempo total do culto. Este período atendem critérios da NR-15, que cita uma exposição máxima de até 3 horas e 30 minutos para ruídos constantes ou intermitentes de 91dB (A) aferidos no sonômetro.

Outro critério percebido durante a realização do estudo, foi a falta de materiais com características absorvedoras para o controle das ondas sonoras do templo, já que em seu padrão construtivo tem excesso de materiais reflexivos como a alvenaria das paredes e gesso na estrutura de *drywall* presentes na divisória entre a nave principal e o *hall* de entrada.

De acordo com De Marco (1982, p.39):

Se a reverberação persiste muito tempo depois da extinção do som direto, isso virá a perturbar a clara percepção do som, a inteligibilidade de um discurso. Se, pelo contrário, o som desaparecer imediatamente, além de dificultar a audição em pontos afastados da fonte (a IR será muito pequena), prejudicará a percepção de alguns tipos especiais de fonte sonora (por exemplo, grandes orquestras, que precisam de certo tempo de reverberação para fundir o som).

Para avaliação do desempenho acústico da sala serão calculados o coeficiente de absorção dos materiais e o tempo de reverberação, ambos estão diretamente ligados a inteligibilidade.

4.4.2 Tempo de reverberação

Existem algumas maneiras de se calcular o tempo de reverberação de um ambiente, descritas a seguir:

- O estampido do estouro de um balão na sala fazendo a leitura da ressonância das frequências no Sonômetro (Figura 39).

Figura 39- Sonômetro



Fonte: <https://www.portaldaacustica.com/>

- Métodos matemáticos como a equação de Sabine (Figura 40).

Figura 40 - Ω - Equação de Sabine

Fórmula de Sabine: $T_{60} = 0,161 * (V/A)$

Nesta fórmula, o valor de T_{60} é expresso em segundos, V indica o volume da sala analisada (expresso em m^3) e A é a superfície de absorção equivalente (expressa em m^2).

A superfície de absorção equivalente (A) é calculada com a fórmula abaixo:

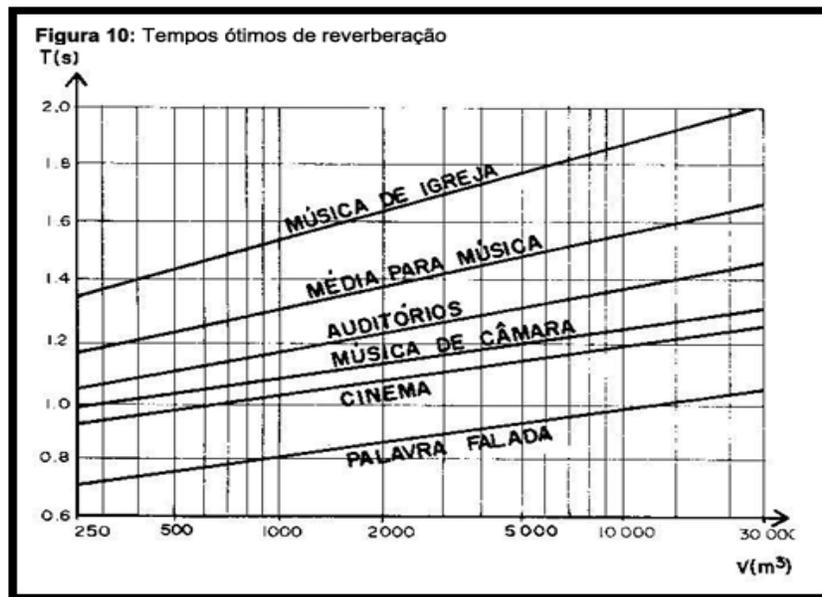
$$A = \sum(\alpha_i * s_i)$$

Nesta fórmula, s_i representa as áreas de absorção e α_i são os coeficientes de absorção sonora dessas superfícies, para frequências específicas (geralmente 500 ou 1000 Hz)

Fonte: <https://www.acousticlab.com/en/reverberation-time-and-sabines-formula>

Comparando os resultados da equação de Sabine com a tabela de tempo ótimo de reverberação da NBR12179(1992) (Figura 41).

Figura 41 - Tabela de tempo ótimo de reverberação



Fonte: CARVALHO (2010)

Métodos envolvendo *softwares* como o REW e algumas tecnologias como o “dodecaedro speaker” (Figura 42) ou dispositivo de amplificação de som existente no ambiente com auxílio do microfone RTA (todos devidamente calibrados) (Figura 43).

Figura 42 - Dodecaedro Speaker



Fonte: <https://www.nti-audio.com/pt/produtos/fontes-de-ruído/alto-falante-dodecahedron-ds3>

