

# Análise do Tempo de Reverberação em auditórios com uso escolar e proposta de intervenção

*Vitor Cunha de Souza; Larissa Miranda Medeiros; Maria Eduarda dos Santos Bernardo; Wagner de Sousa Santos (orientador); Marcos Souza Lenzi (coorientador).*

Escola SESI, Florianópolis - Santa Catarina

## RESUMO

O tempo de reverberação é um parâmetro crucial para uma melhor compreensão da fala em ambientes fechados, como é o caso de auditórios escolares que são utilizados também para aulas expositivas e eventos escolares. Existem vários fatores que contribuem para um ambiente físico propício para o aprendizado, dentre estes a qualidade sonora da sala de aula. Para verificar a qualidade sonora de salas o tempo de reverberação (TR) é um parâmetro inicial para esta abordagem. Níveis elevados de TR, por exemplo, podem prejudicar significativamente o entendimento adequado da fala, especialmente para alunos com dificuldades auditivas e pessoas com dificuldade de concentração. Por meio da implementação de medidas acústicas adequadas é possível criar ambientes escolares mais inclusivos e propícios ao aprendizado de todos os alunos. Neste estudo foram realizadas medições em um auditório de escola da rede particular localizada na cidade de Florianópolis/SC. O objetivo foi analisar pelo TR o nível de incômodo e comparar com a bibliografia de referência existentes. Os resultados mostraram que os valores de TR medidos ficaram próximos dos limites indicados (1 s) para ambientes deste tipo, mostrando a possibilidade de ajustes no layout do local, e a importância de avaliar a influência de um ambiente acusticamente adequado para um bom aprendizado.

Palavras-chave: Auditórios, tempo de reverberação, qualidade sonora.

## I. INTRODUÇÃO

Os auditórios escolares são, em sua maioria, utilizados para grandes eventos, palestras, convenções e afins. Todavia, estes devem trazer conforto e qualidade sonora para aqueles que o frequentam, pois quando alinhados, se transformam em verdadeiros centros de aprendizado, cultura e interação, atendendo às necessidades da comunidade escolar e promovendo o desenvolvimento integral dos alunos.

Os auditórios escolares, em sua essência, representam mais do que simples salas de aula ampliadas. Os mesmos são palcos para grandes eventos, palestras inspiradoras, apresentações culturais e momentos de interação que enriquecem a vida da

comunidade escolar. No entanto, para que esses espaços cumpram plenamente sua função, um aspecto crucial torna-se fundamental: a qualidade acústica. Por exemplo, em um auditório lotado de alunos atentos a uma palestra sobre um tema empolgante. O palestrante, com entusiasmo, desenvolveu suas palavras, mas, de repente, um som toma o auditório com persistência. As frases se misturam, a voz se torna ininteligível e a frustração se instala. Essa é apenas uma das diversas situações que podem surgir em um auditório com problemas acústicos, comprometendo a experiência de todos os presentes.

A acústica, por sua vez, é a ciência que estuda o comportamento do som em diferentes ambientes. No contexto dos auditórios, a qualidade acústica se refere à clareza, inteligibilidade e fidelidade com que o som se propaga e é percebido pelo público. Quando há problemas acústicos, como reverberação excessiva e ruídos externos, a comunicação se torna desafiadora, o conforto é comprometido e o aprendizado, a cultura e a interação são prejudicados.

Um dos principais problemas acústicos em auditórios é a reverberação. Esse fenômeno ocorre quando o som emitido por uma fonte, como a voz de um palestrante, se propaga pelo ambiente e bate nas superfícies, como paredes, teto e piso. Cada vez que o som colide com essas superfícies, ele perde energia, mas também é refletido de volta para o ambiente. Esse processo de reflexão gera um efeito de que pode durar por alguns segundos, dificultando a compreensão da fala e a percepção de sons mais sutis.

A reverberação é influenciada por diversos fatores, como o tamanho e o formato do auditório, os materiais utilizados na construção e no revestimento das superfícies, a presença de móveis e a quantidade de público. Em ambientes com superfícies duras e lisas, como concreto e vidro, a reverberação tende a ser mais intensa. Já em espaços com materiais absorventes, como madeira e tecido, o som é mais facilmente controlado devido às características de absorção destes ambientes.

