

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
GOIÁS
Câmpus Formosa

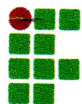
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIANA DE MOURA VAZ SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DAS SALAS DE AULA DO BLOCO 600
DO INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS, CÂMPUS FORMOSA - UM ESTUDO DE CASO**

Formosa – GO

2022



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Mariana de Moura Vaz Silva

Matrícula: 20161070080183

Título do Trabalho: Avaliação do desempenho acústico das salas de aula do bloco 600 do Instituto Federal de Goiás, campus Formosa: um estudo de caso.

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

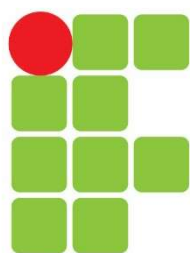
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Formosa, Goiás, 13/02/23.
Local Data

Mariana de Moura Vaz Silva
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
GOIÁS
Câmpus Formosa

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIANA DE MOURA VAZ SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DAS SALAS DE AULA DO BLOCO 600
DO INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS, CÂMPUS FORMOSA - UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Formosa como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Ordine Vieira
Lopes

Coorientador: Prof. Me. Divino Gabriel Lima
Pinheiro

Formosa – GO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S586a

Silva, Mariana de Moura Vaz

Avaliação do desempenho acústico das salas de aula do bloco 600 do Instituto Federal de Goiás, campus Formosa: um estudo de caso. / Mariana de Moura Vaz Silva — Formosa, 2023.

62 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Ordine Vieira Lopes.

Coorientador: Prof. Me. Divino Gabriel Lima Pinheiro.

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC (Graduação) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Formosa, Bacharelado em Engenharia Civil.

1.Desempenho acústico. 2.Pressão sonora. 3. Tempo de reverberação. I. Lopes, Daniel Ordine Vieira. II. Pinheiro, Divino Gabriel Lima. III. Título. IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Formosa.

CDD: 620.2

Bibliotecária: Charlene Cardoso Cruz CRB1-DF nº 2909



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS FORMOSA

ATA Nº 08/ 2023

Engenharia Civil / Câmpus Formosa

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Aos treze dias do mês de janeiro do ano de dois mil e vinte e três, às 20:00 horas, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso II da Graduanda **Mariana de Moura Vaz Silva** (matrícula 20161070080183) do curso de Engenharia Civil, no segundo semestre letivo do ano de dois mil e vinte dois. A defesa ocorreu via web Conferência pelo Google Meet. A banca foi composta pelos seguintes membros:

- Daniel Ordine Vieira Lopes (Orientador)
- Divino Gabriel Lima Pinheiro (Co-orientador)
- Rosa Barros Tossini (Avaliador Interno)
- Cleber Alves da Costa (Avaliador Externo)

Sob a presidência do primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título "**Avaliação do desempenho acústico das salas de aula do bloco 600 do Instituto Federal De Goiás, Câmpus Formosa - Um estudo de caso**" sob orientação do Prof. Daniel Ordine Vieira Lopes. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso II, tendo sido a autora arguida pela Banca Examinadora, a nota obtida foi **10,0**. A sessão foi encerrada às 19:30 horas. Eu, Prof. André Augusto Nóbrega Dantas, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca.

Prof. André Augusto Nóbrega Dantas

(Assinado eletronicamente)

Prof. Daniel Ordine Vieira Lopes

(Assinado eletronicamente)

Prof. Divino Gabriel Lima Pinheiro

(Assinado eletronicamente)

Prof. Rosa Barros Tossini

(Assinado eletronicamente)

Prof. Cleber Alves da Costa

(Assinado eletronicamente)

Prof. Fabiano Campos Macêdo

Coordenador do Curso Bacharelado em Engenharia Civil/ Câmpus Formosa
(Assinado eletronicamente)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Cleber Alves da Costa**, PROF ENS BAS TEC TECNOLÓGICO-SUBSTITUTO, em 09/02/2023 11:41:07.
- **Fabiano Campos Macedo**, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - FOR-CCBENG, em 08/02/2023 15:04:45.
- **Rosa Barros Tossini**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 25/01/2023 11:09:24.
- **Divino Gabriel Lima Pinheiro**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 23/01/2023 18:33:31.
- **Daniel Ordine Vieira Lopes**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 23/01/2023 15:11:16.
- **Andre Augusto Nobrega Dantas**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 23/01/2023 14:39:56.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/01/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 367007

Código de Autenticação: 895f41c9a5



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 64 esquina com Rua 11, S/Nº, Expansão Parque Lago, Formosa / GO, CEP 73813-816
(61) 3642-9491 (ramal: 9491), (61) 3642-9493 (ramal: 9493)

Aos meus pais;
À minhas melhores amigas,
Mylla, Helenna e Juliana;
e ao meu noivo, Pedro
meu melhor amigo e companheiro.

AGRADECIMENTOS

Desde o início da produção desse trabalho eu vi que não seria possível realiza-lo sem a ajuda de diversas pessoas. Primeiramente quero agradecer muito o Professor Carlos Roberto da Silveira Junior da coordenação de Pesquisa e Inovação, do IFG Câmpus Goiânia. Graças a ele foi possível o empréstimo de um decibelímetro, essencial para a produção dos resultados.

Quero agradecer muito aos meus orientadores, Professor Daniel Ordine Vieira Lopes e Professor Divino Gabriel Lima Pinheiro, pelo aceite de orientação, por todo o incentivo e paciência, e apesar de difícil todo o processo do TCC, me ajudaram a achar uma área da engenharia que amei descobrir e agora sinto mais vontade de continuar estudando a área de acústica.

Queria agradecer aos meus amigos e amigas, por abrir mão do tempo livre para me ouvir falar sobre coisas muito chatas e muito específicas deste trabalho e por me ajudarem a fechar o word de vez em quando para jogar um MOBA.

Obrigada também à minha família, por me ajudar com as dificuldades da vida para que esse trabalho não fosse prejudicado. Obrigada em especial aos meus pais, por terem ambos feito um curso superior mesmo com dificuldades como trabalhar e cuidar de uma família ao mesmo tempo. Isso tudo me fez valorizar bastante a educação e a prática de estudar. Foram e são um exemplo para eu ser mais perseverante e foi graças a eles que conheci o IFG onde estudei durante o ensino médio e no presente desse trabalho, o ensino superior.

Sou grata também ao arquiteto Diego Hipólite Opa Nunes, meu supervisor de estágio e na qual me ensinou sobre dedicação e responsabilidade, além de ter me ensinado boas práticas que me permitiram fazer os levantamentos e produzir as plantas baixas que apresento nos Apêndices.

Não posso deixar de agradecer ao meu noivo Pedro, formado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, super inteligente e que me inspira a estudar novas tecnologias na área da engenharia civil. Obrigada por todo o apoio para eu seguir com o curso até o fim e por todo o cuidado e carinho. Nota: Foi ele que me norteou a fechar os joguinhos para voltar para a tela do word e enfim terminar este trabalho(risos).

‘Toda virtude verdadeira é silenciosa e humilde.’

LUIZ FELIPE PONDÉ

RESUMO

O trabalho propôs a análise das características acústicas das salas de aula e corredores de circulação do bloco 600 do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Formosa. O lugar serve para realização das aulas do curso de bacharelado em engenharia civil e técnico na modalidade EJA em edificações, tratando-se de um galpão provido de laboratórios e salas com particularidades únicas em relação ao restante da instituição, contando com paredes de dry-wall e salas em tamanhos bastante distintos entre si, o que gerou bastante interesse de conhecer suas atuais condições acústicas. Ter consciência das características das salas possibilita avaliar o conforto acústico, possíveis prejuízos na compreensibilidade da fala do professor e transtornos que interferem na atenção dos alunos. Consequentemente, o presente trabalho teve como propósito coletar os parâmetros acústicos de níveis de pressão sonora equivalente e tempo de reverberação característicos do objeto de estudo. Foram utilizados os métodos descritos nas normas NBR 10152 (2017) para mensurar os níveis de pressão sonora equivalente de cada sala e corredores utilizando o decibelímetro e a NBR 12179 (1992) para calcular o tempo de reverberação com o uso da fórmula de Sabine ou de Eyring. Com o levantamento desses parâmetros, foi possível compará-los com os valores de referência normatizados e classificar o desempenho acústico das salas, chegando à conclusão de que os ambientes não se adequam ao uso que são destinados. Foi sugerido uma possível solução e indicações para possíveis melhorias das salas de forma mais significativa e eficiente.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Tempo de reverberação. Nível de pressão sonora. Ruído em ambiente escolar.

ABSTRACT

This work proposed the analysis of the acoustic characteristics of the classrooms and the circulation corridors of the block 600 of the Instituto Federal de Educação, Câmpus Formosa. The place serves to carry out the classes of the bachelor's degree in civil engineering and of the technical course in the EJA modality in buildings, being a shed equipped with laboratories and rooms with unique characteristics in relation to the rest of the institution, counting with drywall walls and rooms in very different sizes, which generated a lot of interest in knowing their current acoustic conditions. Being aware of the room's characteristics makes it possible to assess acoustic comfort, possible impairments in the understanding of the teacher's speech and disorders that interfere with the students' attention. Consequently, the present work aimed to collect the acoustic parameters of equivalent sound pressure levels and reverberation time characteristic of the object of study. The methods described in the NBR 10152 (2017) standards were used to measure the equivalent sound pressure levels of each room and corridors using the decibel meter and NBR 12179 (1992) to calculate the reverberation time using the Sabine or Eyring formula. With the survey of these parameters, it was possible to compare them with the standardized reference values and classify the acoustic performance of the rooms, reaching the conclusion that the environments are not suitable for the intended use. A possible solution and indications for possible improvements of the rooms in a more significant and efficient way were raised.

Key-Words: Acoustic performance. Reverberation time. Sound pressure level. Noise in school environment.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ANSI	American National Standards Institute
NBR	Norma Brasileira
ISO	International Organization for Standardization
IEC	International Electrotechnical Commission
TR	Tempo de reverberação
ω	Frequência angular
X_m	Amplitude
$\emptyset$	Constante de fase
t	Tempo
Hz	Hertz
Pa	Pascal
P	Potência sonora
P_0	Potência sonora de referência
L_i	Nível de intensidade sonora
I	Intensidade sonora
I_0	Intensidade sonora de referência
dB	Decibel
L_p	Nível de pressão sonora
Z_a	Impedância acústica
Rayl	Unidade de medida para $\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$
Z_c	Impedância acústica característica
ρ	Densidade
c	Velocidade de partícula
$\tilde{P}(\vec{r}, j\omega)$	Pressão sonora para onda esférica
$Q(\vec{r}, j\omega)$	Fluxo volumétrico de um fluido por unidade de tempo
α	Coefficiente de absorção
τ	Coefficiente de transmissão
RBC	Rede Brasileira de Calibração
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

u	Incerteza padrão combinada
U	Incerteza expandida de medição
$L_{Aeq,30s}$	Nível de pressão sonora equivalente ponderada em A, representativo de um ambiente para tempos de medição de 30 segundos
$L_{AS,Max}$	Nível máximo de pressão sonora representativo de um ambiente

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Movimento harmônico característico de um tom puro.	17
Figura 2: Representação gráfica da frequência de uma onda.	18
Figura 3: Onda sonora produzida por um êmbolo.	19
Figura 4: Propagação do som por meio de um diapasão.	19
Figura 5: Propagação de onda esférica a partir de um ponto S.	20
Figura 6: Representação da reflexão de uma onda sonora.	24
Figura 7: Esquema dos equipamentos: Em 01 um medidor genérico com protetor; em 02 um modelo genérico de calibrador sonoro; e em 03 o medidor acoplado ao calibrador.	31
Figura 8: Fluxograma do plano metodológico.	33
Figura 9: Planta de pavimento térreo das salas do estudo.	34
Figura 10: Planta de pavimento superior das salas a serem estudadas.	35
Figura 11: Fotografia da sala S603 em sua situação comum de uso.	36
Figura 12: Equipamentos utilizados.	37
Figura 13: Equipamento ajustado para as medições na sala S602.	38
Figura 14: Locação de pontos – LAeq - Salas T601, T602, T603 e T604.	39
Figura 15: Locação de pontos – LAeq - Salas S601, S602, S603 e S604.	39
Figura 16: Locação de pontos – LAeq – Sala de Desenho.	39
Figura 17: Locação de pontos – LAeq – Corredor do Pavimento Térreo	40
Figura 18: Locação de pontos – LAeq – Corredor do Pavimento Superior	41
Figura 19: Gráfico comparativo dos valores de LA, Eq, 30s medidos das salas com o valor de referência.	46
Figura 20: Gráfico comparativo dos valores de LA, Eq, 30s medidos dos corredores com o valor de referência.	46
Figura 21: Análise global do instituto e a classificação do térreo do Bloco 600 em ordem crescente do ponto com maior ruído para o menor.	48
Figura 22: Análise global do instituto e a classificação do superior do Bloco 600 em ordem crescente do ponto com maior ruído para o menor.	49
Figura 23: Gráfico comparativo dos valores de LAS, max medidos das salas com o valor de referência.	51
Figura 24: Gráfico comparativo dos valores de LAS, max medidos dos corredores com o valor de referência.	51