Figura 43 - Microfone RTA

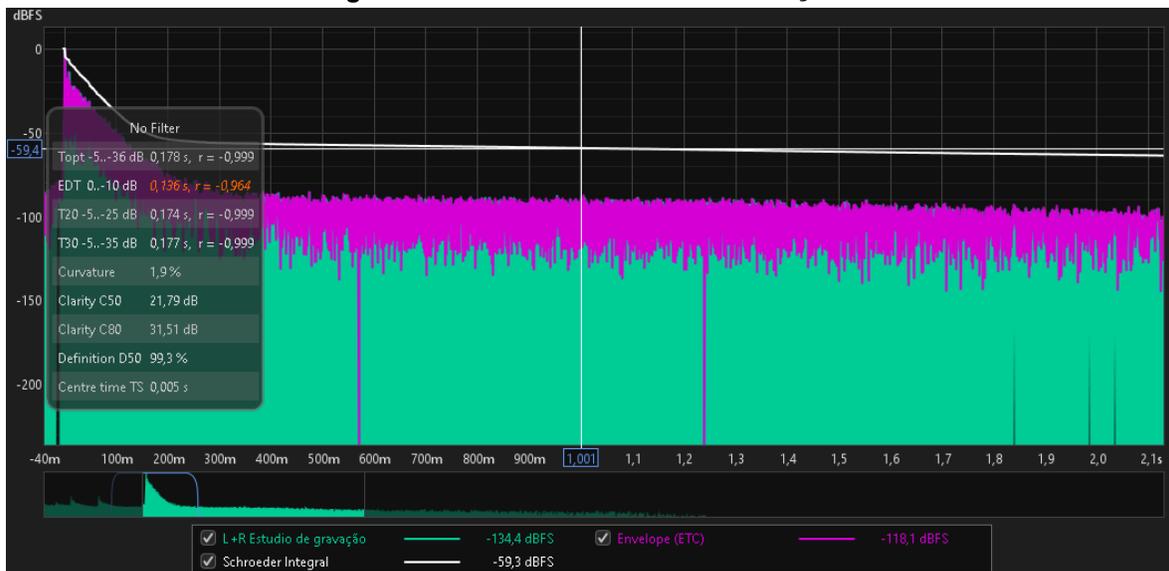


Fonte: <https://dbxpro.com/en/products/rta-m>

O método escolhido para o cálculo do tempo de reverberação do ambiente foi o software REW (Room EQ Wizard) pela calibragem dos equipamentos, pela precisão de estudo com maior range de frequências e emissão do estampido perfeito com todas as frequências necessárias para finalidade do estudo do tempo de ressonância das frequências no ambiente.

Com o *software* devidamente instalado, interface de áudio e microfone RTA calibrados, foi realizada a aferição em um ambiente com tratamento acústico adequado para servir de parâmetro comparativo com o ambiente sem condicionamento acústico, com o estampido ideal gerado pelo software. O resultado da medição está apresentado nas Figuras 44.

Figura 44 - Resultado obtidos na aferição 1



Fonte: Autoria própria (2025)

O resultado alcançado foi de um tempo de reverberação menor que 1 segundo (aproximadamente 177 milissegundos em T30 e 354 milissegundos em T60) com um tempo de decaimento de 59,3dB no primeiro segundo (Figura 45).

Figura 45 - Gráfico das frequências da aferição 1

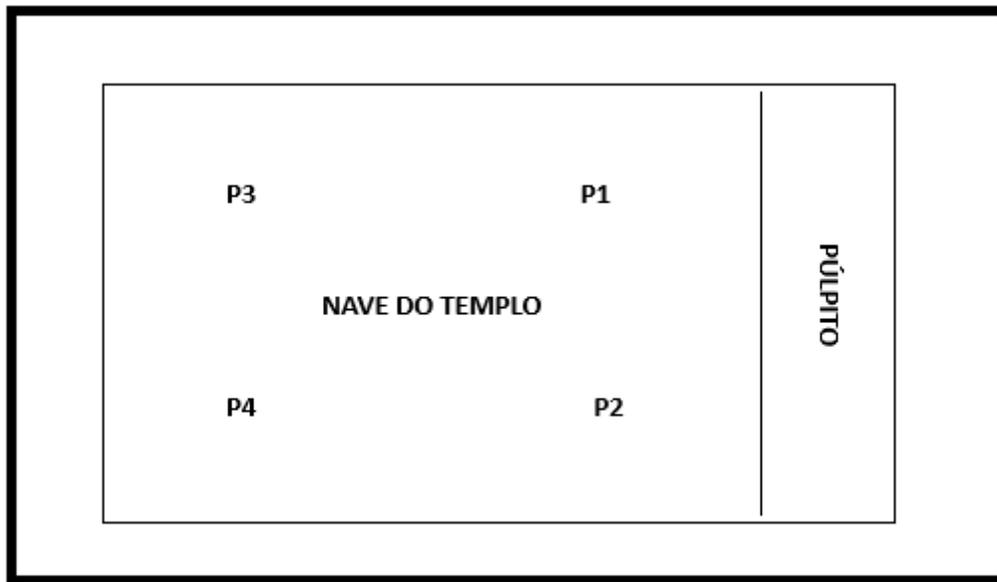


Fonte: Autoria própria (2025)

Conforme gráfico das frequências, o comportamento da sala de gravação mostrou equilíbrio de ressonância nas frequências entre 250Hz a 2kHz para T20 e T30.

Aplicando as mesmas aferições no templo religioso para verificar seu condicionamento acústico, com os mesmos equipamentos e estampido ideal gerado pelo software, com microfone RTA posicionado em 4 pontos do templo, sendo eles, dois à frente da sala um à esquerda e outro à direita e dois ao fundo sendo um à esquerda e outro direita da sala conforme Figura 46.