Os problemas acústicos em auditórios escolares podem ter diversas consequências negativas, impactando diretamente no aprendizado, na cultura e na interação dos alunos, como é apresentado por LIBARDI *et al* (2006).

Dificuldade de aprendizado: A má qualidade sonora dificulta a compreensão da fala, especialmente em palestras e aulas expositivas. Isso pode levar à frustração dos alunos, à desmotivação e à perda de interesse pelo conteúdo.

**Cansaço auditivo:** A exposição prolongada a um ambiente com reverberação excessiva pode causar cansaço auditivo, fadiga e até mesmo zumbido nos ouvidos. Isso pode prejudicar a concentração e a capacidade de aprendizado dos alunos.

**Desconforto:** Um ambiente acusticamente inadequado também pode gerar desconforto físico e psicológico, como dor de cabeça, irritabilidade e dificuldade de se concentrar. Isso pode afetar negativamente a experiência dos alunos em eventos culturais e sociais.

**Prejuízo à comunicação:** A comunicação entre alunos, professores e palestrantes se torna mais difícil em um ambiente com problemas acústicos. Isso pode dificultar o trabalho em equipe, a resolução de problemas e o desenvolvimento de habilidades interpessoais.

**Limitação de atividades:** A má acústica pode limitar a realização de atividades que exigem boa qualidade sonora, como apresentações musicais, peças teatrais e debates.

Para garantir que os auditórios escolares cumpram seu papel de forma eficaz, é fundamental investir em medidas que melhorem a qualidade sonora do ambiente. Algumas das principais ações que podem ser tomadas incluem:

**Análise acústica** que é essencial realizar um estudo acústico detalhado do auditório para identificar os problemas específicos e propor soluções adequadas.

O tratamento acústico que envolve a aplicação de materiais absorventes nas paredes, teto e piso do auditório. Esses materiais ajudam a controlar a reverberação e melhorar a inteligibilidade da fala.

## II. OBJETIVO E QUESTÃO PROBLEMA

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar o tempo de reverberação em um auditório para uso escolar. Como objetivos específicos buscou-se medir o tempo de reverberação em auditórios e analisar os dados obtidos nas medições e comparar com os limites estabelecidos nas referências bibliográficas existentes. Ao final é proposta uma possível solução para ajustar os níveis de reverberação no auditório utilizando solução comercial.

O som é uma onda mecânica que se propaga por algum meio, sendo o mais comum o ar, porém também se propaga por sólidos e líquidos. Enquanto isso, o ruído é qualquer fonte sonora indesejada, sendo exemplos o motor e as buzinas de um carro no trânsito ou o som de um ar-condicionado em um escritório (BISTAFA, 2011).

Devido a urbanização e surgimento frequente de novas fonte de ruído é necessário um estudo melhor sobre a acústica de edificações, onde devem ser criadas normas coerentes com a realidade local em relação ao conforto acústico, visto que além de ser uma situação recorrente na sociedade, ainda é um assunto tratado com menos atenção do que deveria, causando problemas de saúde às pessoas.

Por meio de trabalhos como o de (MENDES et al., 2016 & LIBARDI et al., 2006) é possível analisar que escolas têm muito ruído e um alto tempo de reverberação, (MENDES et

al., 2016), em que foram feitas pesquisas de campo com 27 professores do ensino fundamental que concluíram que “24 (89,9%) referiram que a escola é ruidosa, 17 (63%) relataram que o ruído é proveniente da própria sala de aula, sendo ele forte (85,2%) e desagradável (77,8%).”(LIBARDI et al., 2006).

Um dos locais que atualmente na realidade brasileira não possui um bom planejamento acústico é o ambiente escolar, que por conta da falta de uma norma específica de conforto, muitas escolas acabam por ter uma deficiência de conforto acústico, o que por sua vez gera um maior nível de desatenção nas aulas e uma dificuldade do professor de explicar as matérias e as atividades para os alunos.