Figura 25: Propostas de melhoria para a sala T603 em comparação com a sala em condições atuais – Tempo de reverberação.	53
Figura 26: Propostas de melhoria para a sala S601 em comparação com a sala em condições atuais – Tempo de reverberação.	54
Figura 27: Especificações do material orçado para possível solução das salas.....	54
Figura 28: Esquema para aplicação das placas: “revestimento acústico Lã de Pet 30mm” na sala T603	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores indicativos para o coeficiente de absorção de materiais.	22
Tabela 2: Coeficientes de absorção de pessoas e mobiliários.	25
Tabela 3: Valores de referência para ambientes internos de acordo com a finalidade de uso.	32
Tabela 4: Datas e horários das medições dos LAeq em cada sala.....	38
Tabela 5: Especificações das dimensões e materiais componentes das salas.....	43
Tabela 6: Especificações das mobílias para cada sala.	44
Tabela 7: Resultados das medições de LA, Eq, 30s e sua comparação com os valores de referência.	45
Tabela 8: Resultados das medições de LAS, max e sua comparação com os valores de referência.	50
Tabela 9: Resultados dos tempos de reverberação para TR60 e sua comparação com o valor de referência.	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMÁTICA DO TRABALHO	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 OBJETIVOS	15
2. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	15
2.1. O SOM.....	16
2.1.1. A ONDA SONORA	16
2.1.2. PRESSÃO SONORA	18
2.1.3. FORMAS DE PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA.....	20
2.1.4. A ESCALA DECIBEL	21
2.2. O COMPORTAMENTO DO SOM NO MEIO	21
2.2.1. ABSORÇÃO E REFLEXÃO DO SOM.....	22
2.2.2. REVERBERAÇÃO	23
2.3. COMPORTAMENTO DE RUÍDOS EM SALAS DE AULA.....	26
2.3.1. RUÍDOS DE IMPACTO E RUÍDOS AÉREOS	26
2.3.2. A PROBLEMÁTICA DO RUÍDO PARA A INTELIGIBILIDADE DA FALA.....	27
2.3.3. A PROBLEMÁTICA DO RUÍDO À SAÚDE HUMANA	27
2.4. NORMAS TÉCNICAS ENVOLVENDO ACÚSTICA.....	29
2.4.1. NORMA DE DESEMPENHO.....	29
2.4.2. NORMAS DE PARÂMETROS ACÚSTICOS.....	29
2.4.2.1. NORMAS - TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	29
2.4.2.2. NORMAS - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA	30
3. METODOLOGIA.....	33
3.1. OBJETO DE ESTUDO:	33
3.2. NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE.....	36
3.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1. RESULTADOS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE	45
4.2. RESULTADOS DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO CALCULADOS	52

5. CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICES	62

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é rico em transformações arquitetônicas ao longo de sua história, o que resultou em variadas mudanças nas técnicas construtivas e materiais empregados. Ao relacionar todas as modificações cronologicamente com a temática da acústica, pode ser observado que a mesma foi perdendo a sua relevância. Um dos fatores se deve por ser uma região tropical e o combate ao desconforto térmico ser o primeiro e principal objetivo, implicando em edificações mais leves ao longo do tempo, sendo explícito que a construção brasileira focou no conforto térmico, em detrimento do acústico (DUARTE; VIVEIROS, 2007).

Entretanto, com o crescimento populacional e o aumento nas densidades demográficas, surgiu o ruído como um transtorno comum na realidade de grande parte da população.

O ruído, é a composição de sons de diversas frequências e é associado a causas de desconforto e danos ao aparelho auditivo humano (PINHEIRO; MASSON; LOPES, 2017a). Como consequência, tem-se a necessidade de isolar ao máximo os ruídos que atinge um local de comunicação social para sua funcionalidade e agradabilidade.

Assim como o isolamento de ruídos externos, o tempo de reverberação de um ambiente é uma forma de mensurar a sua qualidade acústica e representa, subjetivamente, o quanto de conforto acústico pode-se ter no local. Esse parâmetro é capaz de interferir consideravelmente na inteligibilidade da fala (PINHEIRO; MASSON; LOPES, 2017a).

Assim houve o interesse de compreender as características acústicas de salas de aula em um dos blocos do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Formosa. As salas de aula do Bloco 600, usualmente referidas como Bloco Tecnológico pelos seus usuários, foram construídas em 2014 com a proposta de abrigar o eixo de engenharias do local. São 4 salas de aula no pavimento térreo e 6 salas no pavimento superior. Conta também com áreas de laboratório e dois banheiros no pavimento térreo, que não serão objeto deste estudo. Inicialmente no projeto todas as vedações internas eram de alvenaria convencional, mas após uma reforma em 2016 foram instaladas paredes de gesso acartonado com o objetivo de aumentar as salas para receber novas turmas para o EJA.

1.1 PROBLEMÁTICA DO TRABALHO

A partir de considerações como a dos autores Junior, Gomes e Oliveira, (2019), onde mencionam que as características acústicas podem interferir na inteligibilidade da fala e no

aprendizado, que este trabalho se colocou a verificar se as salas de aula existentes do bloco 600 atendem aos requisitos mínimos de desempenho acústico, aplicando métodos de coleta e avaliação dessas características e cumprindo metodologias estabelecidas pelas normas brasileiras.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como mencionado anteriormente, os desconfortos acústicos implicam na disfuncionalidade de determinados ambientes, o que é preocupante quando pensado em um ambiente de ensino que exige um local confortável e benéfico à concentração tanto dos alunos como do professor. Entre sintomas mais comuns recorrentes dessa disfuncionalidade ambiental, estão o desânimo, cansaço e desatenção (PEDRAZZI et al., 2001).

Ao traçar as características acústicas das salas escolhidas, com o objetivo de determinar se estão dentro dos limites das normas brasileiras, foi possível afirmar com fundamento se as mesmas proporcionam conforto adequado para execução das atividades rotineiras.

O local escolhido originou da facilidade de acesso tornando a produção do trabalho mais acessível. Há também importância para a comunidade, por se tratar de um local público de utilização para diversas atividades, exige boa qualidade de desempenho dos edifícios constantemente.

1.3 OBJETIVOS

Avaliar, seguindo as normas vigentes, as qualidades acústicas de nível de pressão sonora equivalente e tempo de reverberação das salas de aula e circulação do bloco 600, do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Formosa.

2. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Essa seção será dividida em subseções tratando dos conceitos e definições necessários para um melhor entendimento e preparo do leitor para compreensão do trabalho proposto.

Como conteúdo essencial, será realizado um apanhado geral acerca do som e suas características físicas. Em sequência será exposto como o som se comporta no meio, sua interação com os materiais e características físicas que formam o ambiente. Conceitos como isolamento acústico e tempo de reverberação serão intrínsecos para a produção do trabalho e

serão mais detalhados em vista disso. Posteriormente será frisado como um desempenho acústico inadequado de um ambiente pode trazer malefícios e prejuízos diversos. Saúde física, mental e rendimento escolar serão abordados tendo em vista a importância de se entender a necessidade de um bom condicionamento acústico em ambientes escolares.

Por fim, serão abordadas todas as normas técnicas importantes para a execução da metodologia de forma padronizada, proporcionando maior confiabilidade nos resultados. Normas de desempenho mínimo, execução de métodos de medição, cálculos de parâmetros e análise farão parte dessa seção, normas como a NBR 10151 (2019), NBR 10152 (2017), NBR 15575 (2021) e NBR 12179 (1992), serão mencionadas e detalhadas.

2.1. O SOM

O fenômeno sonoro pode ser caracterizado pela sensação detectada no sistema auditivo humano. Ela se dá pela variação da pressão do meio de forma que se repita ciclicamente, característica essa da onda mecânica (BISTAFA, 2018).

O som se trata da percepção e interpretação do cérebro diante da vibração de um meio elástico. Assim a composição de um som depende de uma fonte emissora que vai produzir um movimento harmônico no meio suficiente para causar a sensação ao ouvido humano (SIQUEIRA, 2020).

O som é um fenômeno que necessita de um meio material para se propagar, seja este composto por sólidos, líquidos ou gases, e assim é classificado como uma onda mecânica, por onde se entende que há o comportamento variante no espaço e tempo. Essa variação se dá de forma longitudinal, ou seja, os elementos materiais se deslocam com a direção da perturbação (BRANDÃO, 2016).

O objetivo do trabalho é tratar de sons que causam desconforto e disfuncionalidade, a palavra ruído vem como principal termo para defini-los. Porém, como todo ruído é um som será necessário apresentar os fundamentos acerca do assunto.

2.1.1. A ONDA SONORA

Como foi visto, o som é uma onda mecânica, onde as partículas do meio se movimentam no sentido da perturbação. Esse deslocamento das partículas ocorre em um movimento harmônico, caracterizando uma forma de oscilação.

O movimento harmônico é caracterizado por movimentos que se repetem com intervalos regulares e quando esse intervalo é dado em função do tempo, têm-se um movimento harmônico simples. Nele a partícula se movimenta na direção X à depender da amplitude (X_m), frequência angular (ω), o próprio tempo (t) e uma constante de fase (ϕ), sendo dado por (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)

$$X(t) = X_m * \cos(\omega t + \phi). \quad (1)$$

A Figura 1 mostra o comportamento da onda sonora para a função proposta acima, onde em Y temos a amplitude (X_m) e em X o tempo (t):

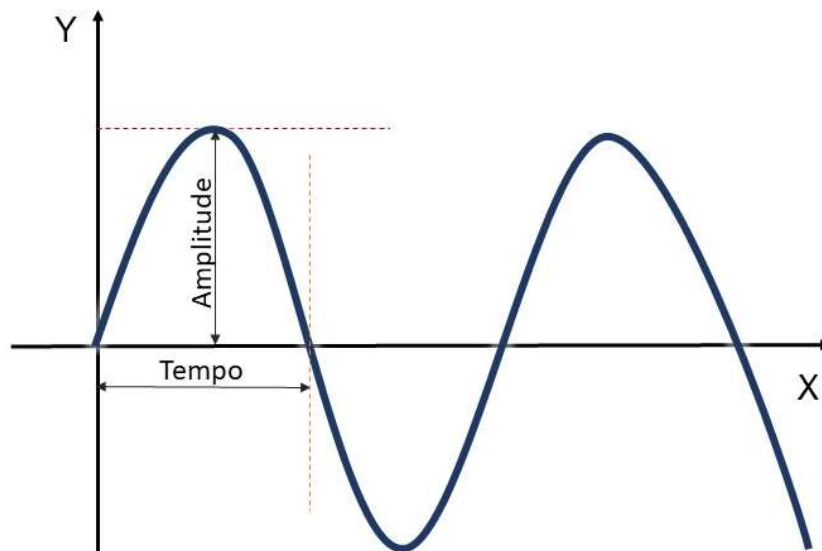


Figura 1: Movimento harmônico característico de um tom puro.
(Imagem adaptada: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, p. 119, 2009)

O tempo necessário para que o movimento complete seu ciclo é chamado de período. A frequência será, dessa forma, a quantidade de ciclos completados a cada segundo percorrido no tempo, sendo esse fenômeno caracterizado pela unidade de hertz (Hz) (SIQUEIRA, 2020).

A frequência de uma onda pode ser representada graficamente como mostra a Figura 2 abaixo:

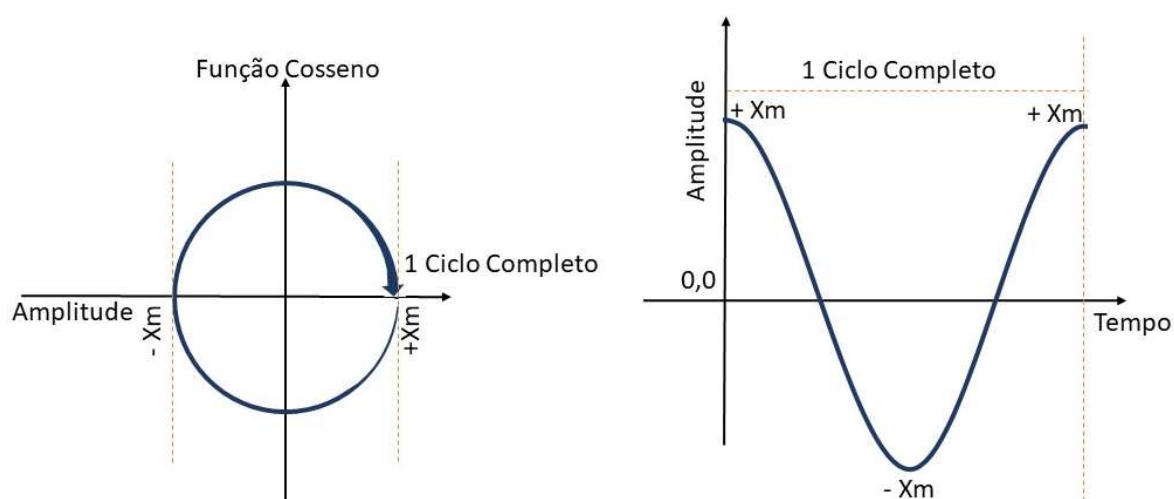


Figura 2: Representação gráfica da frequência de uma onda.
(Imagem adaptada: BISTAFA, p. 19, 2018)

A frequência é relacionada diretamente à classificação subjetiva de som grave (períodos longos) e som agudo (períodos curtos) e o sistema auditivo também tem limitações quanto às faixas de frequências possíveis de serem ouvidas. A faixa de frequências de possível detecção, é em torno de 20 a 20000 Hz, acima disso temos os ultrassons, e abaixo os infrassons, ambos indetectáveis pelo ouvido humano (BISTAFA, 2018).