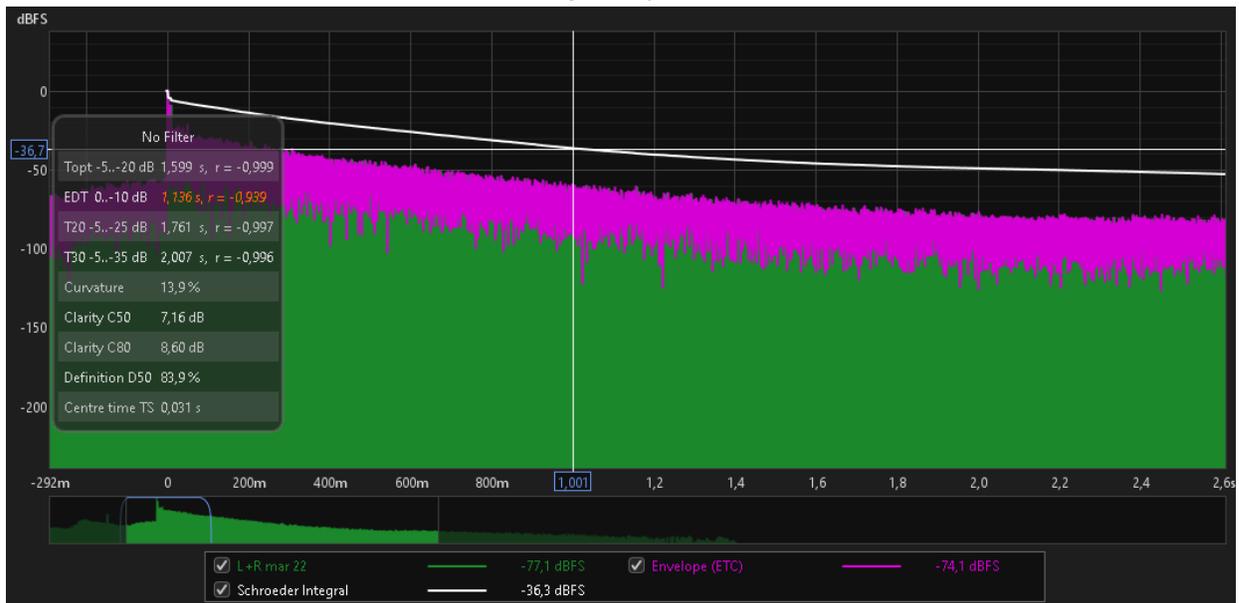
Figura 46 - Pontos de aferição com microfone RTA e decibelímetro



Fonte: Autoria própria (2025)

Os resultados obtidos na coleta de dados do templo foram bem diferentes do ambiente com bom condicionamento acústico, conforme dados demonstrados na Figura 47.

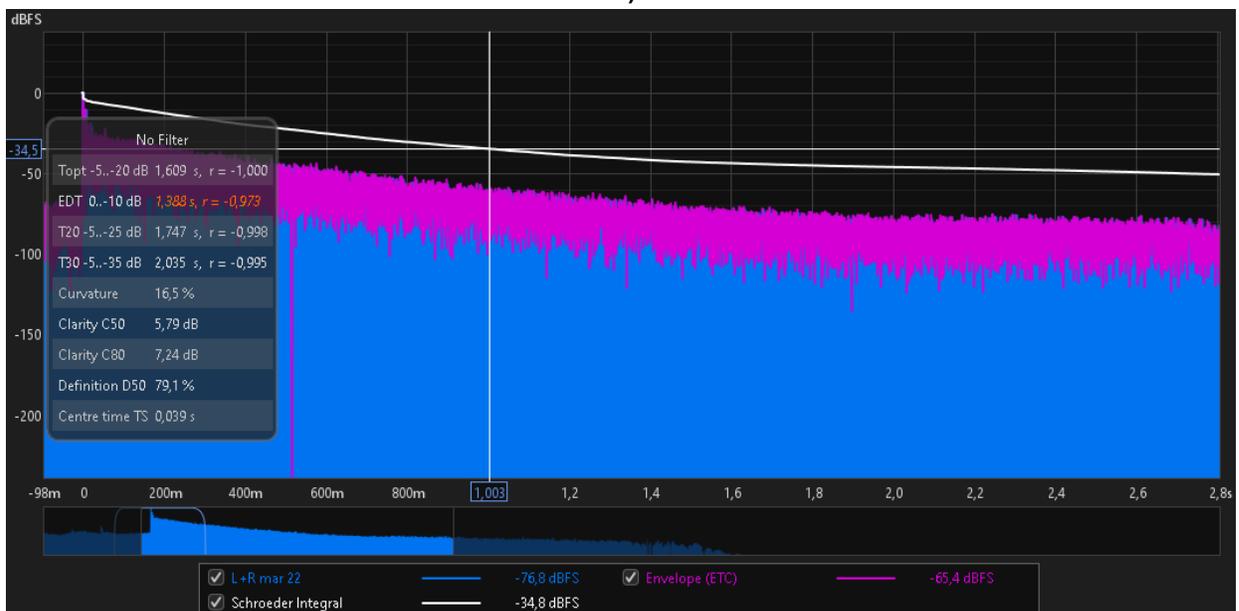
Figura 47 - Estampido ideal capturado no templo religioso condição atual P1 (frente a esquerda)



Fonte: Autoria própria (2025)

Para esta condição o tempo de reverberação passou dos dois segundos (2,007 segundos em T30) com tempo de decaimento de -36.3dBFS no primeiro segundo e -49.9dBFS no segundo (Figura 48).

Figura 48 - Estampido ideal capturado no templo religioso condição atual P2 (frente a direita)



Fonte: Autoria própria (2025)

Para esta condição o tempo de reverberação passou dos dois segundos (2,035 segundos em T30) com tempo de decaimento de -34.8dBFS no primeiro segundo e -46.3dBFS no segundo. De acordo com aferição, os pontos P1 e P2 situados a frente da sala estão em condições muito parecidas, mostra uma ressonância maior nas regiões de 700Hz a 1.4kHz, chegando à frequência de 1kHz ressoar por 3.037 segundos em T30 mostrando um desequilíbrio nesse range de frequência, conforme Figuras 49 e 50.

