



FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE - FANESE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO ELDER DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE
CASO DA FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE
(FANESE)

ARACAJU
2024

JOÃO ELDER DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE
CASO DA FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE
(FANESE)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da FANESE como requisito final e
obrigatório para a obtenção do Grau de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: D.Sc. Marcos Antonio Passos
Chagas

Coordenador do Curso: Me. Elísio
Cristóvão Souza dos Santos

**ARACAJU
2024**

S237a

SANTOS, João Elder dos

Avaliação do conforto acústico em edificações :
estudo de caso da faculdade de administração e
negócios de sergipe (fanese) / João Elder dos
Santos. - Aracaju, 2024. 47f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia)
Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe.
Coordenação de Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Antonio Passos
Chagas

1. Engenharia civil 2. Acústica 3.Reverberação
4.Ruído I. Título

CDU 624

(043.2)

JOÃO ELDER DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE
CASO DA FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE
(FANESE)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil da FANESE, em cumprimento da disciplina Projeto de Engenharia II Obrigatório e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil, no período de 2024.1.

Aracaju (SE), 05 de junho de 2024.

Nota/Conteúdo: 8,0 (oito)

Nota/Metodologia: 8,0 (oito)

Média Ponderada: 8,0 (oito)

João Elder dos Santos

João Elder dos Santos

Marcos Antonio Passos Chagas

D.Sc. Marcos Antonio Passos Chagas

Heloisa Thais R. de Souza

Profª. Dª. Sc. Heloisa Thais Rodrigues de Souza

Jeane Karla de Mendonça Mota

Profª. Dª. Sc. Jeane Karla de Mendonça Mota

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda a providência, pela vida, por minha família.

Aos meus pais, José Maria e Elizia, sempre presentes, e grandes incentivadores do meu desenvolvimento.

À minha esposa, Duciélma, que têm acompanhado de perto este trabalho, todo o desenrolar do curso e que é apoio contínuo a cada dia.

À minha filha, Maria Clara, que me motiva sempre a buscar o desenvolvimento e ser exemplo para ela.

Ao meu Orientador Professor Doutor Marcos Chagas pelo acompanhamento do trabalho e disponibilidade.

À Professora Doutora Heloísa que tem sido um canal de motivação aos alunos.

Dedico este trabalho à minha família,
pais, esposa, filha, irmãos e
sobrinhos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da área de audição dos seres humanos.....	18
Figura 2 - Anatomia da orelha humana	19
Figura 3 - Curvas de níveis de audibilidade do ouvido humano.....	20
Figura 4 - Energia sonora incidente em diferentes superfícies	24
Figura 5 -TR recomendado para diferentes ambientes em 500 Hz.....	25
Figura 6 - Planta baixa da sala 104 com indicação dos pontos de fonte sonora e medição.	28
Figura 7 - Planta baixa da sala 116 com indicação dos pontos de fonte sonora e medição.	28
Figura 8 - Planta baixa da sala 205 com indicação dos pontos de fonte sonora e medição.	29
Figura 9 - Balão e sonômetro	30
Figura 10 - Calibrador Acústico	30
Figura 11 - Microfone Omnidirecional ECM800 e Interface de Áudio SSL12.....	31
Figura 12 - Ajuste do microfone com calibrador	31
Figura 13 - Nivelamento dos receptores para posicionamento	32
Figura 14 - Modelo de formulário.....	33
Figura 15 - Tempo de reverberação em salas de aula.....	34
Figura 16 - Comparativo do som residual da sala 205	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Referência de média de nível de som residual	22
Tabela 2 - Tempo de reverberação medido	34
Tabela 3 - Tempo de reverberação calculado	34
Tabela 4 - Laeq x Lapeak	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tempo de reverberação para a sala 104.....	37
Gráfico 2 - Tempo de reverberação para a sala 116.....	37
Gráfico 3 - Tempo de reverberação para a sala 205.....	38
Gráfico 4 - Vínculo com a instituição e percepção diária.....	39
Gráfico 5 - Sintomas apresentados	39
Gráfico 6 - Percepção acústica sobre a FANESE	40

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

dB - Decibéis

FANESE – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe

Hz – hertz

kHz – kilohertz

LA_{peak} – Nível Máximo de Pressão Sonora

Log - Logaritmo

Loudness – Percepção Humana de Pressão Sonora

m/s – Metros por segundo

NPS – Nível de Pressão Sonora

Phon – Unidade de Intensidade Sonora

ProAcústica – Associação Brasileira para a Qualidade Acústica

PVC – Policloreto de Vinil

RLA_{eq} – Nível de Pressão Sonora Equivalente Ponderada em A

$RLAS_{max}$ – Nível Máximo de Pressão Sonora Ponderada em A e Ponderada em S

RL_{nc} – Nível de Avaliação de Ruído Representativo de um Ambiente

TR – Tempo de Reverberação

RESUMO

A acústica de salas é um tema, também, pertencente a engenharia civil, em que por meio de métodos construtivos e emprego de materiais, condicionam um espaço para determinada utilização. A exposição ao ruído nos ambientes urbanos tem afetado a saúde das pessoas e o conforto acústico desses ambientes, por vezes, são ignorados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade acústica de salas de aula da FANESE com o emprego da NBR 3382-2, pela medição do som residual e tempo de reverberação com a utilização do sonômetro e microfone de medição e compará-los com os requisitos da NBR 10152.

Também foi elaborado um questionário misto para identificar a percepção dos usuários quanto a exposição ao ruído e condicionamento acústico dos ambientes. Percebeu-se que melhorias são necessárias para melhor conforto e qualidade das salas em relação ao condicionamento acústico, onde mudanças foram sugeridas. Foi observado que o tema precisa ser mais divulgado, a fim de que as pessoas tenham uma melhor compreensão e consequentemente espaços mais saudáveis.

Palavras-chave: Engenharia. Civil. Acústica. Reverberação. Ruído.

ABSTRACT

The acoustics of classrooms is a subject that also belongs to civil engineering, where construction methods and the use of materials condition a space for a particular use. Exposure to noise in urban environments has affected people's health and the acoustic comfort of these environments is sometimes overlooked. The aim of this work was to assess the acoustic quality of FANESE classrooms using NBR 3382-2, by measuring residual sound and reverberation time using a sound level meter and measuring microphone and comparing them with the requirements of NBR 10152.

A mixed questionnaire was also drawn up to identify users' perceptions of noise exposure and room acoustic conditioning. Improvements were found to be necessary to improve the comfort and quality of the rooms in terms of acoustic conditioning, and changes were suggested. It was noted that the subject needs to be better publicized so that people have a better understanding and consequently healthier spaces.

Keywords: Engineering. Civil. Acoustic. Reverberation. Noise.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Som	17
2.2 Nível de Pressão sonora	18
2.3 Ouvido Humano	19
2.4 Audibilidade (<i>Loudness</i>)	20
2.5 Ruído	21
2.6 Acústica de ambientes internos	22
2.6.1 Absorção Sonora	23
2.6.2 Reflexão Sonora	23
2.6.3 Difusão Sonora	23
2.6.4 Reverberação	24
2.6.5 Tempo de reverberação (TR)	25
2.7 Normas	26
3 METODOLOGIA	27
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42
APENDICE A – EXEMPLO DE CAPTURA DE IMPULSO SONORO	44

APENDICE B – GRÁFICO DO TR CAPTURADO DO SOFTWARE <i>ROOM EQ WIZARD</i>	44
APENDICE C – TABELA COM PARÂMETROS ACÚSTICOS CAPTURADA DO SOFTWARE <i>ROOM EQ WIZARD</i>	45
APENDICE D – EXEMPLO DE RELATÓRIO GERADO PELO SONÔMETRO <i>OCTAVA PLUS</i>	46

1 INTRODUÇÃO

A acústica é uma área interdisciplinar que envolve diferentes ramos de conhecimento como especialidades da saúde, física, música, arquitetura e engenharias, dentre elas, a engenharia civil. Nas edificações, é tema da engenharia civil, quando é abordado o desempenho acústico, onde é observado o isolamento sonoro entre ambientes e o condicionamento interno, por meio de projeto, do emprego de materiais e técnicas construtivas.

A falta de cuidado com o tratamento acústico dos espaços urbanos é cada vez mais preocupante com o crescimento das cidades, e conseqüentemente o controle do ruído e a preservação da qualidade ambiental faz-se mais necessária, conforme Souza (2012). A norma brasileira de desempenho 15575:2013 traz referências e especificações quanto aos critérios de conforto das edificações, dentre elas as condições de desempenho acústico, e é fundamental que as instituições públicas e privadas atendam aos requisitos às áreas destinadas em função da sua utilização.

A exposição humana ao ruído é causa de muitos problemas de saúde, como estresse, problemas relacionados ao sono, irritabilidade, perda auditiva, entre outros, e por vezes, os ambientes destinados a utilização não são preparados por falta de conhecimento, cuidado e até mesmo negligência. Ambientes que são acusticamente adequados a sua utilização proporcionam um melhor conforto e aprendizado aos seus usuários, como exemplo, as salas de aula que demandam pouco ruído residual e tempo de reverberação adequado.

O ruído, de acordo com o manual ProAcústica e Cetesb Norma 10151:2019 (2023), por ser um fenômeno não visível, passa despercebido em alguns casos conduzindo o homem a acostumar-se com o seu excesso, e a norma ABNT NBR 10151:2019, sobre medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas, foi desenvolvida visando a avaliação sonora ambiental em função do uso e ocupação do solo. A norma estabelece procedimentos técnicos de medição de níveis de pressão sonora em ambientes externos e internos às edificações, bem como limites para avaliação dos resultados.

Diante do exposto a presente pesquisa tem como objetivo geral avaliar o desempenho acústico de salas de aula da FANESE, observando suas características quanto a sua função e atendimento aos requisitos adotados na NBR 10152. E como objetivos específicos, tem-se:

- Realizar ensaios técnicos para obter as características de desempenho das salas pelo método de resposta ao impulso contido na NBR 3382-2;
- Avaliar e levantar quantitativamente os parâmetros atuais de Tempo de Reverberação e Som Residual das salas selecionadas;
- Aplicar questionário ao público da instituição a fim de identificar a percepção sobre a influência do ruído e tratamento acústico;
- Propor melhorias nos ambientes em questão com foco no desempenho acústico caso necessário.