As combinações de tons harmônicos são os responsáveis por caracterizar os diferentes sons que existem. Essas combinações produzem a “forma” do som, ou seja, o timbre, que é uma propriedade do som na qual é usada para diferenciar as fontes sonoras (COSTA, 2003).

Os sons com uma única frequência característica são definidos como tons puros. Ao contrário destes, os sons com diversas combinações desordenadas de frequências são definidos como ruídos. Este último por sua vez, são os mais comumente encontrado no ambiente, com diversas combinações de tons puro não harmônicos e aleatórios (BISTAFA, 2018).

2.1.2. PRESSÃO SONORA

O fenômeno físico denominado som, surge com a variação de pressão atmosférica, sendo essa variação na forma de ondas, que por sua vez é perceptível ao sistema auditivo estando dentro da faixa de frequência (20 a 20000 Hz), conforme dito anteriormente (LALIS, 2021).

A produção e comportamento de uma onda sonora pode ser exemplificada como na figura abaixo, onde o movimento de um êmbolo para a direita e esquerda, de forma cíclica, é capaz de movimentar as moléculas de ar no mesmo sentido e direção, e essa movimentação,

pode ainda ser transmitida para as moléculas adjacentes. Assim há uma variação harmônica de pressão no interior do tubo, tendo um aumento com o movimento para a direita, e uma redução com o movimento para a esquerda. Essa variação de pressão será movida pelo tubo como um pulso com sentido para a direita (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

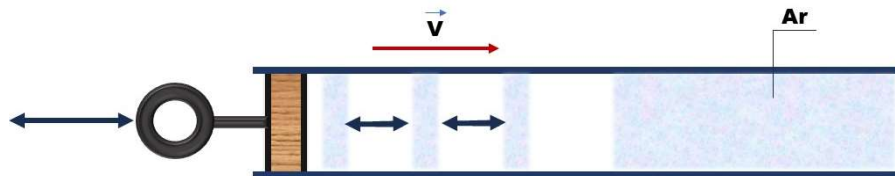


Figura 3: Onda sonora produzida por um êmbolo.
(Imagem adaptada: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, p. 117, 2009)

É com essa perturbação do meio, variando a pressão do ar, que ao atingir o ouvido humano se percebe o som. Isso pode ser observado no diapasão, instrumento utilizado por médicos para avaliar a perda auditiva. Sua funcionalidade se dá através da vibração do mesmo, na qual irá empurrar as moléculas de ar com uma determinada frequência possível de gerar som perceptível (BISTAFA, 2018).

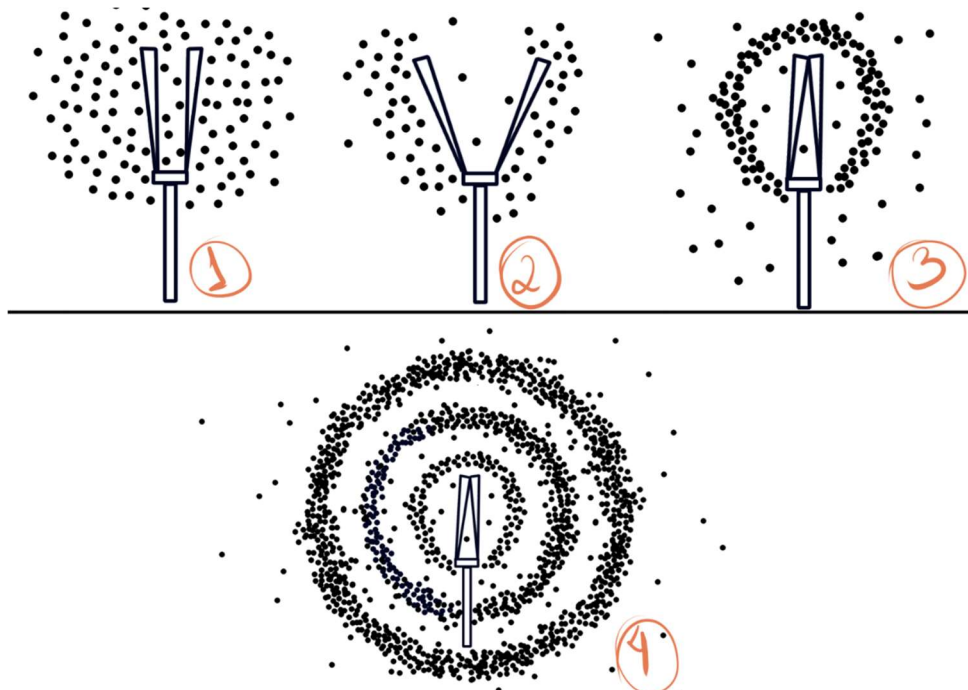


Figura 4: Propagação do som por meio de um diapasão.
(Imagem adaptada: BISTAFA, p. 19, 2018)

A figura acima demonstra como se dá a propagação do som por meio da variação de pressão. O diapasão em seu estado normal (1), não gera variação de pressão, estando o ambiente

em sua pressão natural. Quando o diapasão tem seus braços afastado (2), as partículas se aglomeram formando uma compressão em volta. E quando os braços se juntam, há uma concentração de moléculas próximas a eles (3). Quando isso ocorre de maneira cíclica(4) pode se notar a formação de ondas esféricas que será abordado mais a seguir (BISTAFA, 2018)

2.1.3. FORMAS DE PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA

Foi visto que a onda sonora requer variação de pressão em um movimento harmônico e à uma faixa de frequência específica para ser detectada pelo ser humano. Porém como essa onda pode ser emitida e propagada será definida aqui.

O modo mais comum na qual as fontes sonoras emitem som, é na forma de ondas esféricas vindas do centro de uma fonte emissora. Essa forma esférica geralmente sofre alterações com obstáculos ou com deformidade do meio na qual se propaga. Essa deformidade pode originar de ações do vento ou alterações de temperatura (GERGES, 1992).

Dessa forma pode se imaginar a emissão sonora como na figura a seguir, onde em S têm-se a fonte sonora pontual, que impulsiona o meio em todas as direções e à medida que o impulso é transmitido pelo meio vão se formando as frentes de onda, que possuem como centro o ponto S e espalham radialmente. Podemos concluir que, com o aumento do raio, a frente de onda se afasta do ponto S, ela tende a ter características de onda plana devido à redução da curvatura nos extremos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

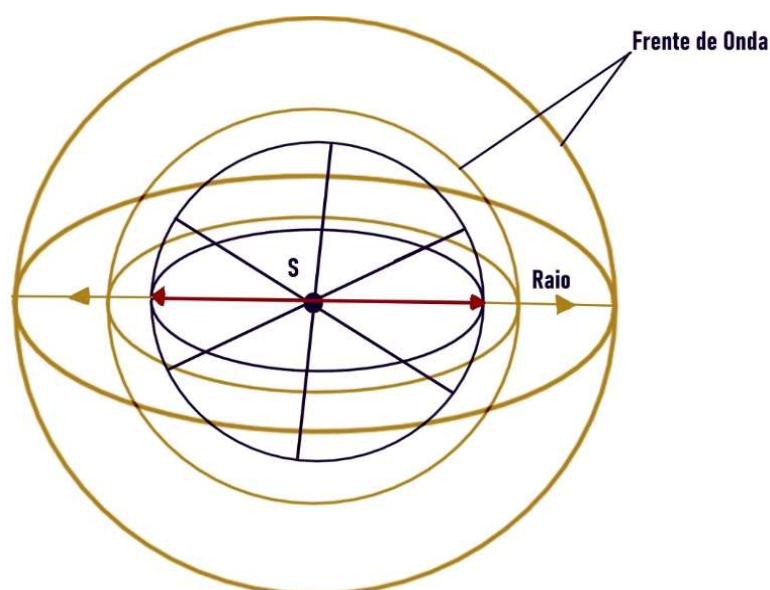


Figura 5: Propagação de onda esférica a partir de um ponto S.
(Imagem adaptada: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, p. 150, 2009)

2.1.4. A ESCALA DECIBEL

O decibel (dB) é a escala mais utilizada em acústica, tanto os níveis de pressão sonora como tempo de reverberação, que serão parte do trabalho, são obtidos nessa escala. Apesar de relacionarmos essa escala diretamente à fenômenos acústicos, ele surgiu de algo diferente.

A escala “Bel” foi criada para caracterização da perda de potência em cabos de telefonia. Se trata de uma escala logarítmica de base 10, onde relaciona potência característica em um ponto (P) com uma potência de referência (P_0) que deve ser indicada. Pode ser escrita como (BISTAFA, 2018)

$$Bel = \text{Log} \left(\frac{P}{P_0} \right). \quad (2)$$

Com a necessidade de dividir em frações menores, surgiu o “Decibel”, na qual corresponde a um décimo de “Bel” e é partir disso que se definiu então, em decibéis, o que seria o nível de intensidade sonora, onde dependerá da intensidade acústica (I) em relação à uma intensidade de referência (I_0), dada por (GERGES, 1992)

$$Li = 10 \text{Log} \left(\frac{I}{I_0} \right). \quad (3)$$

Como o nível de pressão sonora é equivalente ao quadrado da intensidade sonora, podemos analogamente adequar a equação para tal, obtendo-se

$$Lp = 10 \text{Log} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \text{Log} \left(\frac{p}{p_0} \right). \quad (4)$$

2.2. O COMPORTAMENTO DO SOM NO MEIO

Provavelmente esta seja a seção mais relacionada à prática e aplicação do trabalho: o recinto e suas características volumétricas, a dificuldade de propagação do som, materiais que compõe o espaço e suas características reflexivas, absorventes e transmissivas. Tudo serve para explicar o comportamento do som frente à obstáculos, seja perdendo energia (absorvido), reverberando (refletido), ou transpondo o obstáculo (transmitido).

2.2.1. ABSORÇÃO E REFLEXÃO DO SOM

Quando uma onda sonora incide em uma barreira, há três fenômenos que poderão acontecer com proporções distintas a depender do material. Esses fenômenos são denominados de reflexão, absorção e transmissão e a soma deles deve ser igual à onda incidente na barreira (COSTA, 2003).

O coeficiente de absorção é uma relação que depende da energia refletida e energia incidente, de modo que um coeficiente terá seu valor mínimo (zero) se refletir por completo a energia incidente, e terá coeficiente em valor máximo (um) se absorver totalmente a energia incidente. Esse fenômeno é representado através de (BISTAFA, 2018)

$$\alpha = \frac{E_{Absorvida}}{E_{Incidente}} \rightarrow \alpha = \frac{E_{Incidente} - E_{Refletida}}{E_{Incidente}} \rightarrow \alpha = 1 - \frac{E_{Refletida}}{E_{Incidente}}. \quad (5)$$

Bistafa ainda complementa a definição de energia absorvida como a composição de energia dissipada, na qual é convertida em calor, e energia transmitida, na qual é uma parcela que atravessa a barreira. O coeficiente de transmissão τ , pode ser definido como

$$\tau = \frac{E_{Transmitida}}{E_{Incidente}}. \quad (6)$$

A absorção sonora ocorre devido ao atrito e viscosidade do ar, onde parcela da energia sonora é convertida em calor. Materiais porosos apresentam um melhor coeficiente de absorção, porém outros fatores interferem nesse valor, como o raio dos poros, disposição adotada, a própria frequência sonora, entre outros (COSTA, 2003).

Em geral esse coeficiente de absorção sonora pode ser solicitado ao fabricante. Na tabela a seguir há diversos coeficientes para materiais comuns de edificações, é importante salientar a taxa de variação entre diversas frequências para um mesmo material.

Tabela 1: Valores indicativos para o coeficiente de absorção de materiais.