Figura 49 - Frequências e tempo de reverberação no ponto 1



Fonte: Autoria própria (2025)

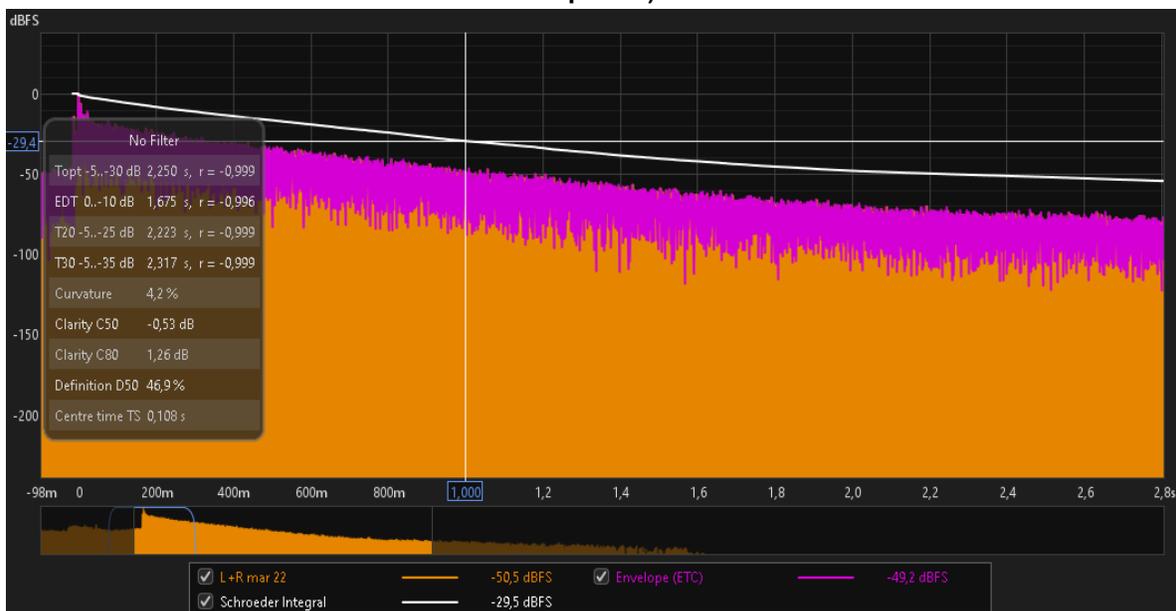
Figura 50 - Frequências e tempo de reverberação no ponto 2



Fonte: Autoria própria (2025)

As mesmas aferições foram feitas nos pontos ao fundo da sala, a esquerda P3 e a direita P4, pontos estes mais distantes a fonte sonora. Os resultados coletados estão representados na Figura 51.

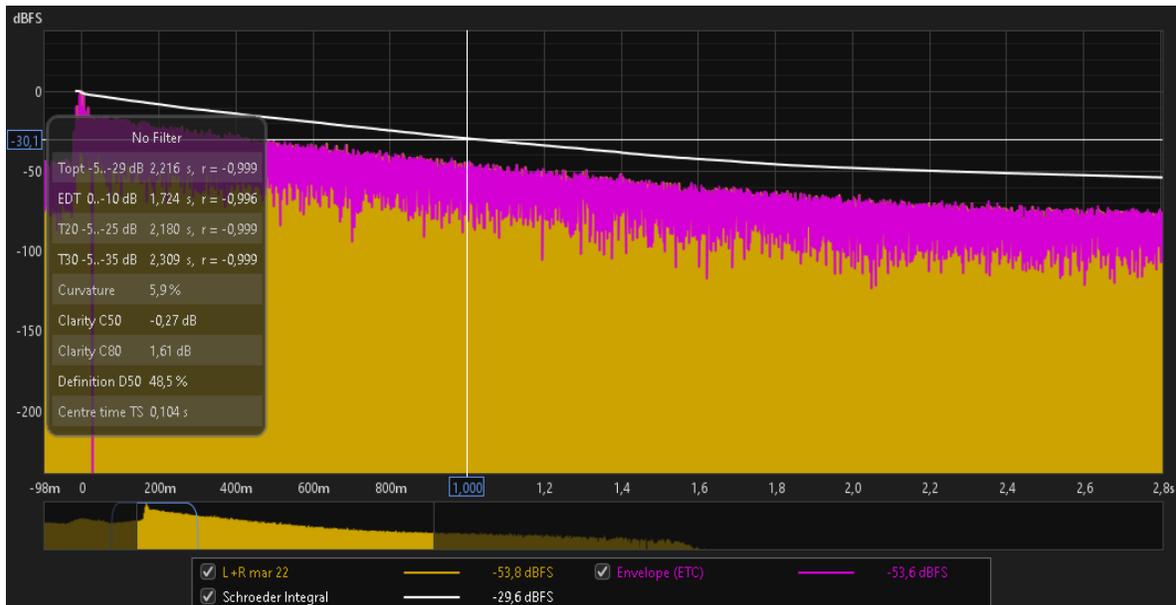
Figura 51 - Estampido ideal capturado no templo religioso condição atual P3 (fundo a esquerda)



Fonte: Autoria própria (2025)

Para esta condição o tempo de reverberação passou dos dois segundos (2,317segundos em T30) com tempo de decaimento de -29.5dBFS no primeiro segundo e -48.5 dBFS no segundo (Figura 52).

Figura 52 - Estampido ideal capturado no templo religioso condição atual P4 (fundo a direita)



Fonte: Autoria própria (2025)

Para esta condição o tempo de reverberação passou dos dois segundos (2,309 segundos em T30) com tempo de decaimento de -30.1dBFS no primeiro segundo e -47.7dBFS no segundo.