Como apresentado, o cuidado com a saúde humana em relação ao excesso de exposição ao ruído nos ambientes urbanos tem propiciado uma maior atenção por diferentes áreas de atuação. Segundo Brandão (2016) é importante conhecer o comportamento do som nos ambientes e buscar controlá-lo para tornar o ambiente acusticamente adequado a sua utilização principal.

A exposição prolongada ao ruído causa perda de audição, porém efeitos adversos podem ser manifestados, como alterações cardiovasculares, distúrbios respiratórios e na saúde física e mental. E os efeitos não auditivos do ruído são classificados como fisiológicos e de desempenho, podendo ser temporários ou permanentes, conforme Bistafa (2018).

Em salas de músicas, como estúdios, por exemplo, as reflexões devem ser controladas, porém, mantendo-se uma sonoridade com pouca reverberação, combinando absorção e reflexões difusas sempre que possível. Para salas de aula é a absorção que deve dominar, já que nesses casos é importante que se tenha alta inteligibilidade da fala, controlando o nível de ruído e os altos níveis de reverberação. Este trabalho busca por meio de ensaios, comparar resultados obtidos com valores esperados para as salas de aula, e apresentar sugestões viáveis de implementação, caso necessário.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conceitos relacionados ao comportamento do som, a acústica de ambientes e normas pertencentes ao tema do trabalho serão apresentados para melhor entendimento.

2.1 Som

O som tem sua origem na vibração de um objeto e essa vibração sendo propagada através de um meio é captado pelo ouvido humano, o meio de propagação quando associado a construção civil, pode-se considerar o ar e os materiais de construção empregados, Souza (2012).

A faixa audível de frequências ao ouvido humano está compreendida entre 20Hz e 20KHz, estas frequências são oscilações e cada frequência isolada corresponde a uma altura audível, como exemplo, a nota lá 4 (440Hz) utilizada em diapasão para ajuste de instrumentos musicais.

Outro parâmetro de relevante conhecimento é a amplitude do som, em que a energia sonora empregada está associada ao poder de propagação do som e quanto maior a energia aplicada, maior será a percepção de intensidade do som.

Conforme Souza (2012) uma característica fundamental para o desempenho acústico de salas é o comprimento de onda, pois esta grandeza é caracterizada pelo seu comportamento diante das superfícies do ambiente. O comprimento de onda parte da correlação entre a frequência e a velocidade de propagação do som, para o caso do ar, cerca de 344 m/s. Como apresentado na equação a seguir:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Onde: λ - Comprimento de onda;

v - Velocidade do som;

f – Frequência

2.2 Nível de Pressão sonora

De acordo com Brandão (2016) a faixa de valores entre o limite inferior de percepção da pressão sonora e o limite superior, antes da dor, é de cerca de 10 trilhões de vezes. Como essa variação numérica é muito grande e nossa percepção de volume sonoro não é linear, mas logarítmica, foi adotado o decibel para representar as variações de pressão sonora de forma mais próxima da capacidade humana. O ouvido humano tende a integrar sons cujos intervalos são muito próximos devido não ter uma resolução temporal infinita. A definição do Nível de Pressão Sonora (NPS), que considera o valor médio quadrático (RMS) da pressão sonora e o limiar da audição em 1000 Hz, que é utilizado como pressão de referência, foi adotada para melhor compreensão. O NPS é expresso como:

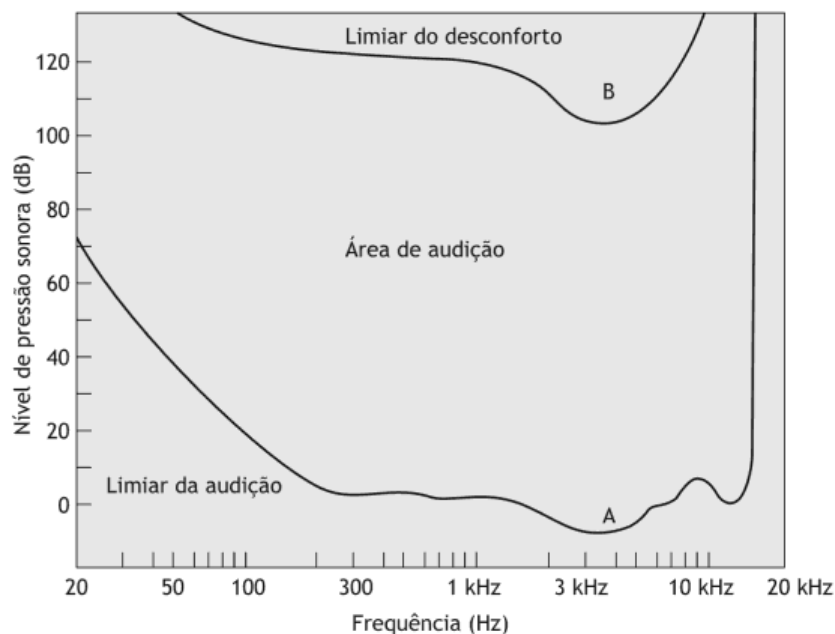
$$NPS = 10 \log \left(\frac{p_{rms}}{p_{ref}} \right)^2$$

Onde: p_{rms} – Pressão média ponderada

p_{ref} – Pressão de referência (20μPa)

A figura 1 representa a área de audição dos seres humanos, delimitada pelo limiar da audição e limiar do desconforto auditivo.

Figura 1 - Representação da área de audição dos seres humanos



Fonte: Bistafa, 2018.

2.3 Ouvido Humano

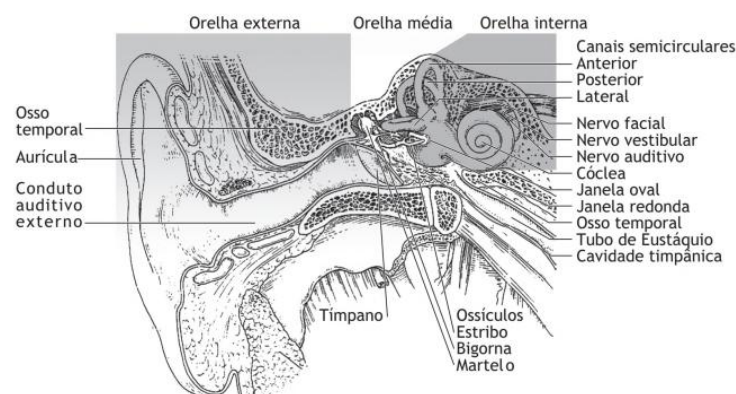
O ouvido humano é formado por três partes: o ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno, e por meio dele conseguimos localizar fontes sonoras e timbres. (Falcão, 2019)

O ouvido externo é constituído pela orelha e pelo canal auricular, responsável pela localização de fontes sonoras e o seu formato tem influência até mesmo na amplificação de certas regiões de frequências que escutamos.

No ouvido médio é iniciado o processo de conversão, o som torna-se vibração mecânica quando faz o tímpano vibrar e, conseqüentemente, vibra os 3 ossículos acoplados a ele: o martelo, a bigorna e o estribo. Quando um som qualquer atinge o tímpano, os 3 ossículos vibram em harmonia com a vibração do tímpano e a transferem até uma estrutura chamada janela oval. Essa estrutura é a porta de entrada para o ouvido interno e para a cóclea.

A cóclea e o nervo auditivo fazem parte do ouvido interno. A cóclea é um tubo em formato de caracol com um líquido dentro e diversas microestruturas similares a pequenos cílios. Ao decorrer do comprimento deste tubo em formato de caracol, essas estruturas ciliadas vão ficando maiores, onde as estruturas maiores e mais robustas, mais distantes da janela oval, são responsáveis por converter as baixas frequências em impulsos elétricos, enquanto as estruturas menores e mais delicadas vão ser responsáveis por converter as altas frequências em impulsos elétricos. Esses impulsos elétricos, por sua vez, são transmitidos ao cérebro por meio do nervo auditivo. A figura 2 apresenta um corte das partes do ouvido humano.

Figura 2 - Anatomia da orelha humana

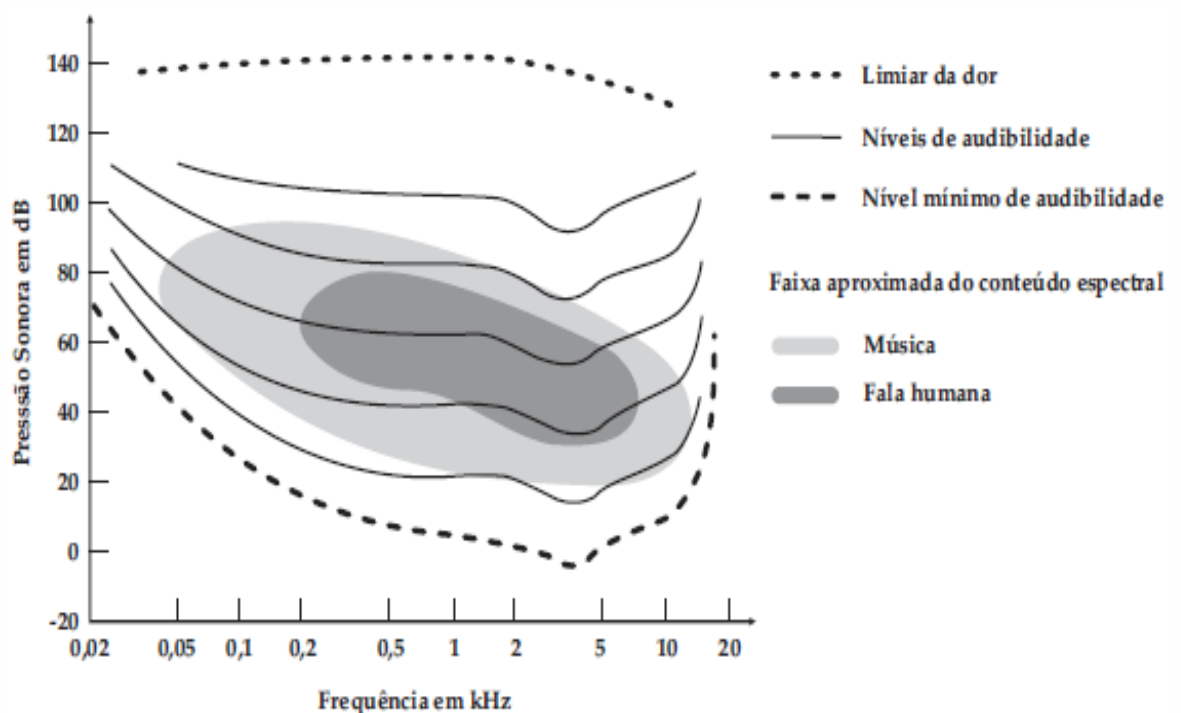


Fonte: Bistafa, 2018.