Material	Frequência central de banda de oitava (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Alvenaria de tijolos aparentes não pintados	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Alvenaria de tijolos aparentes pintados	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Reboco liso sobre alvenaria de tijolos ou blocos	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Alvenaria de blocos aparentes pintados	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Reboco ou gesso rústico sobre quaisquer alvenarias	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Reboco ou gesso desempenado sobre quaisquer alvenarias	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
Concreto ou cimento liso desempenado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Concreto aparente, tratado e polido	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

(Tabela adaptada: BISTAFA, p. 248, 2018)

Um ambiente com bom isolamento acústico possui formas eficientes de impedir a transferência de energia sonora. Essa qualidade interfere consideravelmente em um ambiente educacional, pois interfere na boa comunicação e pode ser um fator que reduz capacidade de aprendizado (COSTA, 2020).

Para corrigir problemas referentes à ruídos externos, é usado diretamente as características de determinados materiais de absorverem essa energia, e dessa forma isolar o ambiente.

Ao considerar o desempenho quanto ao isolamento de uma sala de aula deve ser levado em consideração que se trata de um ambiente com bastante ruído ocupacional. Dessa forma, ao avaliar a capacidade de isolamento sonoro de uma sala deve-se observar não somente as divisas de vedação, como também frestas, aberturas (portas e janelas), entre outros componentes que fazem parte da partição (LOSSO, 2003).

2.2.2. REVERBERAÇÃO

Reverberação é o efeito físico ondulatório onde o som é refletido de forma repetitiva e atinge o sistema auditivo. Isso se dá quando o intervalo de repetição é menor que 0,1 s,

divergindo do eco que ocorre em intervalos maiores. A reverberação é responsável por causar dificuldade de inteligibilidade em ambientes, causando desconforto (COSTA, 2020).

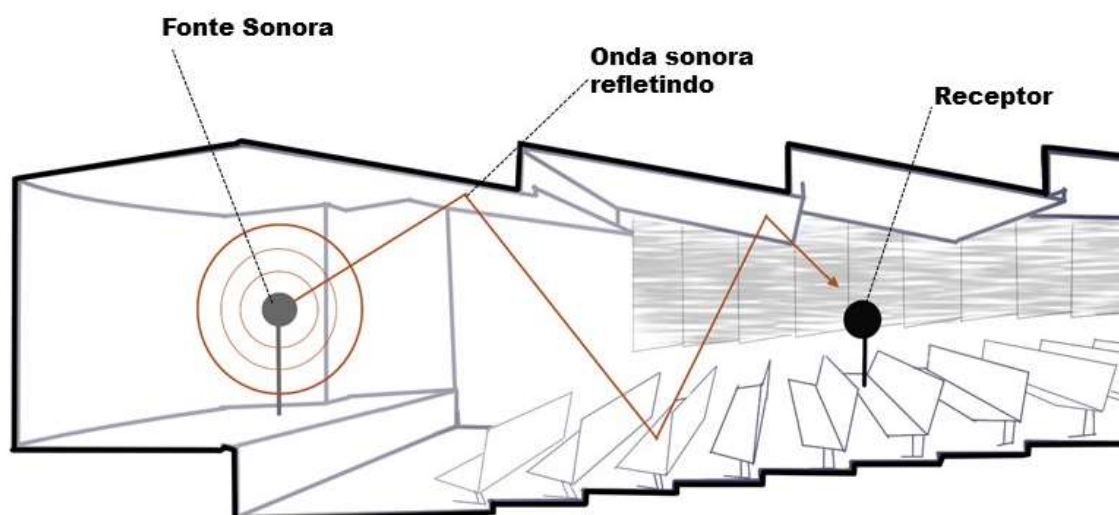


Figura 6: Representação da reflexão de uma onda sonora.
(Imagem adaptada de Brandão, p. 104, 2016)

O tempo de reverberação está relacionado ao tempo necessário para que o nível de pressão sonora decaia 60 dB. Para isso é preciso emitir um som no ambiente e interrompê-lo e é a partir desse corte de emissão que o nível de pressão sonora irá decair pelo tempo. Esse parâmetro depende do volume da sala (m^3), e da área das superfícies que poderão absorver essa energia de pressão sonora (m^2) (MICHALSKI, 2011).

Esse decaimento está intrinsecamente relacionado à absorção sonora dos materiais dos elementos que compõem a sala, e demora um certo tempo para decair pois as parcelas do som não absorvidas ficarão refletindo sobre as superfícies. O tempo de reverberação pode ser calculado de forma simplificada através da fórmula de Sabine (7), onde V é o volume da sala (m^3) e $S\alpha$ o coeficiente de absorção vezes a área das superfícies que compõem a sala. Isso é representado por (COSTA, 2020),

$$TR = \frac{0,16 * V}{S\alpha}. \quad (7)$$

Entretanto, quando o meio possui materiais com valores de coeficientes de absorção “ α ” que tendem a 1 (superfícies altamente absorventes), o valor para tempo de reverberação proposto por Sabine tende a um valor diferente de 0, o que diverge da teoria de que ao absorver toda a energia sonora, o tempo de reverberação será nulo por não haver reflexões (BRANDÃO, 2016). Nesses casos, deve-se utilizar a fórmula de Eyring (8),

$$TR = \frac{0,161 * V}{-S \ln(1 - \alpha)} \quad (8)$$

É indicado a fórmula de Sabine (7) para salas com coeficientes de absorção de até 0,2. Acima desse valor, é recomendado considerar o uso da fórmula de Eyring (8) pois seus valores tendem a ser menores que pelo uso da fórmula de Sabine (BRANDÃO, 2016).

Diferente da Fórmula de Sabine, onde possui valores aceitáveis somente em ambientes com limitação em relação ao volume, a fórmula de Eyring é mais geral e gera resultados razoavelmente equivalentes aos experimentais. Isso ocorre pois a fórmula de Sabine considera a distribuição uniforme da energia sonora sobre as superfícies do meio, simplificando a realidade (COSTA, 2003).

Além disso, em recintos pequenos, e com baixa incidência de altas frequências, observa-se que considerar a absorção do ar no tempo de reverberação se torna irrelevante. Dessa forma, pode-se ignorar a influências do ar para tal (BISTAFA, 2018).

Para tempo de reverberação, além dos coeficientes de absorção mencionados na tabela da subseção anterior, é fundamental considerar a influência de pessoas e mobiliários quando em grande quantidade (BISTAFA, 2018).

Na tabela abaixo é fornecido valores característicos para absorção sonora de pessoas e mobiliários. Como pode ser observado, são fornecidos como valores absolutos, independentes de sua área, sendo uma forma de simplificação desses objetos de formas complexas e imprecisas como uma pessoa.

Tabela 2: Coeficientes de absorção de pessoas e mobiliários.

Pessoas e Mobiliário	Frequência central de banda de oitava (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Pessoa de pé	0,19	0,33	0,44	0,42	0,46	0,37
Pessoa sentada no chão (uma pessoa por m²)	0,17	0,36	0,47	0,52	0,53	0,46
Adulto sentado, incluindo a cadeira	0,2	0,28	0,32	0,37	0,41	0,44
Criança sentada, incluindo a cadeira	0,17	0,21	0,26	0,3	0,33	0,37
Músico de orquestra com instrumento	0,4	0,85	1,15	1,4	1,3	1,2
Cadeira de madeira, simples, vazia, ou pequena mesa	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05
Cadeira de palhinha	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Carteira escolar, vazia	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Carteira escolar, ocupada	0,18	0,24	0,28	0,33	0,37	0,39
Poltrona de auditório, de madeira	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06

(Tabela adaptada: BISTAFA, p. 250, 2018)

Para o procedimento de cálculo, e avaliação do tempo de reverberação em recintos fechados, têm-se a norma NBR 12179: 1992, que foi de extrema importância ao trabalho e melhor abordada na seção 2.4.2.1.

2.3. COMPORTAMENTO DE RUÍDOS EM SALAS DE AULA

Tendo em vista o comportamento do som em recintos fechados abordados nas seções anteriores, vale refletir sobre o quanto esses eventos podem poluir com ruídos em salas de aula, cujo objetivo principal é compartilhar conhecimentos de forma clara e acessível.

Em escolas, o ruído de fundo será qualquer ruído além da voz do professor, e está relacionado a condições normais de utilização. Esse ruído pode advir da própria sala, como também de ambientes externos, onde sua incidência na sala dependerá da capacidade de isolamento das divisas (LOSSO, 2003).

Como dito anteriormente, a capacidade de isolamento ao ruído depende de todo o conjunto das partições de uma sala. É importante ressaltar que em várias pesquisas na área, como a de Krüger e Zannin (2004), chega-se na conclusão de que algumas salas só atenderiam aos requisitos mínimos de isolamento quando completamente fechadas (Janelas e portas).

Um dos problemas associados ao ruído em sala de aula está relacionado à saúde vocal do professor, que em uma tentativa de vencer o ruído de fundo pode acabar realizando um esforço e alterações vocais bruscas. E apesar disso, a qualidade acústica em um edifício escolar ainda não é uma prioridade (PINHEIRO; MASSON; LOPES, 2017b).

2.3.1. RUÍDOS DE IMPACTO E RUÍDOS AÉREOS

Segundo a norma NBR 12179: 1992, pode-se definir como ruído de impacto, os ruídos caracterizados pela sua percussão sobre um corpo sólido e/ou transmitidos pelo ar. E os ruídos aéreos como aqueles caracterizados pela sua produção e transmissão pelo ar.

Já a norma NBR 16313: 2014, que trata dos conceitos e terminologias da área, define o ruído de impacto como a resultante do choque de dois materiais, ao mesmo tempo que enquadra como um tipo de ruído impulsivo, sendo este definido como sons de pressão sonora com duração menor que um segundo. Já para essa mesma norma, o ruído aéreo é definido como um som que se propaga pelo ar.

2.3.2. A PROBLEMÁTICA DO RUÍDO PARA A INTELIGIBILIDADE DA FALA

Essa sessão será embasada nos conceitos de Bistafa (2018) devido o autor tratar o assunto com clareza e detalhes.

Os sons impulsivos possuem audibilidade reduzida ao depender de sua duração, um pulso de 3 ms por exemplo, para ser audível tanto quanto um pulso de 500 ms, deverá aumentar em 15 dB seu nível de pressão sonora. Isso explica o porquê de sons de consoantes possuem maior influência na inteligibilidade da fala (processo na qual há um entendimento por parte do ouvinte em relação à uma fala externa), pois possuem características impulsivas, diferente de vogais, onde possuem uma maior duração.

Assim, se um ambiente refletir grande parte dessa energia sonora, os sons que são mais intensos (vogais) tendem a sobressair ainda mais sobre os sons das consoantes, mascarando-as e tornando a comunicação ininteligível. Dessa forma que é recomendado o uso de materiais absorventes em ambientes onde o entendimento da fala se faz importante.

O ruído também interfere de forma significativa na inteligibilidade da fala, pois em ambientes ruidosos o efeito que tende acontecer com o ouvinte é o de alteração do limiar da audição, sendo necessário maiores níveis sonoros para se perceber um som. Dessa forma, só alguns ou nenhum dos sons serão percebidos, tornando inviável uma inteligibilidade satisfatória.

2.3.3. A PROBLEMÁTICA DO RUÍDO À SAÚDE HUMANA

É comum encontrarmos muitas pesquisas relacionando problemas de saúde humana e exposição à ruídos com ambientes agressivos, exigindo forte presença de técnicos de segurança do trabalho, como na indústria. Isso se dá à forte legislação aplicada a esse tipo de ambiente. O que não é comum de observar em ambientes residenciais e educacionais, onde não há essa cobrança por parte dos órgãos fiscalizadores (ENIZ, 2004).

Todos esses estudos e pesquisas relacionadas à saúde auditiva nas indústrias são de grande importância tendo em vista que destacam e difundem os impactos na saúde física de quem se expõe à altos níveis de pressão sonora em forma de ruídos. Bistafa (2018) destaca a influência do tempo de exposição e o nível de ruído em decibéis para um indivíduo comum em

um ambiente de trabalho contínuo, que reflete em um aumento na probabilidade de ter problemas auditivos.

Ele ainda aponta que além dos danos à percepção auditiva, o ruído pode gerar problemas psicossociais no indivíduo, como ansiedade, estresse, isolamento e violência, interferindo na saúde mental da pessoa e nas pessoas próximas como a família. Isso pode gerar perdas no nível social que levam a pessoa a se isolar mais e amplificar os sintomas.

Entretanto, a realidade dos ambientes urbanos só vem se agravando com o passar dos anos e com o forte crescimento, muitas vezes desordenado das cidades. O problema que antes era pensado só na indústria, passa a ser orientado para as escolas por exemplo.

E é assim que estudos como o de Gonçalves, Silva e Coutinho, (2009) repensam a problemática do ruído no âmbito educacional. Relacionam o ruído com o professor e aluno e é evidente que diferente da indústria, geram maiores transtornos mentais e de aprendizado que prejuízos físicos (perda de audição), porém este último não é descartável podendo haver riscos fisiológicos principalmente aos professores a depender do ambiente educacional e níveis de ruído do local.