De acordo com aferição, os pontos P3 e P4 situados ao fundo da sala estão em condições muito parecidas, mostrando uma uniformidade em P3 na faixa de 120Hz a 1,4kHz ressoando por mais tempo as frequências de 350Hz a 700Hz por 2,618 segundos em T30, da mesma forma a faixa dos 700Hz a 1,4kHz ressoaram por 2,582 segundos em T30.

Da mesma forma P4 mostra uma uniformidade na faixa de 350Hz a 1,4kHz ressoando por mais tempo as frequências de 170Hz a 350Hz por 2,702 segundos em T30, da mesma forma a faixa dos 350Hz a 1,4kHz ressoaram por 2,598 segundos em T30 conforme mostram as Figuras 53 e 54.

Figura 53 - Frequências e tempo de reverberação no ponto 3



. Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 54 - Frequências e tempo de reverberação no ponto 4



Fonte: Autoria própria (2025)

O termo “Tempo de reverberação”, que é o tempo que o som leva para diminuir 60 decibéis (dB) após a interrupção de uma fonte sonora. Esse dado é também conhecido como T60 ou RT60.

Os dados aferidos e exportados no *software* (REW) geraram gráficos com leituras feitas em T20, que trata do tempo para diminuir 20 decibéis (dB) e T30 que trata do tempo para diminuir 30 decibéis (dB), havendo assim a necessidade de conversão desses valores para T60 ou RT60. Para esta conversão é necessária a multiplicação dos valores analisados, onde para T20 valores representados no gráfico multiplicados por 3 e para T30 multiplicados por 2 (Figura 55).

Figura 55 - Conversão de dados T20 e T30 para parâmetros T60 ou RT60

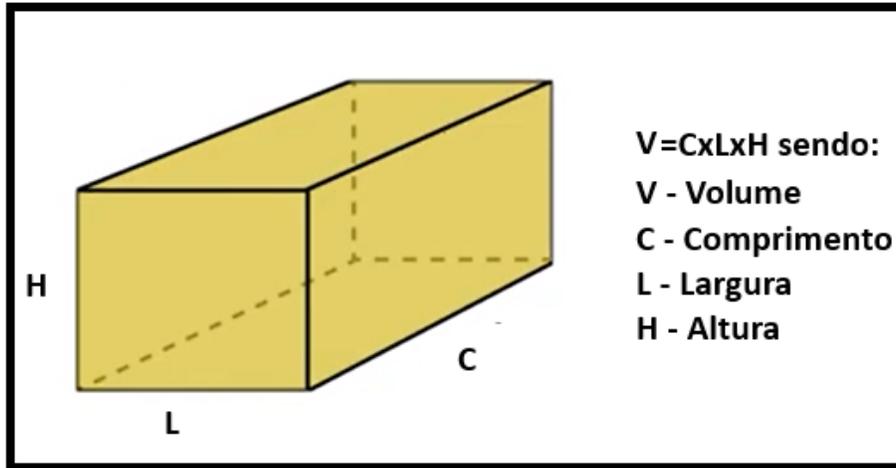
<p>T20</p> <ul style="list-style-type: none"> • The measurement requires a relatively small dynamic measurement range of ~35 dB above the noise floor for each frequency band. • RT60 (T20) = 3 x time measured for a 20 dB decay
<p>T30</p> <ul style="list-style-type: none"> • The measurement requires a dynamic measurement range of ~45 dB above the noise floor for each frequency band. • RT60 (T30) = 2 x time measured for a 30 dB decay

Fonte: https://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/NTi-Audio-AppNote-Reverberation-Time.pdf?utm_source=chatgpt.com

Conforme os resultados obtidos nas análises do Templo Religioso, demonstrados graficamente no *REW* e que foram convertidos para T60 ou RT60 para que pudéssemos tratar do tempo de reverberação e embasados na NBR12179, chegamos à conclusão que o ambiente possui algumas deficiências em seu condicionamento acústico e que devem ser tratadas para atender as a NBR12179 e conseqüentemente as NBR10151, NBR10152.

A maiorias das frequências principalmente entre 500Hz e 1.4kHz ressoam no ambiente por um tempo superior ao estabelecido na tabela de reverberação da NBR12179, norma essa que trata da acústica em ambientes fechados. Para esta comparação devemos calcular o volume do ambiente estudado através da fórmula demonstrada na Figura 56.

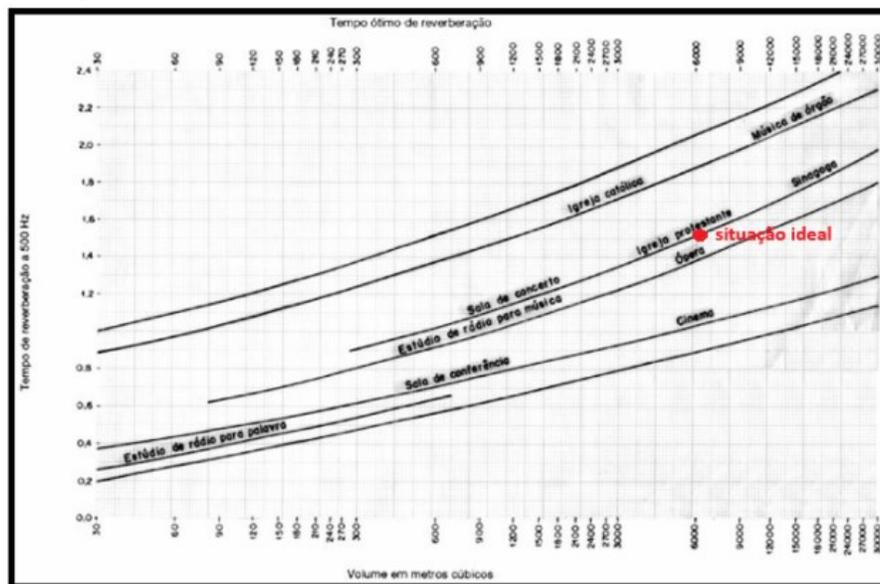
Figura 56 - Cálculo do volume do ambiente