Conforme (SEEP et al, 2002) os Estados Unidos vem tendo um foco muito positivo na educação do país, onde um dos avanços notados foi na questão do conforto acústico nas salas de aula, visto que uma grande quantidade de ruído gerado dentro e fora das salas de aula gera um problema na inteligibilidade da fala do professor, que acaba por gerar uma dificuldade do entendimento dos alunos dentro do ambiente. O estudo realizado em 2002 aponta as consequências de uma falta de conforto acústico dentro das salas de aula e como pode ser caracterizado um bom nível de conforto. Com isso, pode ser comparado até com a situação atual do Brasil, visto que o país não possui uma norma que estabeleça níveis máximos de tempo de reverberação e transmissão sonora dentro das salas de aula.

Segundo Alarcão (2008), para “auditórios grandes (>50 pessoas)” o valor recomendado para o tempo de reverberação médio deveria ser menor do que 1,0 segundo como indicado na Tabela 1.

TABELA 1- Valores máximos recomendados para o tempo de reverberação, nos principais espaços escolares.

Tipo de Sala Receptora	Valores recomendados para o Tempo de Reverberação médio, $T_r$ [s]
Salas de aula, áreas para aprendizagem em geral, salas para seminários, laboratórios de línguas:	
$V < 300 \text{ m}^3$	0,6 - 0,8
$300 \text{ m}^3 \leq V < 600 \text{ m}^3$	0,7 - 0,9
Áreas para aprendizagem em <i>Open Space</i>	0,8 - 1,0
Salas de aulas de música	< 1,0
Salas para prática musical	< 0,8
Salas para prática musical em <i>ensemble</i>	0,6 - 1,2
Estúdios de gravação	0,6 - 1,2
<i>Régies</i> de gravação	< 0,5
Auditório pequeno (< 50 pessoas)	< 0,8
Auditório grande (> 50 pessoas)	< 1,0
Salas de estudo (individual, preparação de aulas)	< 0,8
Bibliotecas	< 1,0
Laboratórios de ciência e informática	< 0,8
Oficinas	1,0 - 1,2
Salas polivalentes	0,8 - 1,2
Ginásios	< 1,5
Gabinetes médicos, gabinetes para entrevistas	< 0,8
Refeitórios	< 1,0
Salas administrativas	< 1,0
Corredores, escadas	< 1,5

Fonte: (ALARCÃO et al., 2008)

O tempo de reverberação, ou  $T_{60}$ , é o tempo em segundos necessário para que um som impulsivo caia 60 dB após a fonte sonora ter sido interrompida. Embora esse conceito ainda seja muito utilizado, hoje em dia é impraticável fazer esta medição desta forma. Para solucionar este problema, novos métodos de cálculo de tempo de reverberação foram criados onde os mais

usados são o T30 e o T20.

O tempo de reverberação é uma medida que indica quanto tempo um som leva para "desaparecer" em um ambiente fechado após a fonte sonora ser interrompida. Pode ser calculado por meio da fórmula de Sabine (Equação 1).

Equação 1

$$Tr = (0,161 \cdot V) \div A$$

T60 = tempo de reverberação do ambiente estudado em (s);

V = volume da sala em m<sup>3</sup>;

A = representa a área de absorção sonora equivalente devido aos elementos construtivos da sala (paredes, teto, piso e janelas).

### III. DESCRIÇÃO DE MATERIAIS E MÉTODOS

Abordando as ODS, neste projeto foram utilizadas os seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável:

ODS 04- Educação de Qualidade;

ODS 08- Trabalho decente e crescimento econômico;

ODS 09 - Indústria, Inovação e Infraestrutura.

Foi utilizando o método de engenharia, uma proposta de extrema importância para a análise do tempo de reverberação nos auditórios escolares. Sendo baseado nas características físicas do ambiente, seu volume e os materiais de revestimento, estimando o tempo de reverberação através de equações pré definidas.

Na primeira etapa da análise da qualidade sonora no auditório, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para realizar o levantamento das bibliografias existentes sobre os seguintes temas:

- acústica
- qualidade sonora
- tempo de reverberação
- acústica de salas

A segunda etapa se deu com o estudo de como o tempo de reverberação é realizado de forma experimental. Foram determinados diferentes pontos de medição no auditório (ver Figura 1) distribuídos de acordo com o layout dos assentos.