2.4 Audibilidade (*Loudness*)

A sensação humana da intensidade dos sons depende da frequência que está sendo emitida, assim surgiu a grandeza psicoacústica do nível de audibilidade que é função do nível sonoro e frequência do som. A teoria do *Loudness* originou-se em 1933 pelos cientistas Fletcher e Munson, onde foi verificado se o ouvido humano era capaz de escutar com mesma intensidade todas as frequências audíveis com o mesmo nível de pressão sonora. A partir desse estudo, foram elaboradas as curvas *Phon*, chamadas também de curvas de igual intensidade, e relacionam o nível de intensidade a aplicar em cada frequência para ter o mesmo nível subjetivo de intensidade sonora (Falcão, 2019).

Figura 3 - Curvas de níveis de audibilidade do ouvido humano



Fonte: Brandão, 2016.

2.5 Ruído

Patrício (2018) define que o ruído é um “subconjunto” do som que não depende somente das suas características físicas (amplitude, frequência e duração) mas também da atitude que o ser humano tem relativamente à sua percepção, quando captado como desagradável e sem conteúdo informativo. A NBR 10152 destaca que o ruído deve ser avaliado visando a preservação da saúde e bem-estar humano e recomenda a aplicação dos valores de referência aos construtores, empreendedores, incorporadores, projetistas, usuários e ao poder público para o adequado uso dos diferentes ambientes internos de uma edificação. As edificações são afetadas por ruído de impacto que são àqueles cuja fonte é causada por impacto direto na estrutura e ruído aéreo, que consiste aos sons indesejáveis propagados pelo ar, e assim, transmitidos para as lajes e paredes, como música e conversas de salas de aula vizinhas.

Neste trabalho, falaremos também sobre o som residual, conhecido como ruído de fundo, que é entendido como o ruído interno existente no ambiente quando não há atividades no mesmo, quando não faz parte das fontes sonoras de interesse, conforme o manual ProAcústica (2019), os ambientes tem influência do som residual pelo meio externo e interno, como ocorre em edificações como escolas, aeroportos, teatros, e pode-se afirmar como exemplos de som residual, os sistemas de ventilação, instalações hidrossanitárias e conversas. O manual ProAcústica (2019) afirma:

“Em edificações é importante que o som residual seja adequado ao uso do espaço. Isso é determinante tanto para a obtenção de boas condições de conforto acústico, quanto para proporcionar boa comunicação e apresentações artísticas.”

A tabela a seguir apresenta alguns exemplos de valores de referência de diferentes finalidades para ambientes internos em edificações conforme a NBR 10152, que admite uma tolerância de 5 dB para o RLA_{eq} (dB) e RLA_{Smax} (dB), e tolerância de 5 para o RL_{nc} .

Tabela 1 - Referência de média de nível de som residual

Finalidade de uso	Valores de referência		
	RLAeq (dB)	RLASmax (dB)	RLNC
Lojas	45	50	40
Praças de Alimentação	50	55	45
Garagens	55	60	50
Consultórios	35	40	30
Teatros	30	35	25
Bibliotecas	40	45	35
Salas de Aula	35	40	30
Escritórios Coletivos	45	50	40

RLAeq (dB) - Nível de pressão sonora equivalente ponderada em A.

RLASmax (dB) - Nível máximo de pressão sonora ponderada em A e ponderado em S

RLNC - nível de avaliação de ruído (NC) representativo de um ambiente

Fonte: Autor, 2024. (Com dados da NBR 10152)

2.6 Acústica de ambientes internos

De acordo com Souza (2012) o som percebido pelo ouvinte é uma composição do som direto, que parte da fonte direto ao receptor, e dos sons refletidos pelas superfícies. As ondas sonoras ao entrarem em contato com as superfícies, parte de sua energia é absorvida, parte refletida e parte transmitida por ela, quando ocorre a transmissão do som para outro ambiente, essa é a parte da energia que não foi absorvida e nem refletida.

Os ambientes internos das edificações demandam de duas adequações, que são complementares, o condicionamento acústico do ambiente, que se relaciona com a qualidade do ambiente para a finalidade desejada, onde serão empregados materiais a fim de atender requisitos acústicos e o isolamento, que, por sua vez, faz referência a utilização de materiais e métodos para minimizar a transmissão sonora entre ambientes distintos, sejam internos ou externos, ProAcústica (2019).

2.6.1 Absorção Sonora

A absorção sonora corresponde a capacidade do material de dissipar a energia do som e ocorre quando há a incidência do som direto com muita energia e reflexão com baixa energia. Os materiais fonoabsorventes contribuem para reduzir a reverberação do ambiente e seu coeficiente de absorção é utilizado para quantificar a capacidade do material de dissipar a energia sonora, normalmente materiais fibrosos ou porosos como lãs minerais e espumas são bons materiais absorvedores. A absorção de uma superfície é definida pelo coeficiente do material, que é adimensional, e seu valor varia entre 0 e 1 e a área da superfície absorvedora em m². Assim:

$$A = \alpha \cdot S \quad \text{Onde: } \alpha - \text{Coeficiente de absorção do material}$$

S - Área da superfície absorvedora

2.6.2 Reflexão Sonora

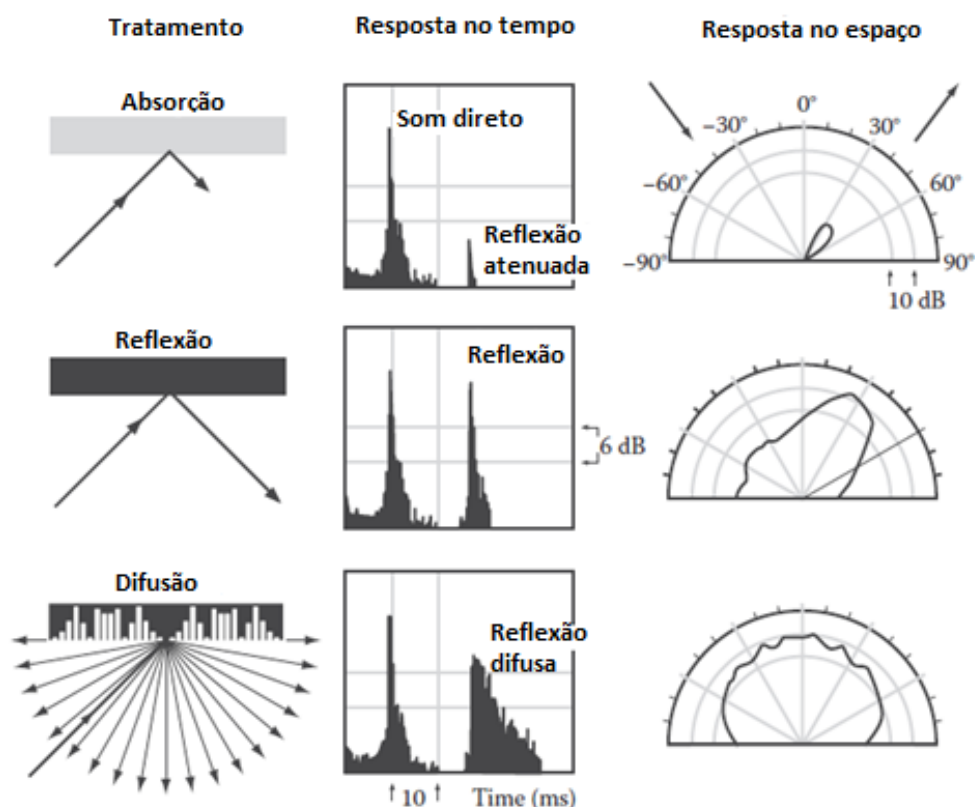
Quando energia sonora entra em contato com a superfície de um material e retorna ao ambiente com boa energia é descrita como reflexão. Segundo Valle (2009) a onda não é absorvida e volta para o ambiente com ângulo igual ao ângulo de incidência, apresentando o mesmo comportamento da luz, e sua intensidade é forte apenas na trajetória das ondas sonoras. Materiais refletivos apresentam-se em superfícies rígidas, como o concreto.

2.6.3 Difusão Sonora

Som direto com muita energia e reflexões com intervalo de tempo maior ao efeito da reflexão apenas, a difusão forma uma cauda reverberante diminuída ao longo do tempo. A difusão é uma reflexão em que a onda sonora incide sobre uma superfície irregular, e distribui energia sonora no ambiente em diversas direções. Os difusores são irregulares e atuam no condicionamento do som em um ambiente de modo específico.

A figura 4 exemplifica o comportamento da energia sonora em contato com superfícies com diferentes tratamentos.

Figura 4 - Energia sonora incidente em diferentes superfícies



Fonte: Cox, 2009.

2.6.4 Reverberação

A reverberação sonora em espaços fechados é um fenômeno que ocorre quando o som permanece no ambiente como resultado das reflexões das superfícies, e esse fenômeno em excesso causa a perda da inteligibilidade e excesso da pressão sonora no ambiente, dificultando a compreensão da mensagem pelo ouvinte.