Fonte: Autoria própria (2025)

Para isto, deve-se nos lembrar que a nave da igreja e o púlpito estão situadas no mesmo ambiente e possuem respectivamente um comprimento de 40 metros, largura de 15 metros e altura de 8 metros, resultando assim em um volume total de 4800m^3 . Com este dado e os parâmetros de T60 obtidos com ajuda do software, podemos fazer um comparativo de tempo e volume e comparar os resultados na tabela de tempo ótimos de reverberação da NBR12179, conforme Figura 57.

Figura 57 - Tabela de Tempo Ótimo de Reverberação NBR12179



Fonte: NBR12179/1992

Conforme a Figura 57, o tempo ótimo de reverberação deveria estar próximo a 2 segundos, considerando os tempos observados no estudo. Após a conversão chegamos a uns resultados médios para algumas frequências como 500Hz e 1000Hz em certos momentos chegaram a ressoar por aproximadamente 5 segundos, tempo este que excede o estabelecido pela referida norma.

Para o estudo da acústica, existem certos índices que tratam da qualidade do ambiente de acordo com a sua finalidade. O templo religioso se enquadra hora como auditório de palavra falada, hora com músicas e palavras cantadas por banda ou até mesmo através dos dispositivos de reprodução de áudio instalados na sala; sendo assim a análise da qualidade da fala conhecida como STI (*speech transmission index*) ou índice de transmissão da fala.

A inteligibilidade sonora pode ser otimizada para condições de audições específicas, já que ela diminui com o aumento do tempo de reverberação de um ambiente. Sendo assim, a inteligibilidade da fala como fator crucial para uma comunicação eficaz, exigindo que ao menos 90% das palavras sejam compreendidas.

Desse modo, os baixos valores de inteligibilidade causados pela reverberação acima dos níveis indicados impactam diretamente no índice de transmissão de fala STI (*speech transmission index*), a falta de condicionamento

acústico prejudica a interpretação dos ouvintes, ou seja, as ondas sonoras das palavras permanecem no ambiente devido as reflexões sem controle e as palavras seguintes acabam sendo interpostas, chegando ao ouvinte como sobreposição, exigindo um nível de concentração maior para compreensão do discurso. Este fator, na maioria das vezes acaba sendo compensado com um nível de pressão sonora maior, ou seja, um ganho de volume, em termos matemáticos a palavra falada deve estar pelo menos 15dB acima do ruído de fundo para ter uma ótima compreensão.

O ambiente com condicionamento acústico mais apropriado, com suas reflexões mais controladas se torna mais propício e confortável para a identificação do discurso.

4.5 Solução Proposta

Como solução para a pressão sonora acima dos limites e embasado nos níveis estabelecidos pelas normas NR-15, NR-12179, NBR10151 e NBR10152, de acordo com os estudos realizados nesse trabalho, indica-se o tratamento acústico do ambiente, para melhorar seu condicionamento, com instalações estratégicas de painéis absorvedores (Figura 58) dispostos em suas laterais e difusores acústicos dispostos ao fundo do templo (Figura 59).

Figura 58 - Painéis Acústicos Absorvedores



Fonte: <https://www.tecnicaacustica.com.br>

Figura 59 - Painéis Acústicos Difusores de onda

Fonte: <https://www.tecnicaacustica.com.br>

Com a instalação dos painéis acústicos espera-se um maior controle das reflexões sonoras no interior do templo. A instalação e utilização dos difusores acústicos nas paredes ao fundo da sala, tem como função refletir parte das ondas sonoras emitidas pelo dispositivo amplificador de áudio diretamente para os ouvintes e narrador e parte refletida para os painéis acústicos sendo amortecidas ou até mesmo absorvidas por eles, alcançando assim um conceito conhecido como sala equilibrada, que é o ambiente que tem suas ressonâncias mais controladas, assim como as aferições feitas na sala de gravação.

Com melhor condicionamento melhoramos o tempo de reverberação de sala e trazendo um nível de compreensão maior a seus ouvintes, com melhoras significativas nos ruídos de fundo. Com essa otimização e aplicando os 15dB necessários para boa compreensão dos ouvintes conseguimos uma pressão sonora menor que no ambiente inicial.

Um aspecto relevante do ponto de vista ocupacional, de acordo com os estudos realizados e comparados a tabela de tempo ótimo de reverberação da NBR 12179, é que quanto mais próximo da situação ideal de reverberação, menor o ruído de fundo e maior a inteligibilidade aos membros, alcançando assim uma otimização dos níveis de pressão sonora necessárias no interior do templo, tal condição só pode ser alcançada, com a implantação da solução acústica.