Figura 1: Auditório analisado

Fonte: Autor (2024)

A terceira etapa se deu com os processos de medição no auditório escolar presente na rede particular de ensino em Florianópolis. Para a obtenção dos dados, foi aplicado o Método ISO 3382 pelo ruído impulsivo, consiste em determinar dois locais para a fonte dodecaédrica (L1 e L2) e cinco posições do microfone (P1, P2, etc.). As distâncias devem obedecer 0,5 m entre o microfone e os limites do compartimento; 1 m entre a fonte e o microfone e 0,7 m entre as posições do microfone, para assim fazer as medições de tempo de reverberação. Para análise do tempo de reverberação e medições foi utilizado o analisador tipo B & K 2270W, da marca Brüel & Kjaer, conforme a Figura 2.



Figura 2: Analisador de Nível de Pressão Sonora

Fonte: BRÜEL & KJAER.

Para emitir o sinal de excitação sonora dos ambientes foi utilizada a fonte omnidirecional da Brüel & Kjaer. Esta fonte usa 12 alto-falantes em uma configuração dodecaédrica para irradiar o som uniformemente como apresentado na Figura 3.



Figura 3: Fonte dodecaédrica  
Fonte: BRÜEL & KJAER

A quarta etapa realizou o comparativo com as normativas internacionais, para poder propor medidas que venham a auxiliar na melhoria dos parâmetros avaliados.

Na quinta etapa, ocorreu a escrita deste material como forma de registro e análise geral dos assuntos e resultados.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Por meio das medições realizadas com o analisador 2270W em sete posições e a fonte omnidirecional em duas, foram revelados níveis de reverberação consistentemente elevados (0,92 s) próximo do limite (1 s) apresentado por Alarcão (2008).

Esses níveis elevados de reverberação trazem consigo diversas consequências negativas, como o aumento da fadiga auditiva e dificuldade da compreensão da fala, em ambientes com fins escolares, onde a comunicação adequada se torna algo primordial para todo o processo educativo, esses efeitos podem ser extremamente prejudiciais, tornando as instruções dos professores menos compreensíveis e comprometendo a comunicação eficaz entre alunos e professores, resultando assim em um aumento da fadiga vocal para os docentes, que precisam elevar a voz constantemente para serem ouvidos, além de dificultar o entendimento dos alunos das lições, aumentando assim os níveis de irritação, desânimo, aborrecimento e fracasso escolar.

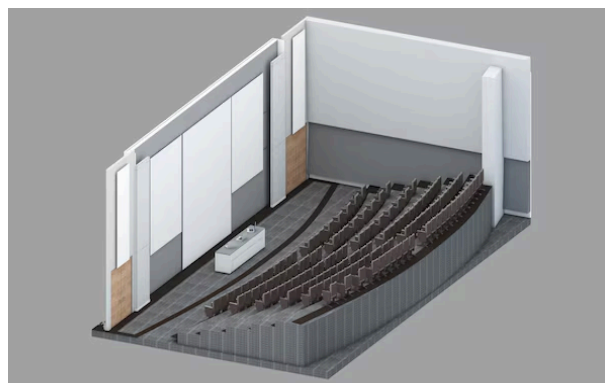


Figura 4: Exemplo de proposta de intervenção  
Fonte: FREEPIK.

#### V. CONCLUSÕES

Levando em conta os dados coletados, pode-se concluir que para um ambiente conveniente para a aprendizagem, bem-estar e saúde física e mental dos alunos e professores, é de extrema importância e necessidade, a adequação acústica dos auditórios escolares, que pode ser realizada, por exemplo, com a instalação de painéis de absorção sonora nas paredes (ver Figura 4). Se executada com eficiência, a intervenção proposta têm a capacidade e potencial de gerar uma transformação substancial na experiência escolar tanto dos alunos, quanto dos professores, resultando na melhoria da retenção e compreensão do conteúdo transmitido, além de poder proporcionar um ambiente de maior conforto e produtividade para os usuários assim envolvidos.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISTAFA, S. R. Acústica Aplicada ao Controle do Ruído. 02. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, SP, 2011.