Ainda segundo o autor, o principal problema físico relacionado à saúde do professor é referente à problemas vocais, como cansaço vocal, rouquidão, dores nas pregas vocais e laringe. Isso gera frequentes afastamentos ou diminuição da carga horária do profissional. Em alguns casos até mesmo incapacidade de continuar exercendo a profissão.

O processo de aprendizagem por parte dos alunos também sofre prejuízos com os altos níveis de ruídos, em razão do ensino se basear por sistemas sensoriais, entre os principais a visão e audição. O ruído então surge como uma interferência na qual compete com a fala do professor, tornando a desatenção e distração algo comum ao aluno e prejudicando sua aprendizagem de forma significativa (ENIZ, 2004).

Autores como Bueno et al. (2019) reafirmam essa necessidade de ambientes acusticamente favoráveis à comunicação em sala de aula. A falta de um projeto e estudo aplicado para salas de aula está vinculada ao péssimo desempenho das edificações de caráter educacional.

2.4. NORMAS TÉCNICAS ENVOLVENDO ACÚSTICA

2.4.1. NORMA DE DESEMPENHO

Tendo em vista os inúmeros problemas relacionados ao ruído, foi necessário criar normas para padronização de técnicas e evitar desempenhos abaixo dos considerados mínimos e benéficos.

A norma principal que aborda todos os requisitos básicos de uma edificação se encontra na NBR 15575 (2021). Ela ainda é composta por outras cinco partes, onde detalha consecutivamente em cada parte: sistemas estruturais; sistemas de pisos; sistemas de vedações verticais internas e externas; sistemas de coberturas; sistemas hidrossanitários.

Essa norma serve como procedimento para coleta de dados e avaliação do desempenho de edificações, abordando durabilidade, resistência ao fogo (incêndio), entre outros. Dentro deles se encontra requisitos de desempenho acústico para vedações, se preocupando principalmente com a questão de ruídos externos de diversas naturezas.

Por ser uma norma focada em atender edifícios que ainda não estejam prontos, ela servirá de base teórica para a escolha de métodos mais específicos para o trabalho aqui proposto, que trata de uma avaliação de um edifício pronto e em funcionamento.

2.4.2. NORMAS DE PARÂMETROS ACÚSTICOS

2.4.2.1. NORMAS - TEMPO DE REVERBERAÇÃO

A norma que trata desse assunto é a NBR 12179 (1992), que tem como objetivo proporcionar através da posse das condições do local, maneiras de realizar um tratamento acústico adequado à função do recinto.

Como o presente trabalho tem como objetivo somente coletar as informações das condições atuais e classifica-las em relação ao desempenho, será aproveitada desta norma somente os procedimentos do estudo geométrico para o cálculo de tempo de reverberação e formas de avaliação.

A norma dispõe de duas formas de calcular o tempo de reverberação de uma sala: fórmula de Sabine e fórmula de Eyring. Como já foram explicadas na seção 2.2.2, será considerado aqui, a recomendação de uso de cada fórmula segundo a norma. O limite de

coeficiente médio de absorção para o uso da fórmula de Sabine, será de até 0,30. Caso contrário deverá ser utilizado a fórmula de Eyring.

Com os resultados de tempo de reverberação (TR), os mesmos deverão ser comparados ao valor de tempo de reverberação ótima. Esses valores se encontraram na figura em anexo na norma, em forma de ábaco. Se os valores calculados enquadrarem aos valores de referência, com margem de erro de 10%, serão consideradas satisfatórias no desempenho para tempo de reverberação.

2.4.2.2. NORMAS - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

Para as aferições acústicas de nível de pressão sonora existe duas normas brasileiras: a NBR 10151 (2019) que dispõe dos requisitos para medição e avaliação de níveis de pressão sonora em aplicações de uso geral e a NBR 10152 (2017), que dispõe da mesma composição de requisitos, porém para a aplicação em ambientes internos. Será detalhado nessa subseção a NBR 10152 por conter mais informações diretamente ligadas ao trabalho aqui proposto.

A NBR 10152:2017 é composta por alguns itens importantes de serem mencionados: instrumentação; calibração; descritores e procedimentos de medição; método de medição; avaliação sonora; e relatório de medição e avaliação. Será abordado de forma breve cada um desses itens.

Quanto à instrumentação, a norma requer que o equipamento medidor, seja da classe 1 ou classe 2 e que atenda aos critérios da IEC 61672:2020. O medidor deverá estar calibrado para as faixas de frequências possíveis de serem medidas e possuir filtros de correção em A ou em S. Além disso, deverá possuir um calibrador classe 1 ou 2 a depender do medidor, na qual será usado para calibrar o sonômetro antes de cada série de medição. No fim de cada série será feito a leitura utilizando o sonômetro acoplado ao calibrador sonoro conforme figura a seguir. Se houver uma variação de 5 dB dos valores medidos será necessário refazer as leituras.

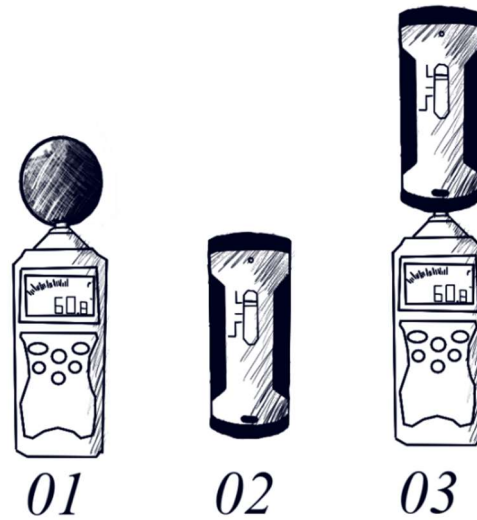


Figura 7: Esquema dos equipamentos: Em 01 um medidor genérico com protetor; em 02 um modelo genérico de calibrador sonoro; e em 03 o medidor acoplado ao calibrador.

O medidor e calibrador sonoro devem possuir certificado de calibração em laboratório membro da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro.

As medições deverão ser suficientes para a caracterização do objeto de estudo. Serão necessários no mínimo 3 pontos em salas de até 30 m² e a cada 30 m² acima disso será necessário adicionar 1 ponto. É recomendado ainda que as salas estejam em sua configuração comum de uso, e de preferência na ausência dos usuários. Os pontos devem ser distribuídos de modo que fiquem ao menos à 1 m de paredes, mobiliários, janelas e portas. (NBR 10152: 2017).

A norma apresenta dois possíveis métodos para coleta e análise dos níveis de pressão sonora de um ambiente: O método simplificado, na qual é usado a análise dos níveis globais de pressão sonora, e o método detalhado, onde além na análise global se faz também para a pressão sonora espectral nas bandas de 1/1 de oitava.

Para o método simplificado, na qual é interesse desse trabalho, é necessário que o tempo de medição em cada ponto seja maior ou igual a 30 s. O resultado da medição deverá ser composto pela média das medidas em cada ponto, dessa forma será necessário inseri-los em (9), onde fornece o valor representativo global do ambiente como um todo.

$$L_{A,Eq,30} = 10 * \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left(10^{\frac{LAeq, 30s, p1}{10}} + 10^{\frac{LAeq, 30s, p2}{10}} + \dots + 10^{\frac{LAeq, 30s, pn}{10}} \right) \right] \quad (9)$$

Além do valor médio representativo, há também o nível máximo de pressão sonora representativo de um ambiente ($L_{AS,Max}$) que é representado pelo maior registro entre os níveis de pressão sonora medidos em cada ponto na série de medição da sala.

Para análise e avaliação dos resultados a NBR 10152 (2017) estabelece que os valores devem ser comparados com os valores representativos para cada parâmetro. Para o método simplificado deverá ser observado os valores de $L_{A,Eq,30s}$ e $L_{AS,Max}$. Abaixo, a tabela mostra alguns valores de referência dispostos na norma.

Tabela 3: Valores de referência para ambientes internos de acordo com a finalidade de uso.

Finalidade de uso	Valores de referência		
Educacionais	RLAeq (dB)	RLASmax (dB)	RLNC
Circulações	50	55	45
Berçário	40	45	35
Salas de aula	35	40	30
Salas de música	35	40	30

(Tabela adaptada da norma ABNT NBR 10152, p. 13, 2017)

Dessa forma, se os resultados se enquadram nos valores de referência, o ambiente se enquadra nos requisitos mínimos de desempenho, pois as normas NBR 10151 (2019) e NBR 10152 (2017) obedecem aos critérios da NBR 15575:2021 (Partes 4 e 5).

Por fim, é importante ressaltar a necessidade da verificação da incerteza em cada série de medida. A norma indica ABNT ISO/IEC GUIA 98-3:2014, ou o anexo C da norma contendo o método simplificado para tal. Nela é considerado duas variáveis de incerteza, a instrumentação de medição (a) e a repetibilidade e representatividade (b).

A incerteza padrão combinada será dada por

$$u = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (10)$$

onde a incerteza padrão “u” combinada será dada em dB, os valores atribuídos a “a” será de 1 para instrumentação classe “1” e 2 para instrumentação classe “2”. E b será dado pelos valores medidos em dB, divididos por $\sqrt{n}$, sendo “n” o número de medições.

Com isso, a incerteza expandida de medição será dada por

$$U = \pm k * u, \quad (11)$$

na qual “k” será o fator de abrangência considerado de 2, para uma probabilidade de 95%, e “u” será obtida em (11).

3. METODOLOGIA

A metodologia, como parte fundamental para a aplicação do trabalho, foi prevista conforme a figura abaixo:

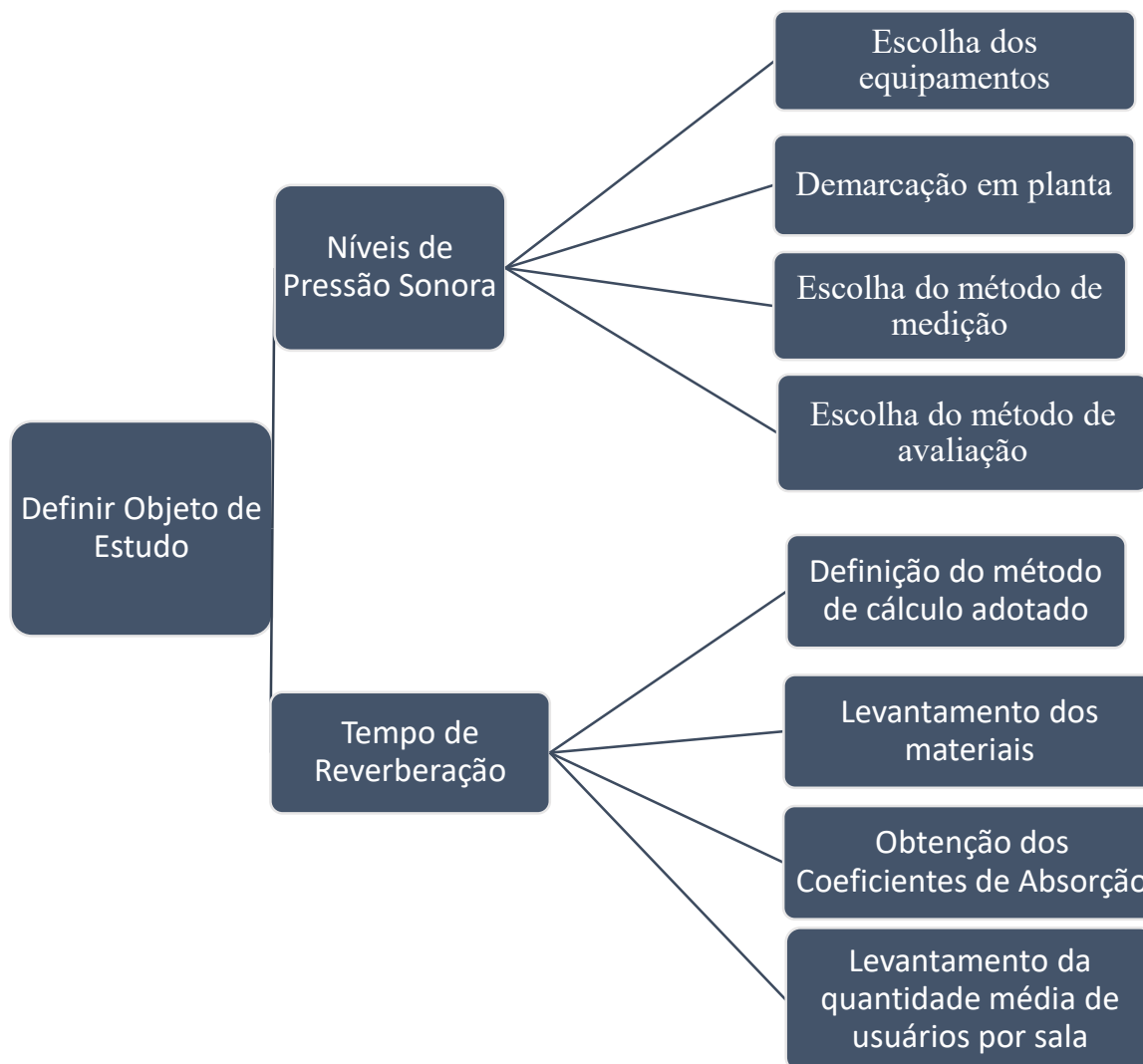


Figura 8: Fluxograma do plano metodológico.