Outro aspecto importante que pode ser alcançado com a melhoria acústica é enquadrar-se nos critérios da NBR10152 com ruídos de fundo de 40dB

estabelecidos para templos religiosos e igrejas deste porte, melhorando a geração de ruídos externos máximos estabelecidos pela NBR 10151 para áreas mistas com vocação comercial e administrativa que indica na tabela 1, um nível de 55dB para emissão de ruídos de fundo no período noturno, e conseqüentemente tornando menor o tempo de exposição a ruídos e níveis de pressão sonora, os trabalhadores e membros do templo, situação essa embasada no anexo 1 da NR-15, a fim de prevenção a saúde e bem estar de todos os seus usuários.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo prático realizado foi constatado que no templo religioso que foi objeto deste estudo os valores de inteligibilidade da fala apresentaram-se baixos devido ao tempo de reverberação muito acima dos níveis ideais dispostos na NBR12179. No que se refere às aferições dos índices de reverberação as medições apontaram que o templo possui deficiências acústicas que precisam ser readequadas, para alcançar níveis otimizados de pressão sonora.

Dessa forma, ocorreu um impacto no índice de transmissão de fala STI (*speech transmission index*) sendo necessária a compensação de volume para que se mantenha a boa compreensão dos discursos realizados no templo.

Conforme os resultados obtidos nas análises do Templo Religioso, demonstrados graficamente no REW e que foram convertidos para T60 ou RT60 para que pudéssemos tratar do tempo de reverberação e embasados na NBR12179, chegamos à conclusão que o ambiente possui algumas deficiências em seu condicionamento acústico e que devem ser tratadas para atender as a NBR12179, NBR10151 e NBR10152.

Foi constatado por meio das aferições que a pressão sonora estava acima dos limites estabelecidos pelas normas NBR10151 e NBR10152.

A partir dos resultados evidenciados as propostas de solução para melhorar o tratamento acústico do ambiente e mitigar os riscos ocupacionais foi sugerir instalações estratégicas de painéis absorvedores dispostos em suas laterais e difusores acústicos dispostos ao fundo do templo. Com a instalação dos painéis

acústicos espera-se um maior controle das reflexões sonoras no interior do templo. A instalação e utilização dos difusores acústicos nas paredes ao fundo da sala, têm como função refletir parte das ondas sonoras emitidas pelo dispositivo amplificador de áudio diretamente para os ouvintes e narrador e parte refletida para os painéis acústicos sendo amortecidas ou até mesmo absorvidas por eles. Com isto, pode-se alcançar a sala equilibrada, que é o ambiente que tem suas ressonâncias mais controladas, assim como as aferições feitas na sala de gravação

Os resultados deste estudo demonstram que em questão da Segurança do Trabalho é necessário levantar, diagnosticar e mitigar os riscos ocupacionais a que ficam expostos os líderes religiosos, membros do coro, músicos e outros funcionários que passam longos períodos nesses espaços. Acústica ruim, reverberação excessiva ou altos níveis de ruído podem contribuir para tensão vocal, fadiga auditiva e até mesmo danos auditivos de longo prazo para aqueles que frequentemente falam ou se apresentam em tais ambientes. Os fiéis que frequentam o templo, embora fiquem em exposição por menor tempo, também necessitam de tratamento acústico adequando a fim de minimizar os riscos à saúde.

Dentro desta ótica, pode-se afirmar que em templos religiosos o tratamento acústico adequado é essencial para prevenir riscos à saúde das pessoas presentes aos cultos, tendo em vista que ocorre uma exposição permanente ou intermitente às emissões sonoras.

Diante disto, é necessário cumprir as regras de segurança pertinentes às atividades sonoras que são realizadas dentro dos templos religiosos, buscando oferecer um ambiente que esteja livre de fatores de riscos ocupacionais e para saúde.

O presente estudo evidenciou a importância da eficiência dos sistemas acústicos das igrejas de forma que minimize a propagação de ruídos, proporcionando conforto interno e não afetando a população que reside ao redor do templo. Com esta eficácia pode-se atingir o conforto ambiental e garantir um padrão de qualidade no isolamento e conforto acústico.

Como sugestão para futuros trabalhos, há a necessidade de prosseguir as investigações científicas desenvolvendo estudos empíricos para verificar materiais empregados e seus efeitos para o tratamento acústico adequado nestes ambientes.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Manuela; SILVA, Sandra. **Acústica. Portugal: Universidade do Minho – Escola de Engenharia**. 2005. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/34821363/Sebentade-Acustica>. Acessado em: 17 set 2010
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR10152: níveis de ruídos para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987
- BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 7 jul. 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/L13146.htm. Acesso em: 13 dez. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 14.768, de 22 de dezembro de 2023**. Dispõe sobre [insira aqui o título resumido ou tema principal da lei]. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, [página, se disponível], [data de publicação]. Disponível em: [link da lei, se aplicável]. Acesso em: 13 dez. 2024.
- BRASIL. Lei nº 14.768, de 9 de outubro de 2023. Dispõe sobre [insira aqui o título resumido ou o tema da lei, se necessário]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14768.htm. Acesso em: 13 dez. 2024.
- BRASIL. **NBR 10151: Acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento**. Rio de Janeiro, 2000, apud ABNT. Associação Brasileira de Normas técnicas. 2000.
- BRASIL. **NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico - procedimento**. Rio de Janeiro, 1987, apud ABNT. Associação Brasileira de Normas técnicas. 2000.
- CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica**. Brasília. Editora Thesaurus, 2010.
- CASTRO, Gabriel Gonçalves Pessoa de; BARROSO, Hugo Nascimento; BRASIL JÚNIOR, Júlio César; REIS, Mariana Matos dos; RAMOS, Ylthar; FLORENZANO, Giovanna de Souza. Erros de cálculo na Engenharia. **Brazilian Journal Of Development**. Resende-RJ, p. 27338-27346. nov. 2019.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 002, de 08 de março de 1990**. Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – Silêncio. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: 09 out. 2021.