Gade (2007) afirma que a reverberação é provavelmente o parâmetro subjetivo mais conhecido e a partir dos estudos de Wallace C. Sabine há mais de cem anos foi possível obter os dados de forma objetiva por meio da equação do tempo de reverberação.

2.6.5 Tempo de reverberação (TR)

É a duração necessária para que a energia sonora diminua 60dB após a interrupção da fonte sonora, expresso em segundos de acordo com a NBR 3382. O tempo de reverberação depende do volume e da área de absorção do ambiente, e pode ser obtido da seguinte forma:

$$TR = 0,161 \frac{V}{\sum A}$$

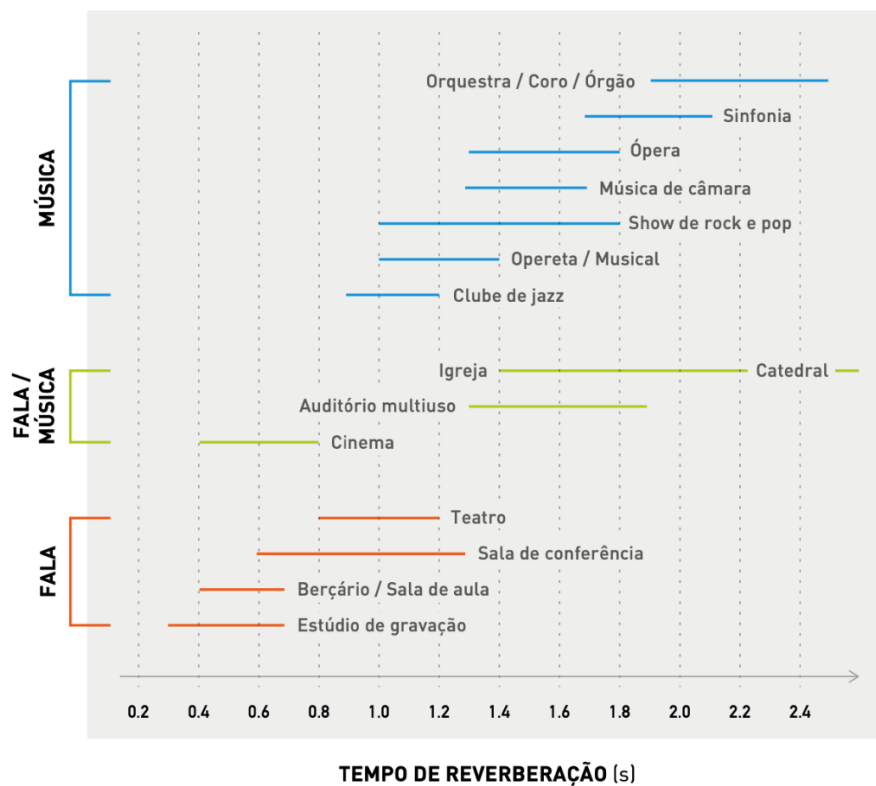
Onde: TR - Tempo de Reverberação em segundos (s)

V - Volume do ambiente, em metro cúbico (m³)

A - Absorção da sala, em metro quadrado (m²)

Diferentes ambientes internos demandam tempo de reverberação diferentes devido ao seu volume e aplicação. A figura 5 demonstra o tempo esperado nas frequências médias para cada utilização indicada.

Figura 5 -TR recomendado para diferentes ambientes em 500 Hz



Fonte: ProAcústica, 2019.

2.7 Normas

Neste trabalho são citadas algumas normas relacionadas com a acústica de ambientes, onde estas buscam nivelar e orientar metodologias de medição aos padrões exigidos.

A NBR 10151, Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas (2020), tem o objetivo de padronizar a acústica nos ambientes e define o método para medições, externas e internas, determinando o nível de pressão sonora para a finalidade de uso e sua ocupação.

Com a norma NBR 10.152, Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações (2017), são determinados os procedimentos técnicos a serem adotados nas medições de NPS em ambientes internos a edificações, e indica os valores de referência e avaliação dos resultados obtidos em função da finalidade de uso do ambiente.

A NBR 12.179, Tratamento acústico em recintos fechados (1992), estabelece os critérios fundamentais para a execução do tratamento acústico em ambientes internos.

A norma NBR 15575, define os níveis de desempenho mínimos em que uma construção deve atingir ao longo da sua vida útil. E o desempenho acústico é um dos itens de qualidade de exigência para o uso, focado na habitabilidade.

NBR ISO 3382-2, Medição de parâmetros de acústica de salas – Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns, especifica métodos para medições de parâmetros de acústicas de salas e dispositivos a serem utilizados, além da indicação das combinações das posições de medição e avaliação dos dados para relatório. São indicados três níveis de exatidão, inspeção, engenharia e precisão. A representação gráfica do decaimento do nível de pressão sonora em uma sala, em função do tempo decorrido após a interrupção da fonte sonora é chamada de curva de decaimento e será utilizada neste trabalho para demonstrar o tempo de reverberação.

Neste trabalho será aplicado o método de inspeção que é apropriado para avaliação da quantidade de absorção para controle de ruído e isolamento acústico.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em salas de aula da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe (FANESE) onde foram escolhidas três salas com diferentes dimensões para o ensaio. Os equipamentos e procedimento utilizado foi o orientado pela norma NBR 3382, que descreve, em sua parte 2, como efetuar a medição de parâmetros de acústica de salas de uso comum, como salas de aula, onde não há necessidade de amplificação da palavra falada para a comunicação, por meio do cálculo do tempo de reverberação (TR).

A norma permite obter o tempo de reverberação, em uma faixa menor que 60 dB, utilizando o parâmetro T_{20} , em que TR é obtido a partir do tempo em que a curva de decaimento atinge 5 dB e depois 25 dB abaixo do nível inicial ou o parâmetro T_{30} , que utiliza os valores de decaimento de 5dB e 30 dB abaixo do valor inicial. O parâmetro T_{20} foi selecionado para utilização por exigir menor nível de pressão sonora da fonte, mínimo de 35 dB.

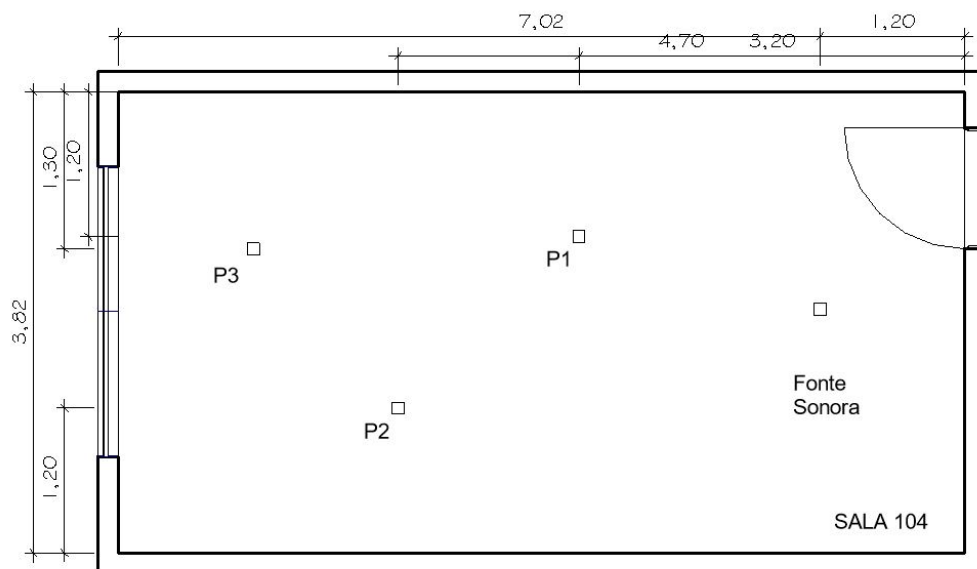
Foram selecionadas as salas 104, 116 e 205 para as avaliações por possuírem medidas diferentes, onde as salas apresentam área de 26,82 m², 57,76 m² e 54,95 m², respectivamente. A sala de aula 104, possui pé direito de 2,62 m, a medida obtida para a sala 116 foi 2,65 m de pé direito e a sala 205 apresenta pé direito de 2,67 m, nessa ordem, o volume apresentado para cada sala foi, 70,27 m³, 153,06 m³ e 146,71 m³.

As medições foram realizadas nos dias 15 e 16 de abril de 2024, no período da noite no primeiro dia e pela manhã no segundo dia seguindo a orientação da NBR 3382-2, em que foram coletados o tempo de reverberação das salas e o som residual.

A NBR 3382-2 assinala três níveis de exatidão: Inspeção, Engenharia e Precisão. Neste trabalho foi adotado o método de Inspeção, que define, pelo menos, duas combinações de posição entre a fonte e o receptor.