3.1. OBJETO DE ESTUDO:

As medições de nível de pressão sonora e cálculo do tempo de reverberação foram realizadas nas salas e corredores do bloco 600 do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Formosa. As salas estão distribuídas em dois pavimentos, sendo quatro localizadas no pavimento térreo e cinco localizadas no pavimento superior. Ambos os pavimentos possuem corredor para

circulação de pessoas. As figuras abaixo mostram as disposições das salas em seus respectivos pavimentos:

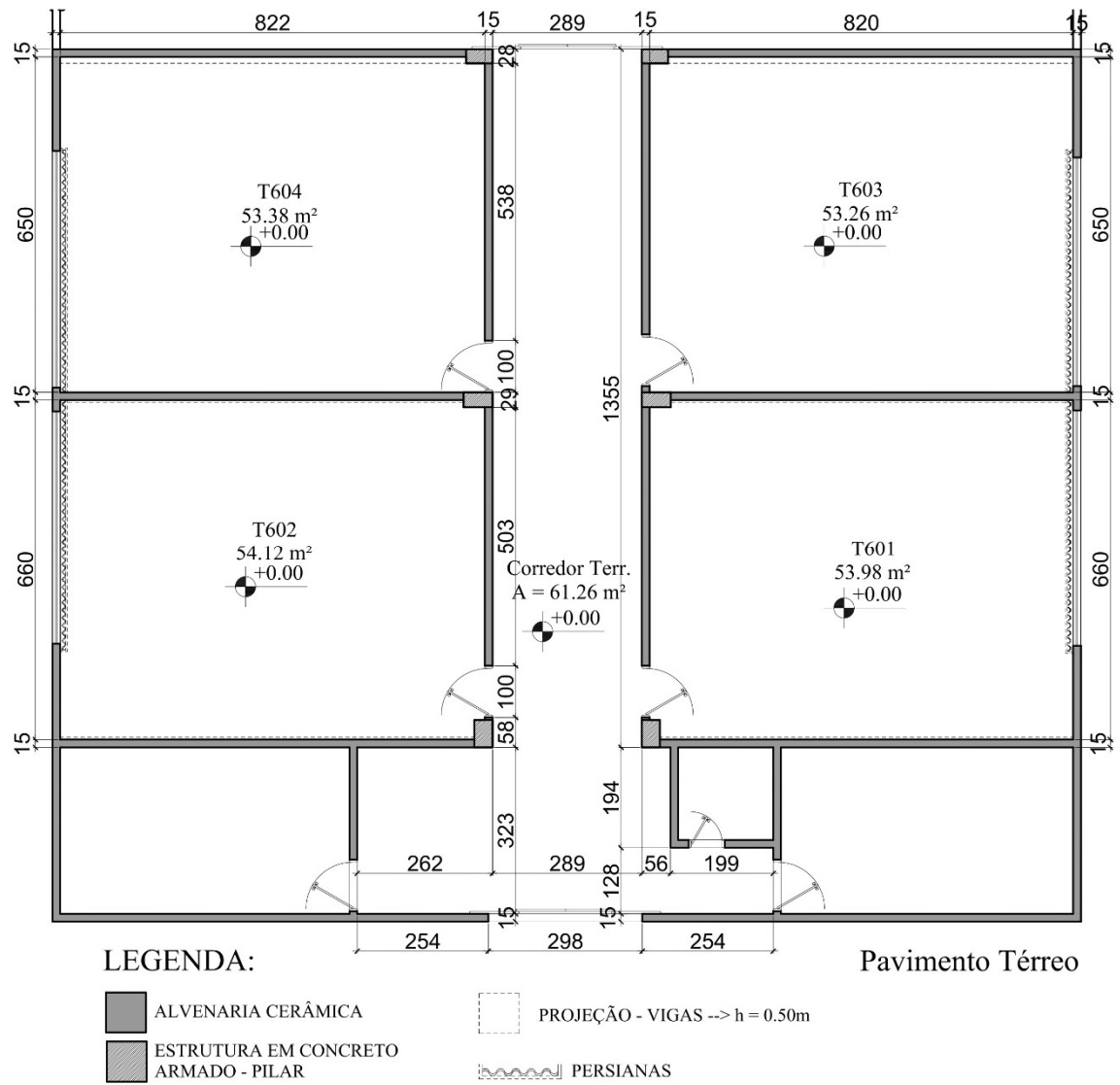


Figura 9: Planta de pavimento térreo das salas do estudo.

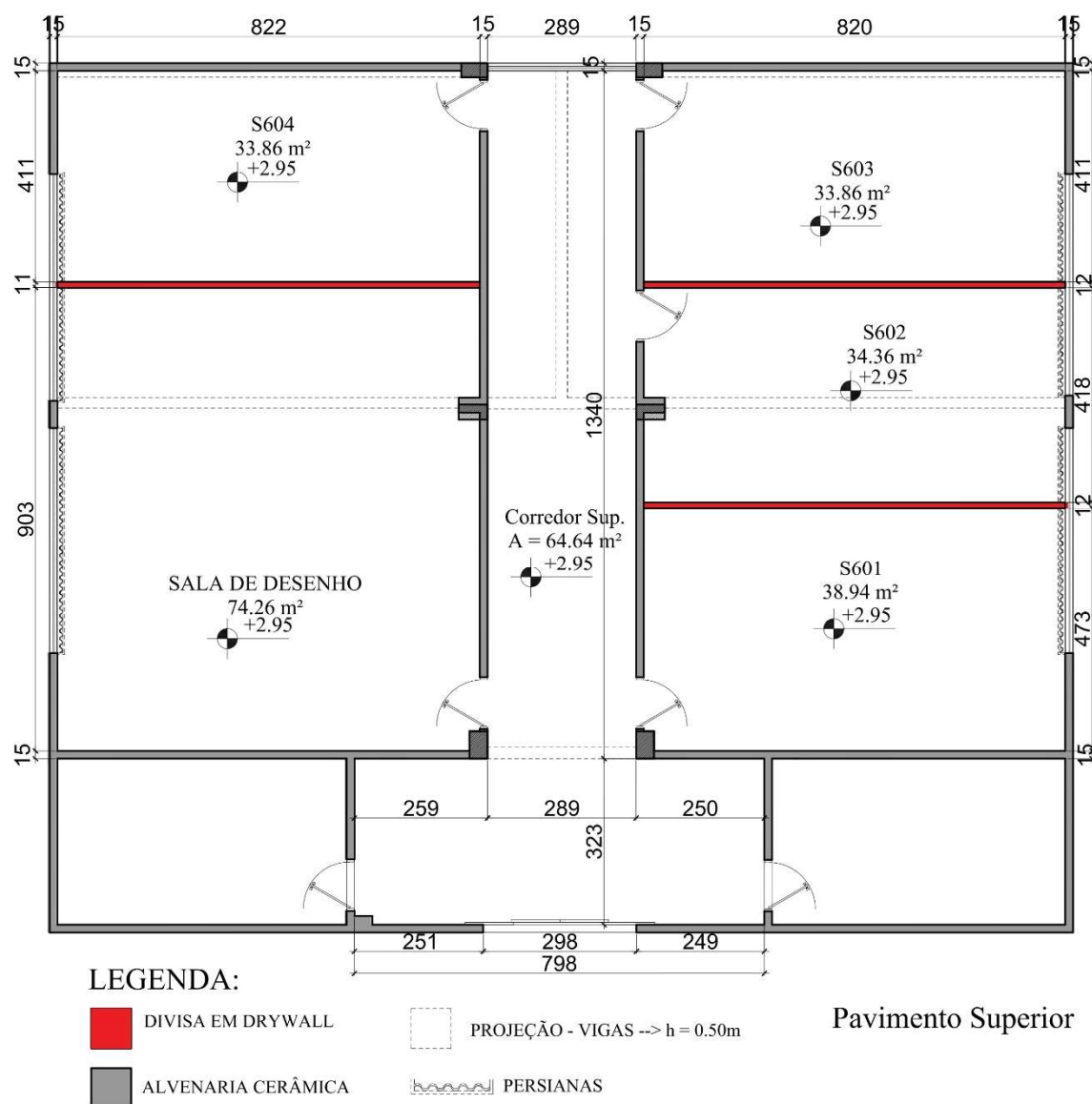


Figura 10: Planta de pavimento superior das salas a serem estudadas.

No pavimento térreo todas as divisas das salas são compostas por alvenaria cerâmica com acabamento em pintura lisa e possuem pé direito de 2,80 m e acabamento em laje pintada.

No pavimento superior há divisas em gesso “Drywall” (sem preenchimentos) nos limites entre as salas e o restante das divisas em alvenaria cerâmica, todas com acabamento em pintura lisa assim como no térreo, e pé direito de 2,78 m, e acabamento em laje pintada.

As salas possuem em torno de 18 à 30 cadeiras, lousas, portas de madeira de 1.00 x 2.10 m, e janelas que variam de largura para cada sala, além de persianas pvc ou tecido. A figura a seguir apresenta uma das salas do pavimento superior:



Figura 11: Fotografia da sala S603 em sua situação comum de uso.

Para melhor apresentação no texto, será exposto somente as plantas simplificadas, sendo as plantas detalhadas com mobiliário, bem como os cortes se encontram nos apêndices A, B e C para consulta se necessário.

Com a coleta inicial da composição das salas, foram mensuradas as suas respectivas características acústicas: nível de pressão sonora equivalente e tempo de reverberação. Totalizando 4 salas no pavimento térreo e o corredor térreo e 5 salas no pavimento superior e o corredor superior.

3.2. NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

Devido o objeto de estudo ser composto por ambientes internos, foram utilizadas, para a determinação dos níveis de pressão sonora, a norma NBR 10151:2019 em conjunto com a norma NBR 10152:2017. Elas são apresentadas em detalhe na seção 2.4.2.2.

O equipamento medidor foi o ITDEC 4000 da Instrutemp, onde atende os requisitos já mencionados no item 2.4.2.2, sendo do tipo 2, com exatidão de $\pm 1.5\text{dB}$, escala de frequência de 31. Hz a 8.5 KHz, filtro de correção disponível em A ou C, e escala de pressão sonora que varia de 30 à 130 dB.

Este medidor foi ajustado para as faixas de frequências possíveis de serem medidas no estudo (30dB à 80dB) e foi ajustado com o filtro de correção em A, gerando valores para $L_{a,eq}$ (Nível de pressão sonora equivalente ponderada em A) em decibéis.

O medidor foi acompanhado de um calibrador sonoro do modelo TES-1356, tipo 2, com níveis de pressão sonora de saída de 94dB e 114 dB, frequência de saída de 1000Hz e em concordância com à IEC 60942.

A figura abaixo mostra à esquerda o calibrador sonoro TES-1356 e à direita o decibelímetro ITEDC 4000.



Figura 12: Equipamentos utilizados.

As medições foram realizadas durante o período de maior ocupação das salas, onde as atividades em outras salas adjacentes ocorreram normalmente de acordo com a rotina da instituição.

Devido a norma recomendar que a coleta seja realizada na ausência de usuários, foram realizadas as medições no ambiente com esta configuração. Assim a sala estudada encontrava-se completamente vazia enquanto as demais estavam em funcionamento, contribuindo com ruídos que ao serem transmitidos para a sala incidiram no equipamento.

A figura 13 mostra o equipamento em uma sala vazia no ponto demarcado para medição da sala S602.



Figura 13: Equipamento ajustado para as medições na sala S602.

As datas e horários das medições para cada sala estão na tabela abaixo. É possível obter o memorial descritivo com mais detalhes de medição para cada sala no Apêndice D.

Tabela 4: Datas e horários das medições dos LAeq em cada sala.