BRÜEL & Kjær | B&K | Medição de Ruído e Vibração. disponível em: <https://www.bksv.com/pt>. Acesso 22 maio. 2024.

ALARCÃO, Diogo; FAFAIOL, C.COELHO, JL Bento. Acústica de salas de aula. Acústica, 2008.

LIBARDI, Aline et al. O ruído em sala de aula e a percepção dos professores de uma escola de ensino fundamental de Piracicaba. Distúrbios da comunicação, v. 18, n. 2, 2006.

MENDES, Amanda Louize Félix et al. Voz do professor: sintomas de desconforto do trato vocal, intensidade vocal e ruído em sala de aula. In: CODAS. Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, 2016. p. 168-175.

SEEP, Benjamin et al. Acústica de salas de aula. Acústica e Vibrações, v. 17, n. 29, p. 2-22-2-22, 2002.



## I. BIOGRAFIA



**MEDEIROS, Larissa M.**, nasci no dia 02 de julho de 2008 em Florianópolis Santa Catarina onde resido desde então. Neste ano de 2024, estou cursando o 2º ano do ensino médio no itinerário STEAM da Escola SESI de Florianópolis onde participo do grupo de Iniciação Científica de Matemática responsável pela “Análise do Tempo de Reverberação em

Auditórios com Uso Escola e Proposta de Intervenção”. Como experiências já participei de Penúltima Fase da ONHB 2023 (Olimpíada Nacional em História do Brasil) com certificação, Curso Plataforma Ápice Metodologia da Pesquisa e Orientação de projetos de Iniciação científica com certificação, Curso de Educação Financeira com certificação, Curso Mundo do Trabalho com certificação, Workshop Bella Hub de Desenvolvimento de perfis para atuarem no mundo da moda e do entretenimento com certificação e Feira Brasileira de Iniciação Científica (FEBIC), em Pomerode 2024 e sou certificada de fluência em inglês. Por mais que eu não tenha certeza sobre o que fazer quando me formar, tenho certeza que todas essas vivências serão de extrema importância e ajuda para a minha vida acadêmica futuramente.



**SOUZA, Vitor C.**, Nasci no dia 20 de março de 2008, em Florianópolis onde resido. Estudo na Escola SESI no itinerário STEAM, no segundo ano do ensino médio e integro o grupo de Iniciação Científica no grupo de “Análise do Tempo de Reverberação em Auditórios com Uso Escolar e Proposta de Intervenção”. Participei da Feira

Brasileira de Iniciação Científica (FEBIC), em Pomerode. Com grande importância acadêmica e pessoal, ganhamos certificado da etapa online e presencial. Além disso, participei do Torneio SESI de Robótica, nas fases Estadual e Nacional, no período de agosto 2023 à maio de 2024. Na edição Nacional, no mês de março em Brasília, todas as apresentações foram realizadas em língua estrangeira (inglês). Possuo certificado no curso de “Comunicação Empresarial” pela plataforma MEC, Curso Plataforma Ápice Metodologia da Pesquisa e Orientação de projetos de Iniciação Científica, com certificação, e medalhas de prata e ouro na Olimpíada Nacional de Geografia (OBG) nas edições de 2023 e 2024 - respectivamente. Ainda, na Escola SESI, recebi em todos os trimestres Mérito Escolar.



**SANTOS, B., Maria Eduarda.** Nasci dia 28 de julho de 2007, moro em Florianópolis, Santa Catarina. Estou cursando o STEAM na Escola SESI e fazendo parte da Iniciação Científica, no grupo de “Análise do Tempo de Reverberação em Auditórios com Uso Escolar e Proposta de Intervenção”. Este ano participamos da FEBIC (Feira Brasileira de Iniciação Científica),

na cidade de Pomerode. Ganhamos certificado de participação da fase virtual e presencial, além do conhecimento adquirido nesta feira. O que é de extrema importância para a nossa vida acadêmica, podendo acrescentar mais experiências no nosso currículo.