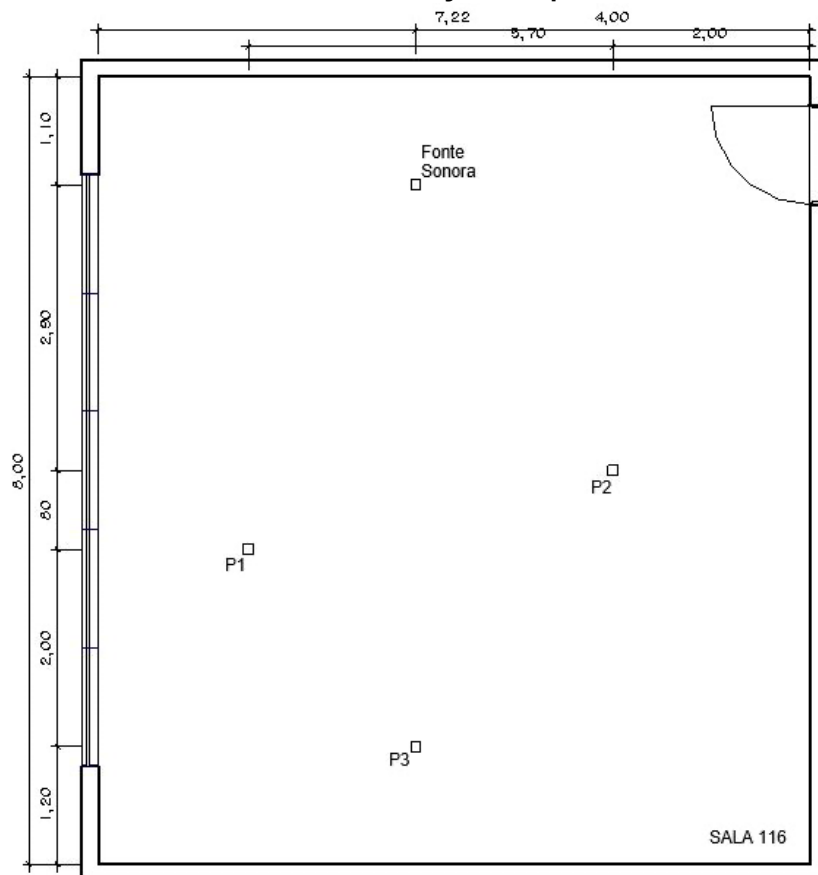
Definiu-se uma posição de fonte sonora representando a posição do professor em sala de aula e três posições de receptor, chamados de P1, P2 e P3, em locais destinados aos alunos, respeitando a distância mínima de 1 m das superfícies refletoras e 2 m entre os pontos de recepção e a fonte, seguindo a orientação da NBR 3382-2, conforme apresentado nas figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 - Planta baixa da sala 104 com indicação dos pontos de fonte sonora e medição.



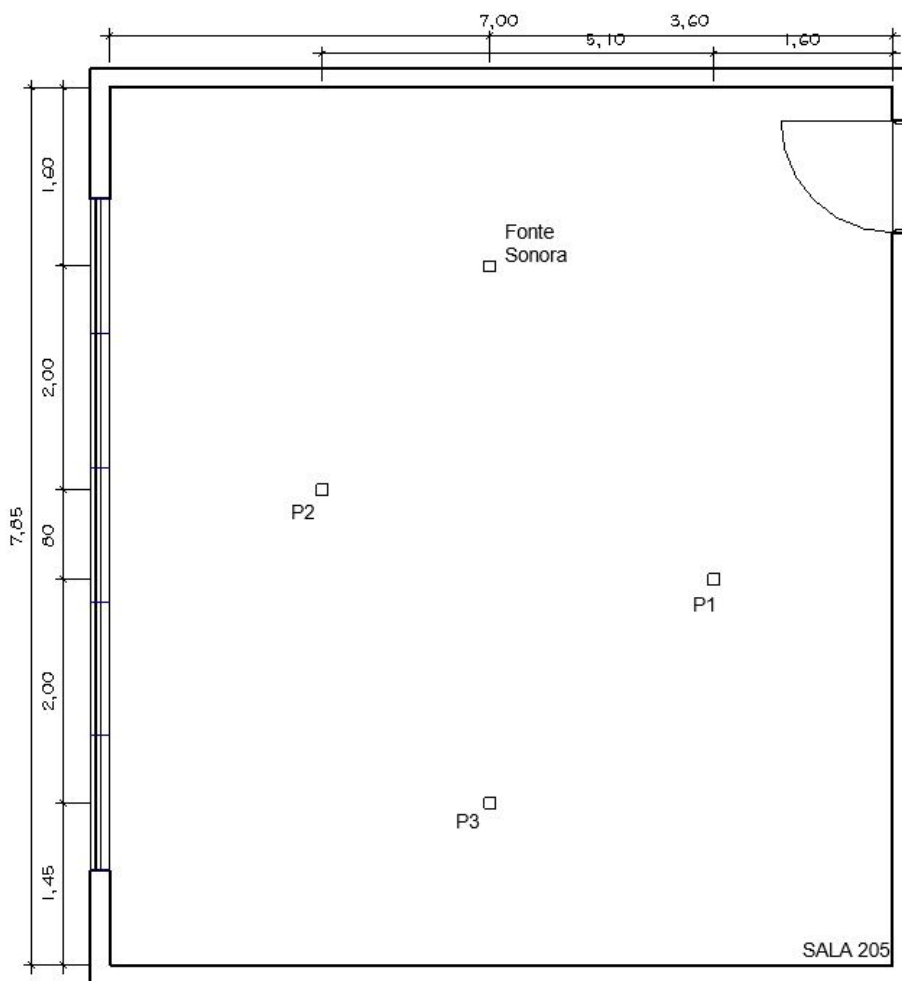
Fonte: Autor, 2024.

Figura 7 - Planta baixa da sala 116 com indicação dos pontos de fonte sonora e medição.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 8 - Planta baixa da sala 205 com indicação dos pontos de fonte sonora e medição.



Fonte: Autor, 2024.

Para efetuar as medições, é necessário que o ambiente esteja vazio, porém é permitida a presença de até duas pessoas para a medição e considerar o espaço desocupado, as medições das salas 116 e 205 foram realizadas com uma pessoa e a sala 104 com duas pessoas. Para a medição não se faz necessário conhecer a temperatura e umidade relativa.

Em relação ao procedimento de medição, a norma NBR 3382-2 indica o Método do Ruído Interrompido e o Método da Resposta Impulsiva Integrada. O método da resposta impulsiva integrada foi adotado para a medição, em que se obtém as curvas de decaimento da pressão sonora observada em um ponto dentro de uma sala como resultado da emissão do impulso em outro ponto da sala. Sons transientes, como o estouro de um balão oferecem precisão suficiente para a medição.

Como fonte sonora foi utilizado um balão de 16' por ser omnidirecional e capaz de produzir um nível de pressão sonora suficiente para fornecer curvas de decaimento com a faixa dinâmica mínima requerida sem a contaminação pelo som residual. Como receptores foram utilizados o sonômetro *Octava Plus*, fabricante Criffer, com certificado CRA0267/2024 e combinação de microfone com interface de áudio e computador, o microfone *Behringer ECM800* e interface de áudio *SSL12*, em que foram gravados os impulsos gerados pela fonte para posterior análise utilizando o software *REW (Room EQ Wizard)*, durante as medições também se fez uso do calibrador *CR-2*, fabricante Criffer. As figuras 9, 10 e 11 mostram os recursos utilizados.

Figura 9 - Balão e sonômetro



Fonte: Autor, 2024.

Figura 10 - Calibrador Acústico



Fonte: Autor, 2024.

Figura 11 - Microfone Omnidirecional ECM800 e Interface de Áudio SSL12



Fonte: Autor, 2024.

Para realizar as medições foram posicionados o microfone e o sonômetro, a uma altura de 1,25 metros e antes de cada sinal de impulso, estouro do balão, era efetuada a verificação de ajuste do sonômetro com o calibrador ajustado em 114 dB, para o conjunto microfone e interface, como a medição foi contínua efetuou-se a verificação apenas antes do primeiro sinal de impulso, ao final de cada emissão de impulso sonoro também foi realizada a verificação do ajuste do sonômetro com o calibrador. A medição ocorreu para as posições indicadas, P1, P2 e P3 para cada sala de aula e seguido o mesmo procedimento.

Adicionalmente, foi efetuada uma medição do tempo de reverberação para a sala 205 com o sistema de ar-condicionado desligado, a fim de verificar se o ruído residual poderia interferir no resultado das medições anteriores.

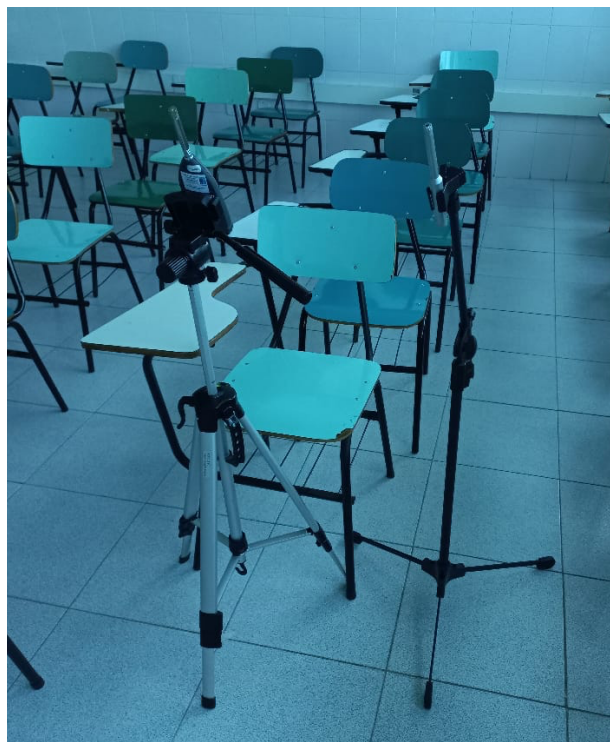
A figuras 12 ilustra o ajuste do microfone de medição com a utilização do calibrador acústico, e na figura 13, o nivelamento da altura dos receptores para posicionamento.

Figura 12 - Ajuste do microfone com calibrador



Fonte: Autor, 2024.

Figura 13 - Nivelamento dos receptores para posicionamento



Fonte: Autor, 2024.

Também, foi aplicado um questionário misto, com perguntas abertas e fechadas sobre o tema nos dias em que se realizou os ensaios para identificar a percepção dos usuários das salas de aula da instituição, onde foram entrevistados 23 usuários, sendo três professores e vinte alunos, em que estes foram abordados em campo, nas salas de aula e corredores da FANESE. As questões elaboradas foram conforme apresentadas na figura 14 a seguir.

Figura 14 - Modelo de formulário

Vínculo com a instituição:

Você acha que a acústica (ruído do ambiente) tem impacto no seu dia?

Tem sentido algum desconforto relacionado a exposição ao ruído?
(Exemplo: Dor de cabeça, Estresse, Irritabilidade, Desânimo etc.)

Considera que a Fanese dispõe de uma boa acústica em suas salas de aula?