Data e hora das medições de níveis de pressão sonora					
Pavimento	Local	Área (m²)	Nº de Pontos	Data de Medição	Horário de Medição
Térreo	T601	53.98	3	20/out	20:50
	T602	54.12	3	27/out	20:30
	T603	53.26	3	20/out	19:40
	T604	53.38	3	20/out	20:00
	Corredor T.	61.26	4	20/out	20:20
Superior	S601	38.84	3	20/out	21:15
	S602	34.36	3	24/out	20:00
	S603	33.86	3	20/out	21:45
	S604	33.86	3	24/out	21:05
	Sala de desenho	74.26	4	24/out	21:30
	Corredor S.	64.64	4	20/out	21:30
Nota: Será locado o equipamento previamente às medições					

Os valores de área da tabela acima foram obtidos a partir da medição das salas, como mencionado no item 2.4.2.2. São adotados 3 pontos para 30 m², e é adicionado mais um ponto a cada 30 m² excedente. Com isso foi possível fazer a planta de locação de pontos para as medições de nível de pressão sonora. A distribuição dos pontos está exibida nas figuras a seguir:

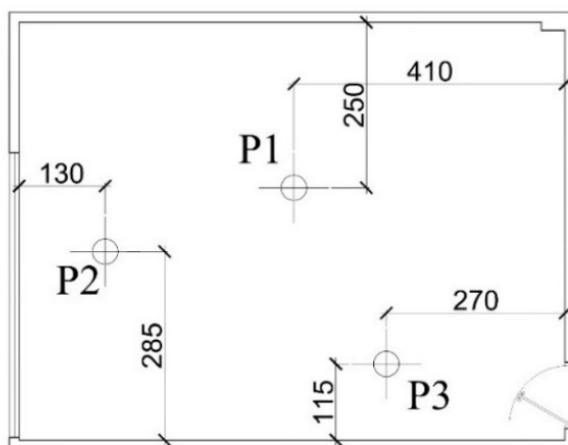


Figura 14: Locação de pontos – LAeq - Salas T601, T602, T603 e T604.

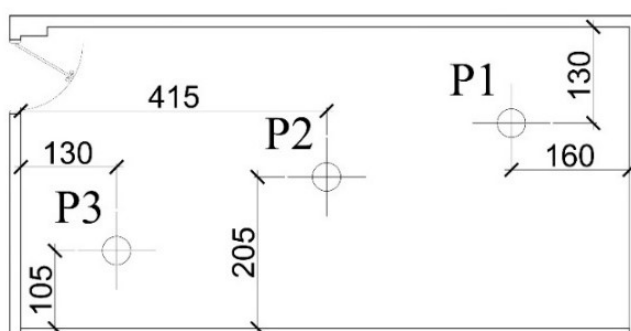


Figura 15: Locação de pontos – LAeq - Salas S601, S602, S603 e S604.

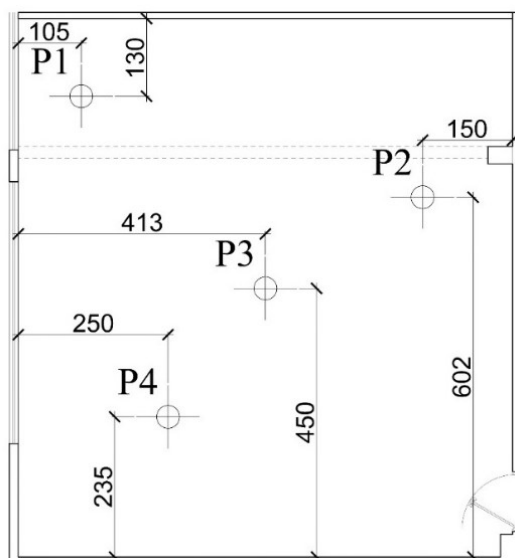


Figura 16: Locação de pontos – LAeq – Sala de Desenho.

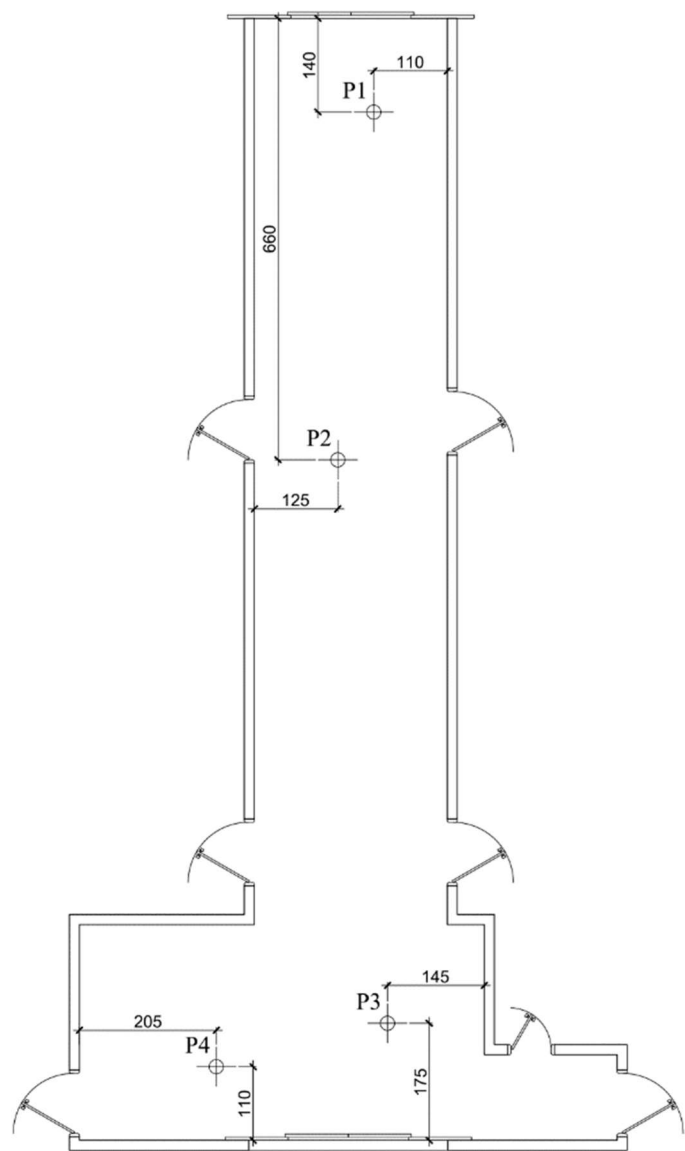


Figura 17: Localização de pontos – LAeq – Corredor do Pavimento Térreo

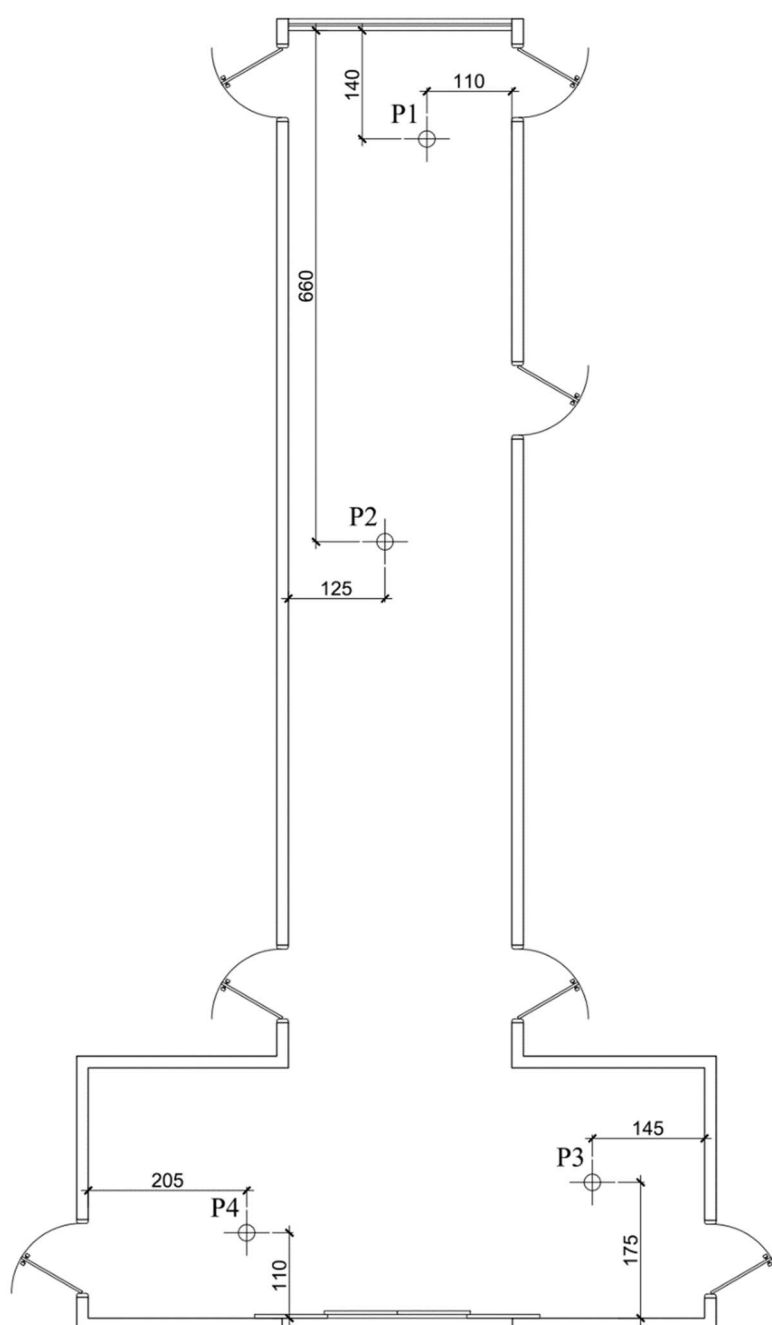


Figura 18: Locação de pontos – LAeq – Corredor do Pavimento Superior

Foi adotado o método simplificado devido à limitação do medidor sonoro de não possuir filtros de oitava, sendo feito somente a análise global dos resultados. Assim foi obtido o valor de nível de pressão sonora equivalente ponderada em A ($L_{A,Eq,30s}$) e o nível máximo de pressão sonora representativo ($L_{AS,max}$) que serão apresentados na próxima sessão.

Os resultados foram comparados à Tabela 3 da seção 2.4.2.2, onde trata dos valores de referência contidos na NBR 10152 (2017) e dessa forma foi apontado se os ambientes analisados atendem aos requisitos mínimos de adequabilidade para o uso proposto.

3.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Para o cálculo do tempo de reverberação foi adotado o método proposto na norma NBR 12179 (1992) que foi detalhada na seção 2.4.2.1. A fórmula a ser utilizada (Sabine e/ou Eyring) irá depender do coeficiente médio de absorção, que é recomendado um limite de até 0,30 para utilizar a fórmula de Sabine e acima disso para a fórmula de Eyring. Serão reescritas novamente abaixo para conveniência do leitor,

$$TR = \frac{0,16 * V}{Sa}, \quad (12)$$

$$TR = \frac{0,161 * V}{-S \ln(1 - \alpha)}. \quad (13)$$

Com o auxílio de recursos computacionais como o Excel foram adicionados os dados coletados para cada sala, sua dimensão, área, volume, os materiais que compõem a própria sala, os móveis e quantidade média de alunos. A absorção do ar para as salas foi ignorada devido ao seu volume pequeno.

Para os valores dos coeficientes dos materiais, foram adotados os valores médios indicados nas tabelas de referência, com preferência na tabela 1 da subseção 2.2.1 e na falta de valores foram buscados na norma NBR 12179:1992 como forma de complementação.

Para contabilizar a absorção humana devido a ocupação do ambiente, foram usadas tabelas de referências como a Tabela 2 da subseção 2.2.2, devido a impossibilidade de medir e indicar valores exatos. A quantidade de ocupação adotada será a lotação máxima e a completamente vazia. Isso se deve ao fato de alguns períodos dos cursos serem mais cheios que outros, gerando uma importância de uma análise nesse sentido.

O levantamento prévio dos materiais para cada sala é exposto nas tabelas seguintes. Essas informações foram revisadas e os coeficientes dos materiais já estão lançados.

Tabela 6: Especificações das mobílias para cada sala.

Especificações das salas úteis para tempo de reverberação - Mobiliários									
Pavimento	Local	Mobílias do recinto							
		Continas		Cadeiras		Mesas	Armários	Quadros	
		Tecido	PVC	Com prancheta	Estofada	Madeira (m²)	mdf 1,2x0,6x1,8	Branco (m²)	Giz Curvo (m²)
Térreo	T601	6,41	-	24,00	1	0,48	-	3,60	-
	T602	6,36	-	25,00	1	0,48	-	3,60	-
	T603	-	5,64	25,00	1	0,72	-	3,60	-
	T604	-	5,68	25,00	1	0,60	-	3,60	-
	Corredor T.	-	-	-	-	-	-	-	-
Superior	S601	-	3,46	18,00	1	0,48	-	3,60	-
	S602	-	4,38	18,00	1	0,48	-	3,20	-
	S603	-	2,58	16,00	2	1,18	-	3,20	-
	S604	-	2,58	18,00	1	0,77	-	3,20	-
	Sala de Desenho	-	7,91	-	30	22,18	1	-	3,60
	Corredor S.	-	-	-	-	-	-	-	-

Com os dados acima foi possível aplicar nas fórmulas de Sabine ou Eyring para determinar o tempo de reverberação de 60 segundos (TR60) de forma teórica. Os valores foram comparados aos valores de referência da Norma Estrangeira ANSI S12.60 (2010) onde foi possível classificar o ambiente com adequado ou não para o desempenho de sua função. É importante ressaltar que para a comparação adequada com essa norma seria preciso utilizar de outra metodologia para validar a classificação. Entretanto, devido à NBR 12179 (1992) não conter os valores de referência específico para sala de aula seria necessário utilizar os valores de referência para salas de conferência, o que resultaria em valores equivalentes.