COSTA, Ennio Cruz. **Acústica Técnica**. São Paulo: Blucher, 2003.

CRUZ, Manoel José Oliveira da et al. Avaliação do isolamento acústico em um templo religioso na cidade de Santarém Pará. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v.37, n.1, p.7-18, junho -2016.

DE MARCO, Conrado Silva. **Elemento de Acústica Arquitetônica**. São Paulo. Nobel. 1982.

IEC 60268-16 (2011). Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/44662/nbriec60268-16-equipamentos-de-sistemas-de-som-parte-16-avaliacao-objetiva-da-inteligibilidade-da-fala-pelo-indice-de-transmissao-da-fala>. Acesso em: 13 dez. 2024.

FERRAZ, Bruno César Laranjeira. **A intensidade de ruído, nas instalações da empresa do ramo de desenvolvimento de softwares, e como os programadores da empresa são afetados por este fator ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Tecnologia em Gestão da Tecnologia da Informação) 86 f. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano Floresta-PB, 2014.

FÍSICA E VESTIBULAR. **Ondas sonoras**. 2024. Disponível em: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatória/acustica/ondas-sonoras>. Acesso em: 13 dez. 2024.

GONÇALVES, Valéria de Sá Barreto et al. Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores. **Produção**, v. 19, n. 3, p. 466-476, 2009.

HERRMANN, Júlio Otávio. **Medições e simulações de índice de transmissão de fala (STI) definição (D50) e tempo de reverberação (Tr) em salas de aula**. Dissertação (Engenharia Ambiental) 118 f. Universidade Federal do Paraná-Curitiba-PR, 2018.

HIRASHIMA, Simone Queiroz da Silveira; ASSIS, Eleonora Sad de. Percepção sonora e conforto acústico em espaços urbanos do município de Belo Horizonte, MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 7-22, jan./mar. 2017.

KOEFENDER, Silas Eliseu. **Estudo de caso do desempenho acústico de igreja localizada em Lajeado**. Trabalho de Conclusão de Curso (m Engenharia Civil) 73f. Centro Universitário UNIVATES, Lajeado- RS, 2017.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL. Decibelímetro. Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2020. Disponível em: <https://www.iau.usp.br/laboratorios/lca/index.php/decibelometro/>. Acesso em: 13 dez. 2024.

LACERDA, Marcio Ferreira. **Roteiro das aulas sobre qualidade acústica**. Material instrucional. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2018.

LIMA, Arthur Klenio Rodrigues. **Ponte Tacoma: o que aprendemos com ela?** 2022. Disponível em: <https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/27516/2/TCC%20-%20Arthur%20Klenio%20Rodrigues%20de%20Lima>. Acesso em: dez. 2024.

LIMA, Bruno Sampaio. **Condições de Conforto Acústico em Templos Religiosos**: Estudo de caso do Centro de Adoração, Brasília/DF. Trabalho de Conclusão do Curso (Engenharia Civil) 52 f. Centro Universitário de Brasília. Brasília -DF, 2019.

MORAIS JÚNIOR, Eugenio Silva de. **Acústica de igrejas**: estudos de caso da qualidade acústica em templos evangélicos com diferentes usos sonoros. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) 143 f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte-Natal- RN, 2020

NBR10151. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/NBR-10151-de-2000.pdf>. Acesso em: dez. 2024.

NBR 10152. Disponível em: <https://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2022/03/ABNT-NBR10152-AC%C3%9ASTICA-N%C3%8DVEIS-DE-PRESS%C3%83O-SONORA-EM-AMBIENTES-INTERNOS-E-EDIFICA%C3%87%C3%95ES.pdf>. Acesso em: dez. 2024.

NR17. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: dez. 2024.

NUNO, Caiado; MARTINEZ, Castro Rodrigues. **Análise do desempenho acústico de diferentes tipos de fachadas em edificações**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/4301/1/TCC%20%20Nuno%20Caiado%20V%20%20DEFESA.pdf>. Acesso em: dez. 2024.

PAZOS, Daniel Ferreira de Panta. **Caracterização da reflexão sonora de barreiras acústicas com superfícies corrugadas periódicas**. Tese (Engenharia Mecânica) 209 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2015.

PYT AUDIO. **Decoração**. 2024. Disponível em: <https://pytaudio.com>. Acesso em: dez. 2024.

RIBEIRO, Jaqueline Rodrigues; PUEL, Jéssica. **Avaliação da eficiência dos sistemas acústicos utilizados para uma edificação de cultos religiosos** - estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós Graduação em Gerenciamento e Execução de Obras,) 47 f. lato sensu, Instituto IDD.. Curitiba-PR, 2017.

SOUZA, Léa C. L. Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a Arquitetura – São Carlos: **EdUFSCar**, 2003.

STINGLIN, Douglas da Costa. **Relações entre a percepção musical e o ensino das características das ondas sonoras**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) 72 f. Universidade Tecnológica Federal. Curitiba-PR, 2017.

STRINO, Claudio Luiz; BEZERRA, Marcelo de Matos. O ruído gerado por templos religiosos e impacto de vizinhança causado no município do Rio de Janeiro. **Sci. Elec. Arch**. Vol. 15 (6) June 2022.

TIMM, Andrea. **Conforto ambiental - acústica**. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/75256001/conforto-ambiental-acustica>. Acesso em: 13 dez. 2024.

VECTORSTOCK. **Gráfico de nível de som de escala de decibéis**. br.freepik.com, 2021. Disponível em: https://br.freepik.com/vetores-premium/grafico-de-nivel-de-som-de-escala-de-decibeis_4179687.htm. Acesso em: dez. 2024.