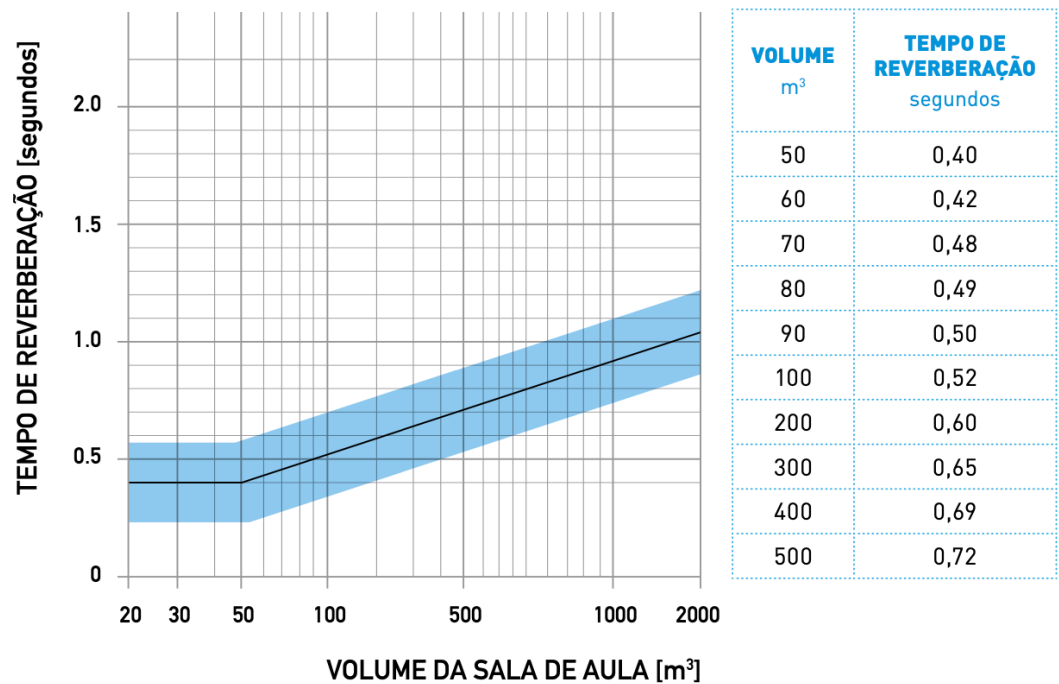
Qual ponto de melhoria seria predominante para melhoria das salas de aula?
(Exemplo: Ar-condicionado, tamanho da sala, ruído externo, entendimento do falar)

Fonte: Autor, 2024.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Em salas de aula, para as frequências médias, ou seja, entre 500 Hz e 2000 Hz é esperado, conforme ProAcústica (2019), os tempos médios de reverberação da figura 15. Logo, para as salas de aula avaliadas neste trabalho, que possuem volume aproximado de 70 m³ para a sala 104 e 150 m³ para as salas 116 e 205, é desejado que o tempo de reverberação na frequência especificada seja de 0,48 segundos, e aproximadamente, 0,55 segundos, respectivamente.

Figura 15 - Tempo de reverberação em salas de aula



Fonte: ProAcústica, 2019.

A norma permite efetuar a média aritmética com os dados obtidos durante a medição para cada sala de aula para obter a média espacial do tempo de reverberação. Com o uso da equação de Sabine é possível estimar o tempo de reverberação das salas, de acordo com o volume e materiais construtivos empregados. Na tabela 2 são indicados os tempos de reverberação em bandas de frequência coletados, já a tabela 3 indica o tempo de reverberação estimado nos cálculos.

Tabela 2 - Tempo de reverberação medido

Tempo de Reverberação (TR) Medido	Banda de Frequência				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Sala 104	1,72	1,74	1,63	1,32	1,03
Sala 116	2,10	1,55	1,18	0,93	0,87
Sala 205	2,21	2,11	2,03	1,74	1,55

Fonte: Autor, 2024

Tabela 3 - Tempo de reverberação calculado

Tempo de Reverberação (TR) Calculado	Banda de Frequência				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Sala 104	2,76	2,56	2,31	2,11	1,58
Sala 116	3,27	3,09	2,82	2,54	1,90
Sala 205	3,51	3,33	2,99	2,74	2,06

Fonte: Autor, 2024

As diferenças apresentadas entre os tempos de reverberação medido e calculado, deve-se principalmente ao mobiliário, como mesa e cadeiras, que não foi incluído nos cálculos devido não possuir informações sobre o coeficiente de absorção dos materiais empregados.

Na tabela 4 são apresentados os resultados médios do som residual e do nível máximo de pressão sonora obtido a partir da excitação do impulso com o estouro do balão, expressos em dB na curva de ponderação A, que melhor representa a audição humana. É possível observar um elevado nível de som residual nos ambientes, pois como mencionado anteriormente neste trabalho, para salas de aula, o recomendado pela NBR 10152, é 35 dB de valor médio. Nessa tabela, também, pode-se observar que o nível máximo de pressão sonora obtido para cada sala está acima de 35 dB do som residual, que é o mínimo exigido para o cálculo do tempo de reverberação pelo parâmetro T_{20} .

Tabela 4 - L_{aeq} x L_{peak}

	Som Residual (L_{aeq})	Nível máximo de Pressão Sonora (L_{peak})
Sala 104	59,13 dBA	109,53 dBA
Sala 116	55,54 dBA	106,54 dBA
Sala 205	59,00 dBA	106,56 dBA

Fonte: Autor, 2024.

Durante a avaliação da sala 205, foi possível efetuar uma medição com o sistema de ar-condicionado desligado, identificando que o ar-condicionado do ambiente contribui significativamente para o som residual, favorecendo o

mascamamento do som desejado, prejudicando a comunicação da sala, além dos efeitos não auditivos do ruído, como pode ser observado na figura 16.

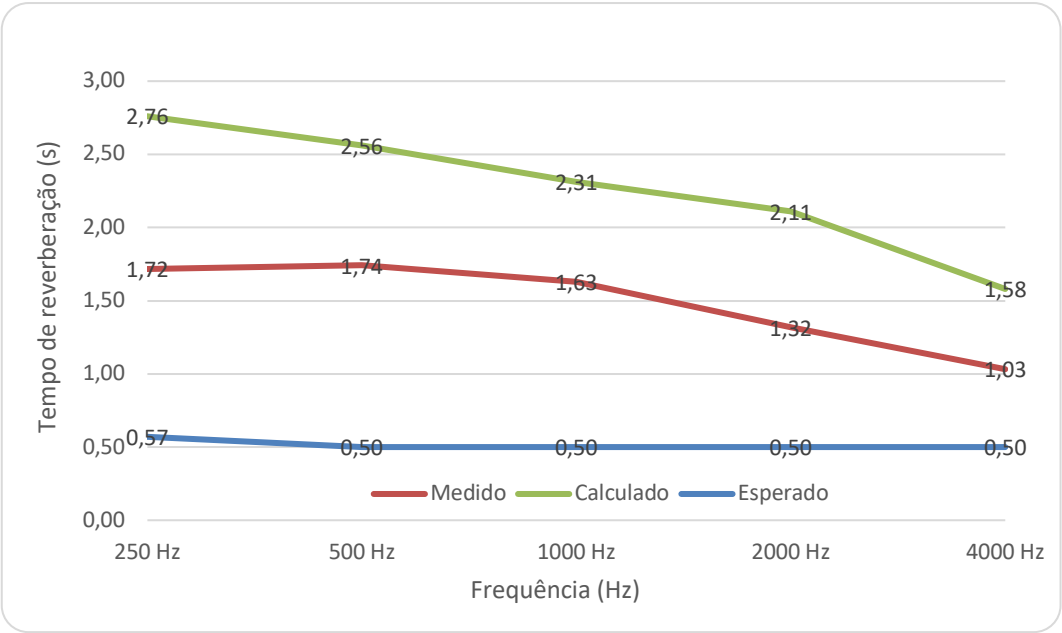
Figura 16 - Comparativo do som residual da sala 205



Fonte: Autor, 2024.

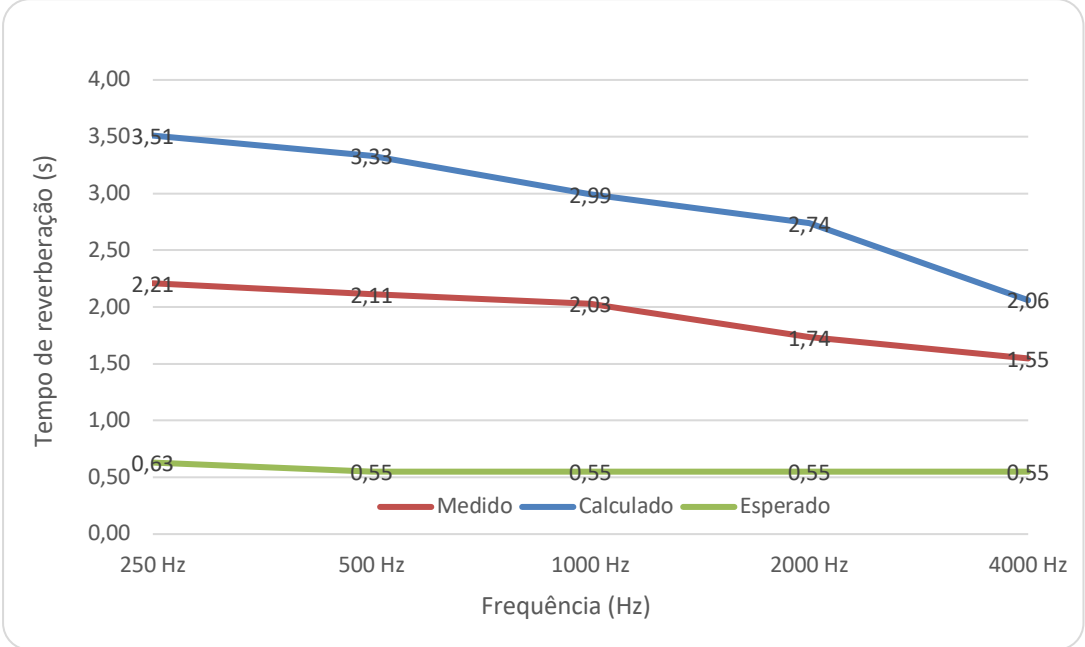
A seguir, nos gráficos 1, 2 e 3, são apresentados os valores obtidos de tempo de reverberação por banda de oitava comparados ao valor esperado para os ambientes mensurados neste trabalho. É possível perceber que os tempos de reverberação das salas em estudo estão acima do tempo esperado, o que ocasiona redução no conforto acústico e dificulta a clareza da comunicação do ambiente. Os materiais construtivos empregados nas salas de aula são materiais de baixa absorção sonora e contribuem para o elevado nível de reverberação, o acabamento interno das salas é composto de paredes rebocadas e pintadas, cerâmica no piso, janelas de vidro simples e forro de PVC.

Gráfico 1 - Tempo de reverberação para a sala 104



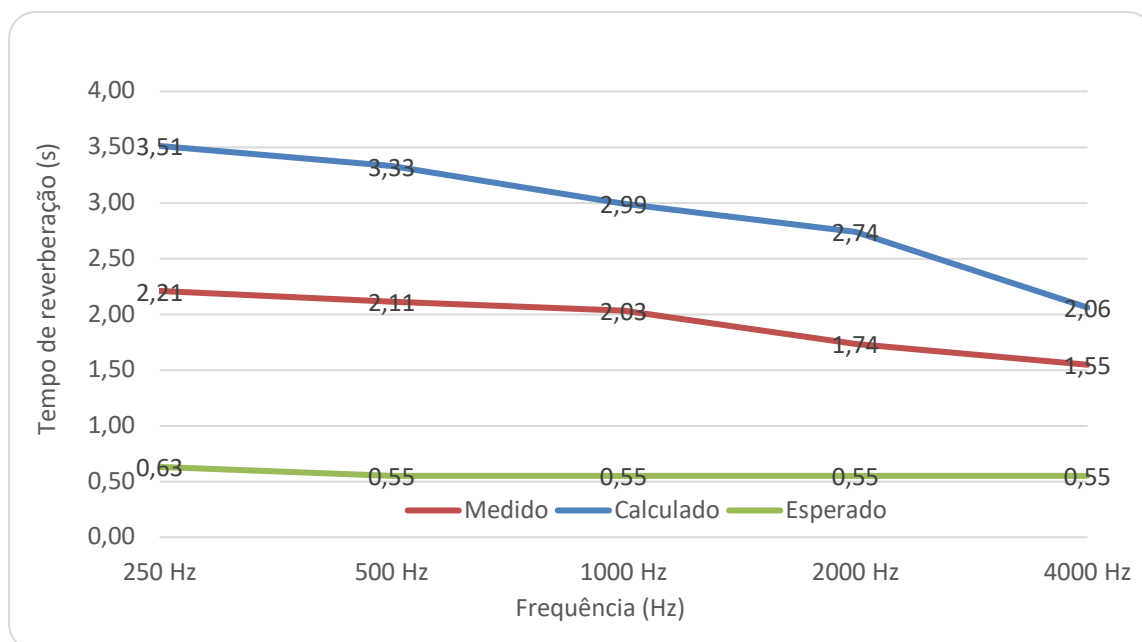
Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 2 - Tempo de reverberação para a sala 116



Fonte: Autor, 2024

Gráfico 3 - Tempo de reverberação para a sala 205



Fonte: Autor, 2024

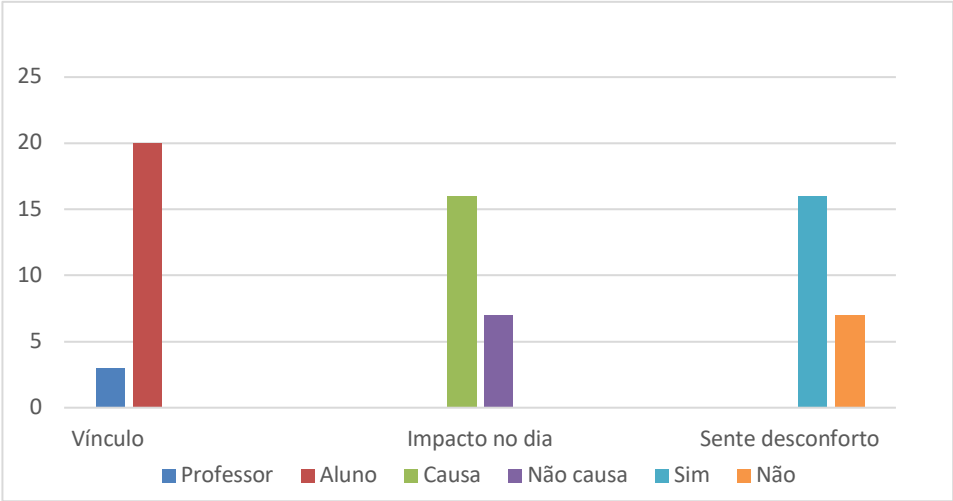
É observado que as salas possuem problemas de condicionamento acústico, tanto em relação ao som residual elevado e pela falta de absorção sonora da sala, não foi identificada interferência significativa em relação ao ambiente externo nas salas. Existem soluções que podem ajustar o tempo de reverberação das salas como o uso de painéis, nuvens e forro acústico, combinação de materiais absorvedores e difusores também podem ser empregadas para melhor desempenho e alcance da comunicação por todo o ambiente. Para as salas de aula da FANESE é sugerido a utilização de forro acústico em substituição ao forro de PVC, que é um material com baixo coeficiente de absorção e não alterará as características visuais do ambiente. É sugerido para o tratamento do som residual a manutenção periódica e atualização do sistema de ar-condicionado por modelos que emitem baixo ruído.

As questões efetuadas para a verificação da percepção dos entrevistados quanto a acústica de ambientes são expostas a seguir e seus resultados estão separados em gráficos para melhor transmitir a informação.

No gráfico 4, são apresentados o público que respondeu ao questionário, e as respostas sobre a percepção de impacto no dia e se sente algum tipo de

desconforto, onde cerca de 30% indicaram não notar impacto e não sentir desconforto.

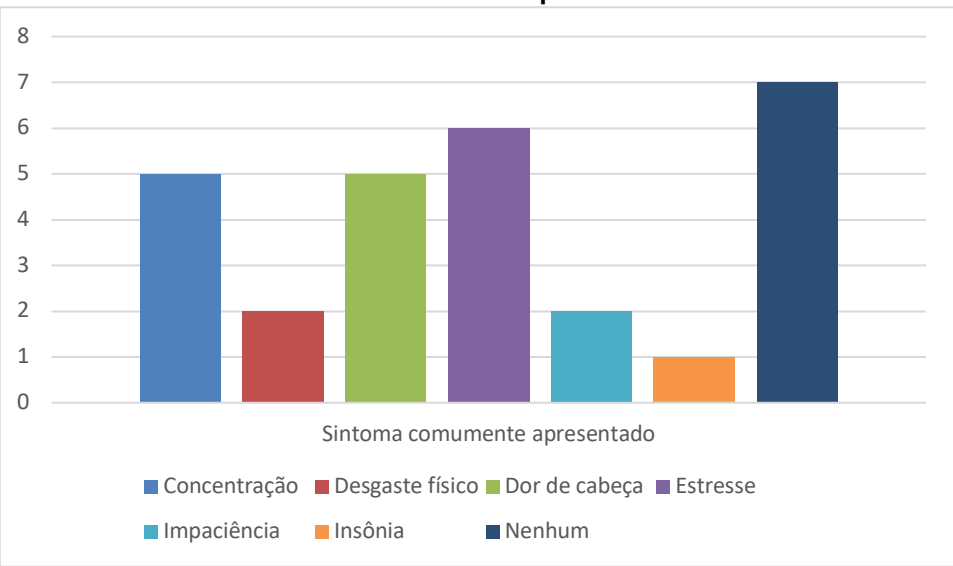
Gráfico 4 - Vínculo com a instituição e percepção diária



Fonte: Autor, 2024.

Dos entrevistados que relataram sentir desconforto a exposição ao ruído, os sintomas relatados foram diversos, onde ocorreram sinais físicos e mentais de acordo com os entrevistados, onde alguns apresentaram dois sintomas de igual relevância, assim 28,5% das respostas indicaram o estresse e 23,8% relacionaram o ruído com a falta de concentração. O gráfico 5 apresenta os dados.

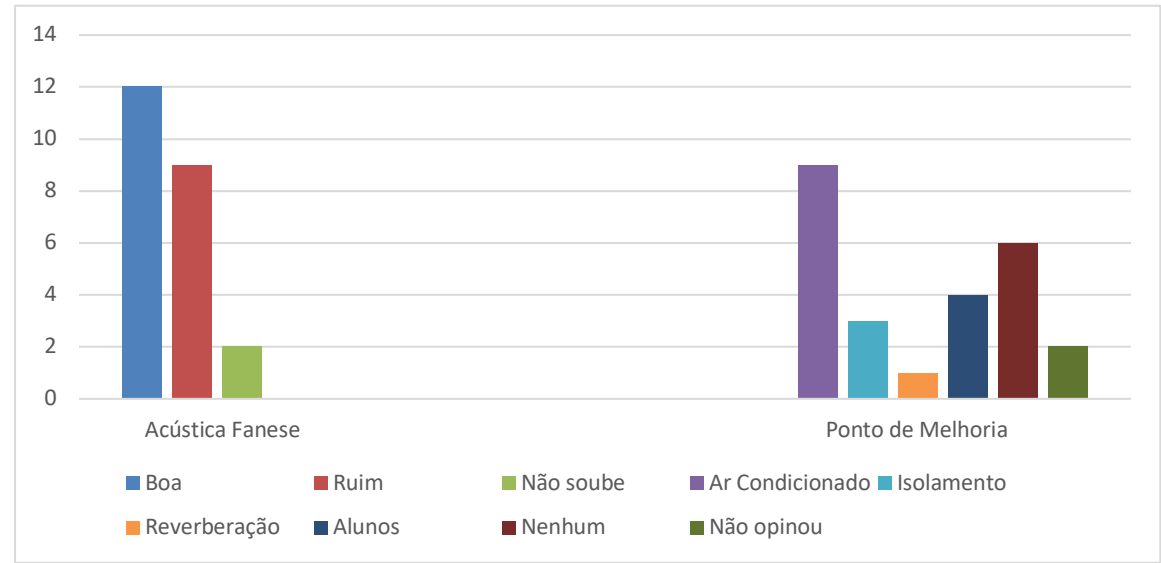
Gráfico 5 - Sintomas apresentados



Fonte: Autor, 2024.

Questionados se a FANESE possui uma boa acústica em suas salas de aula, dos entrevistados que quiseram opinar, 57% indicaram que a instituição possui uma boa acústica em suas salas de aula. Ainda, quando indagados quais pontos poderiam ser melhorados, aproximadamente 39% indicaram o ar-condicionado como o fator predominante, enquanto 28,5% informaram não haver necessidade de melhorias. Indicado no gráfico 6.

Gráfico 6 - Percepção acústica sobre a FANESE



Fonte: Autor, 2024.

Os resultados obtidos no questionário mostram que a percepção ao ruído é algo particular e, entre os entrevistados, pode-se também observar que a consciência de exposição ao ruído nos ambientes é algo necessário a ser trabalhado nas pessoas pois muitos desconhecem que a exposição ao ruído é constante, pois quando questionados, o ruído era associado, em muitos casos, a eventos pontuais, como uma buzina.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, por meio da avaliação acústica das salas de aula adotadas e da avaliação qualitativa realizada, verificou que os ambientes avaliados carecem de condicionamento acústico, em que adotando materiais menos reverberantes, é possível obter melhores resultados, facilitando a comunicação, e evitando possíveis desgastes físicos em professores, como elevar a intensidade da voz, para que todos da sala de aula compreendam a informação transmitida.

Foi notado, em parcela significativa dos entrevistados, dificuldade em expressar as percepções a respeito da acústica das salas. Ainda, assim, os resultados das medições de som residual confirmaram a opinião relacionada ao sistema de ar-condicionado como melhoria apontada por maioria para as salas.

Neste trabalho é observado que a adoção das normas aplicadas a acústica nas edificações, como o condicionamento dos ambientes para determinado fim, como salas de aula, não são comumente aplicadas, recomenda-se que mais trabalhos envolvendo a acústica de salas seja divulgado à sociedade para que a compreensão do tema, que é relevante à população, seja alcançado.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho parte 1. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT. **NBR 10151**: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT. **NBR 10152**: Acústica: Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT. **NBR 3382**: Acústica – Medição de parâmetros de acústica de salas. Rio de Janeiro, 2017

ABNT. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 3ª ed. São Paulo. Blucher, 2018.

BRANDÃO, Eric. **Acústica de salas: projeto e modelagem**. 1ª ed. São Paulo. Blucher, 2016.

COSTA, Alexandre B. F. da. **Metodologia de Aplicação da NBR ISO 3382-2 e Análise dos Tempos de Reverberação das Salas de Aula do Prédio 11209 do Campus Centro da UFRGS**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.

COX, Trevor J.; D'ANTONIO, Peter. **Acoustic absorbers and diffusers**. 3ª ed. Nova York. Taylor & Francis, 2017.

DO VALLE, S., **Manual Prático de Acústica**. 1ª ed. Música e Tecnologia, 2006.

FALCÃO, Lucas. **Acústica Arquitetônica para Igrejas**. Florianópolis. Conceção Acústica, 2020.

GADE, Anders C. **Springer Handbook of Acoustics**. 1ª ed. Reino Unido. Springer, 2007.

Manual ProAcústica de Acústica Básica. 1ª ed. SÃO PAULO, 2019.

Manual ProAcústica e Cetesb Norma ABNT NBR 10151:2019. 1ª ed. São Paulo, 2019.

Manual ProAcústica para Qualidade Acústica em Escolas. 1ª ed. São Paulo, 2019.

PATRÍCIO, Jorge. **Acústica nos Edifícios**. 7ª ed. Porto, Espanha. Publindústria, 2018.

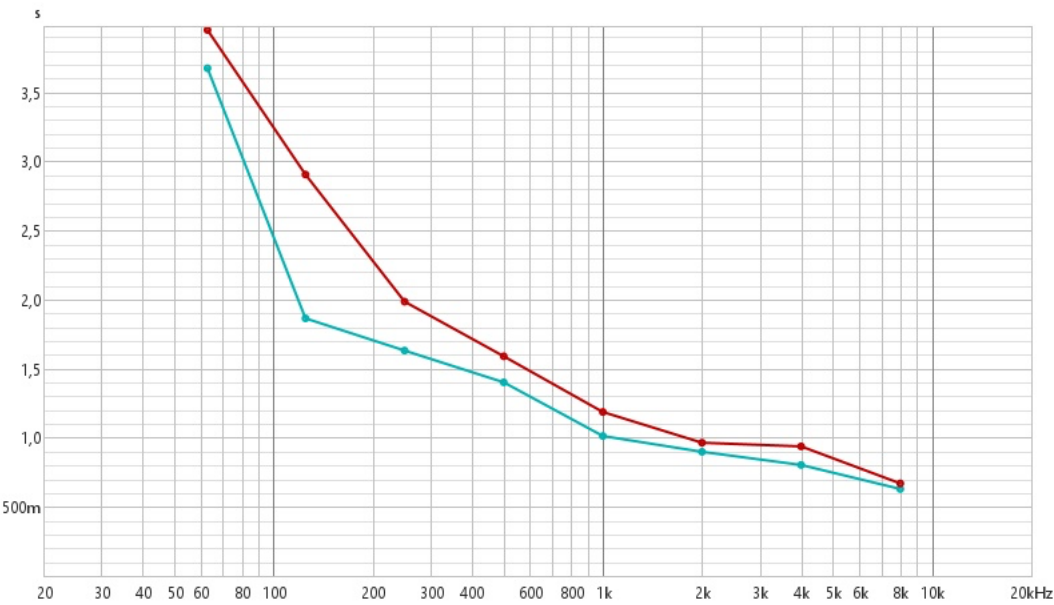
SOARES, Marina A. B. **Acústica no Ambiente Escolar: Análise e proposição de melhoria em escola pública da cidade de João Pessoa**. Trabalho final de graduação (Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal da Paraíba, 2020.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de. et al. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a Arquitetura**. São Carlos. EdUFSCar, 2012.

APENDICE A – EXEMPLO DE CAPTURA DE IMPULSO SONORO



APENDICE B – GRÁFICO DO TR CAPTURADO DO SOFTWARE *ROOM EQ WIZARD*



APENDICE C – TABELA COM PARÂMETROS ACÚSTICOS CAPTURADA DO SOFTWARE *ROOM EQ WIZARD*

ISO 3382 parameters								×
	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
EDT (s)	3,674	1,864	1,631	1,401	1,013	0,899	0,803	0,630
T20 (s)	3,951	2,905	1,985	1,590	1,187	0,964	0,938	0,670
T30 (s)		3,022			1,245	1,194	1,423	0,691
Topt (s)	3,990	2,531	2,008	1,499	1,180	0,957	0,872	0,679
T60M (s)								
C50 (dB)	-12,24	-2,41	-3,54	-2,24	-0,33	0,19	1,28	2,48
C80 (dB)	-8,37	-0,73	-1,24	0,62	2,64	3,69	4,27	6,49
D50 (%)	5,6	36,5	30,7	37,4	48,1	51,1	57,3	63,9
TS (s)	0,300	0,139	0,136	0,104	0,077	0,071	0,063	0,051

APENDICE D – EXEMPLO DE RELATÓRIO GERADO PELO SONÔMETRO
OCTAVA PLUS

Relatório de ruído @ OCTAVA+ SN: 035000665

Data: 15/04/2024

Funcionário avaliado:

Empresa avaliada:

Empresa avaliadora:

Sector:

Realizado por:

Pontos de medição

Evento	Nome	L [dB]	L [dB]	L [dB]
1	Ensaio17	71,85	93,43	112,02

Calibração de laboratório

Sonômetro: CFA0257/2024 14/03/2024

Calibrador de áudio:

Observações

Registro:

Relatório de ruído @ OCTAVA+ SN: 035000665

Configurações

Evento: 1

Tarefa: Ensaio17

Tempo de amostragem [s]: 1

Duração: 00:00:41

Hora de início: 21:28:59

Tempo em pausa: 00:00:00

Hora de término: 21:29:39

Análise de oitavas: 1/1

Verificação de campo @ 1kHz

Pré verificação [dB]: 114,00 (15/04/2024 21:28)

Pós verificação [dB]: 114,07 (15/04/2024 21:29)

Desvio [dB]: -0,07

Resultados

L [dB]: 75,97	L [dB]: 92,10	L [dB]: 111,53
L [dB]: 75,59	L [dB]: 91,72	L [dB]: 112,02
L [dB]: 71,65	L [dB]: 87,78	L [dB]: 108,86

Máx/Min

L [dB]: 62,76	L [dB]: 99,73	L [dB]: 63,89	L [dB]: 96,47	L [dB]: 65,42	L [dB]: 94,67
L [dB]: 62,29	L [dB]: 99,54	L [dB]: 63,33	L [dB]: 96,27	L [dB]: 64,53	L [dB]: 94,58
L [dB]: 57,20	L [dB]: 96,22	L [dB]: 57,88	L [dB]: 93,43	L [dB]: 58,77	L [dB]: 94,73

Estatísticos

Ponderação em frequência: A

Ponderação de tempo: Rápida (F)

L [dB]: 59,87	L [dB]: 59,61	L [dB]: 57,56	L [dB]: 55,51	L [dB]: 55,26
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Gráficos