Essa análise se encontra na próxima seção, sendo importante frisar que a metodologia utilizada neste trabalho serve para uma análise superficial, e fazer a coleta dos TR de maneira experimental ainda se faz necessário caso haja o prosseguimento da pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa seção foi dividida nos dois tipos de análise realizados. Dessa forma teremos na seção 4.1. os resultados acerca do nível de pressão sonora equivalente, e na seção 4.2. sobre o tempo de reverberação.

4.1. RESULTADOS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

Totalizando 11 ambientes analisados, estão expostos nos gráficos a seguir os valores obtidos e sua comparação com os de referência. Foi produzido duas tabelas por parâmetro analisado ($L_{A,Eq,30}$ e L_{ASMax}), e dois gráficos por tipo de ambiente (Sala e corredor) para cada tipo de parâmetro.

Tabela 7: Resultados das medições de $L_{A,Eq,30s}$ e sua comparação com os valores de referência.

Resultados das medições - $L_{Aeq,30s}$								
Pavimento / Ambiente	$L_{Aeq,30s}$ P1 (dB)	$L_{Aeq,30s}$ P2 (dB)	$L_{Aeq,30s}$ P3 (dB)	$L_{Aeq,30s}$ P4 (dB)	$L_{Aeq,30s}$ (média) (dB)	$L_{Aeq,30s}$ Valor de Ref.	Comparativo com o Valor de Ref.	Valor Acima da Ref.
Térreo								
T601	45,7	49,8	46,6	-	47,7	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	12,7
T602	42,9	45,3	45,6	-	44,8	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	9,8
T603	40,5	41,9	44,5	-	42,6	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	7,6
T604	41,6	41,4	41,5	-	41,5	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	6,5
Corredor Ter.	55,3	64,5	60,2	60,3	61,2	50 ± 5 dB	Além da Tolerância	11,2
Superior								
S601	45,1	45,6	45,0	-	45,2	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	10,2
S602	40,3	43,0	47,1	-	44,4	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	9,4
S603	45,5	45,3	45,8	-	45,5	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	10,5
S604	40,5	40,9	41,3	-	40,9	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	5,9
Sala de Desenho	41,3	42,0	40,2	41,2	41,2	35 ± 5 dB	Além da Tolerância	6,2
Corredor Sup.	51,3	48,5	45,3	43,0	48,1	50 ± 5 dB	Abaixo do Limite	-

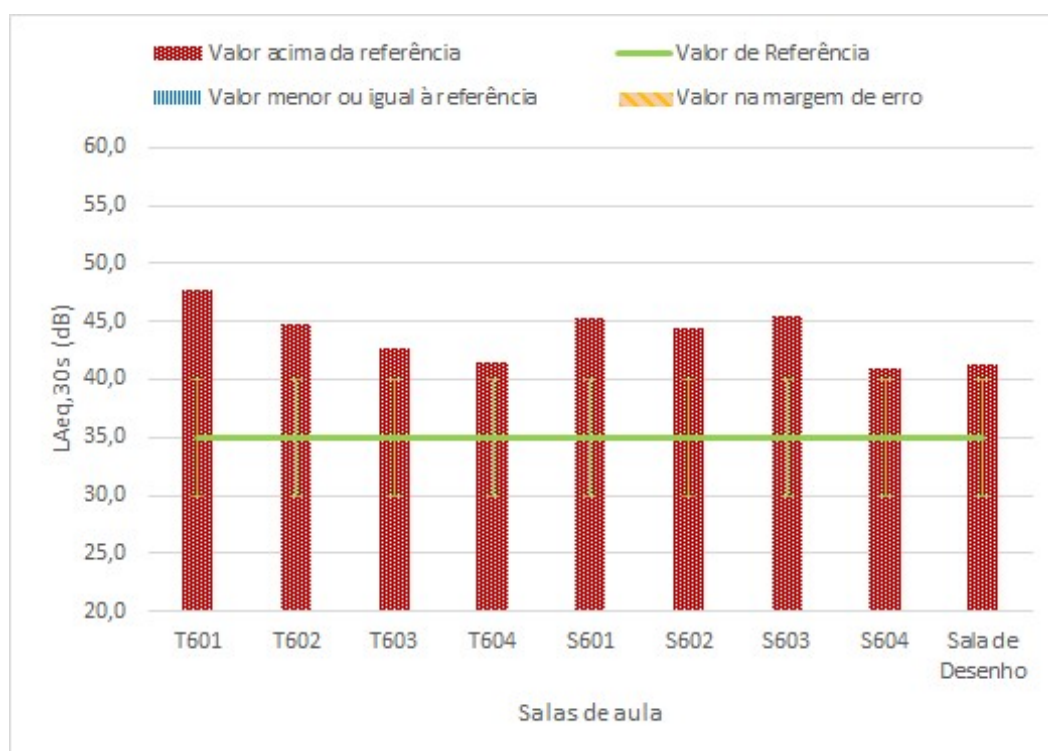


Figura 19: Gráfico comparativo dos valores de $L_{Aeq,30s}$ medidos das salas com o valor de referência.

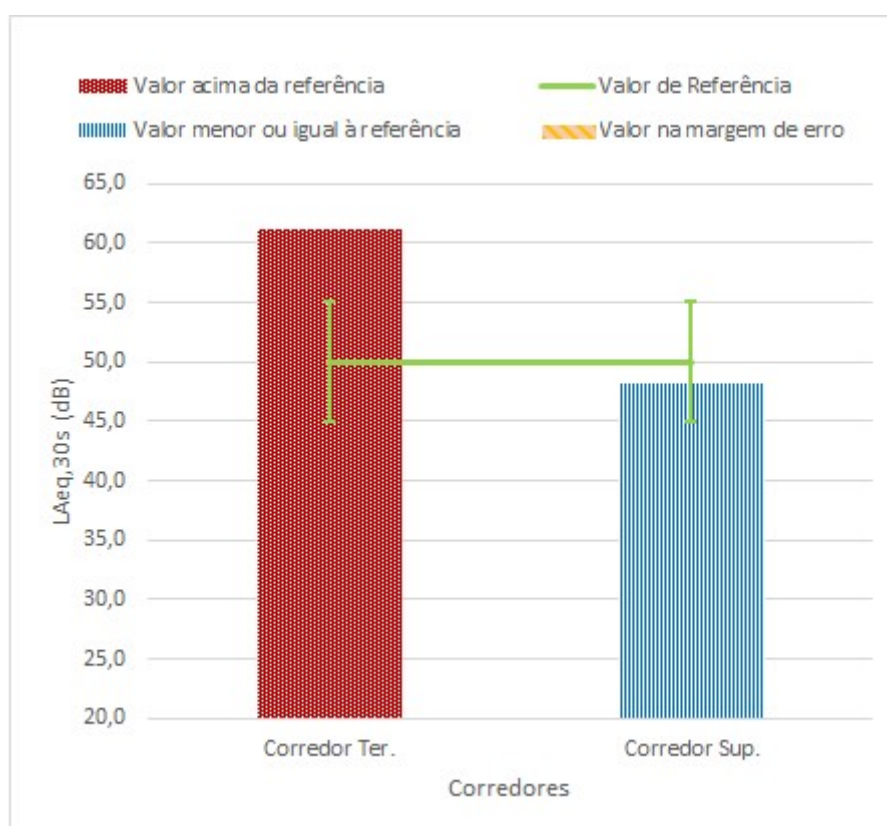


Figura 20: Gráfico comparativo dos valores de $L_{Aeq,30s}$ medidos dos corredores com o valor de referência.

É possível notar que para todos os ambientes analisados, somente o corredor superior esteve dentro do valor de referência, visto que corredores possuem uma tolerância maior em relação às salas de aula, uma diferença de 15dB. Porém o corredor térreo ficou bem distante do valor recomendado, a justificativa para isso pode ser o fato de no térreo conter mais poluição sonora advinda não só das salas adjacentes, como também dos ruídos produzidos na laje superior, o que não ocorre no pavimento superior devido acima dele possuir somente a laje de cobertura.

Entretanto vale ressaltar, como mencionado em memorial descritivo, que durante as medições do corredor no térreo uma sala encontrava-se com a porta aberta durante a aula que acontecia no local. O que não aconteceu no corredor superior, mostrando que as portas interferem consideravelmente no isolamento dos ruídos produzidos em uma sala de aula.

Dessa forma, acredita-se que os altos ruídos no térreo, em comparação com o pavimento superior advém tanto da primeira quanto da segunda hipótese. No geral, é possível concluir que todas as salas não isolam os ruídos suficientemente para enquadrá-las como confortáveis.

Outra análise interessante é que as salas mais próximas às entradas do bloco e mais à direita (T601, T602, T603, S601, S602, S603) possuem os maiores valores de $L_{A,Eq,30s}$, o que pode indicar maiores defeitos de isolamentos nessas salas ou uma maior interferência dos outros blocos do instituto. As salas com menores valores são as mais próximas do estacionamento e mais próximas dos laboratórios, na imagem a seguir mostra melhor os pontos de possíveis contribuições:

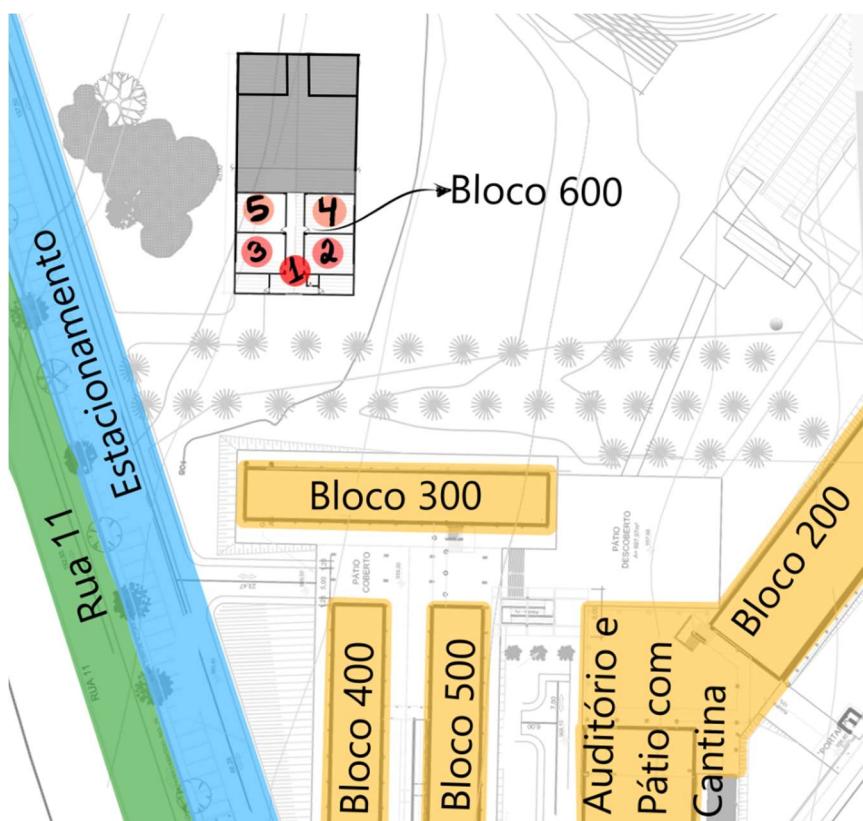


Figura 21: Análise global do instituto e a classificação do térreo do Bloco 600 em ordem crescente do ponto com maior ruído para o menor.

Em amarelo são os blocos ocupados que contribuem com ruídos em todo o meio. Em azul encontra-se o estacionamento, na qual durante as aulas há pouca movimentação e produção de ruídos, e em verde uma das ruas que dão acesso ao instituto. No bloco 600 tem-se uma parte colorida com cinza na qual não foi analisada, contendo um pátio interno e laboratórios ao fundo. A divisão das salas do bloco 600 e sua numeração do ponto com maior $L_{A,Eq,30s}$ para o menor em ordem crescente.

A proposição é principalmente para as salas: o 2º maior $L_{A,Eq,30s}$ (T601) e o 3º maior $L_{A,Eq,30}$ (T602) estão mais próximos do Bloco 300 podendo haver uma correlação com sua proximidade. O 1º ponto (Corredor térreo) também tem altas chances de sofrer influências dos outros blocos, porém como dito anteriormente ele sofreu forte interferência da sala T602 que contava com a porta aberta.

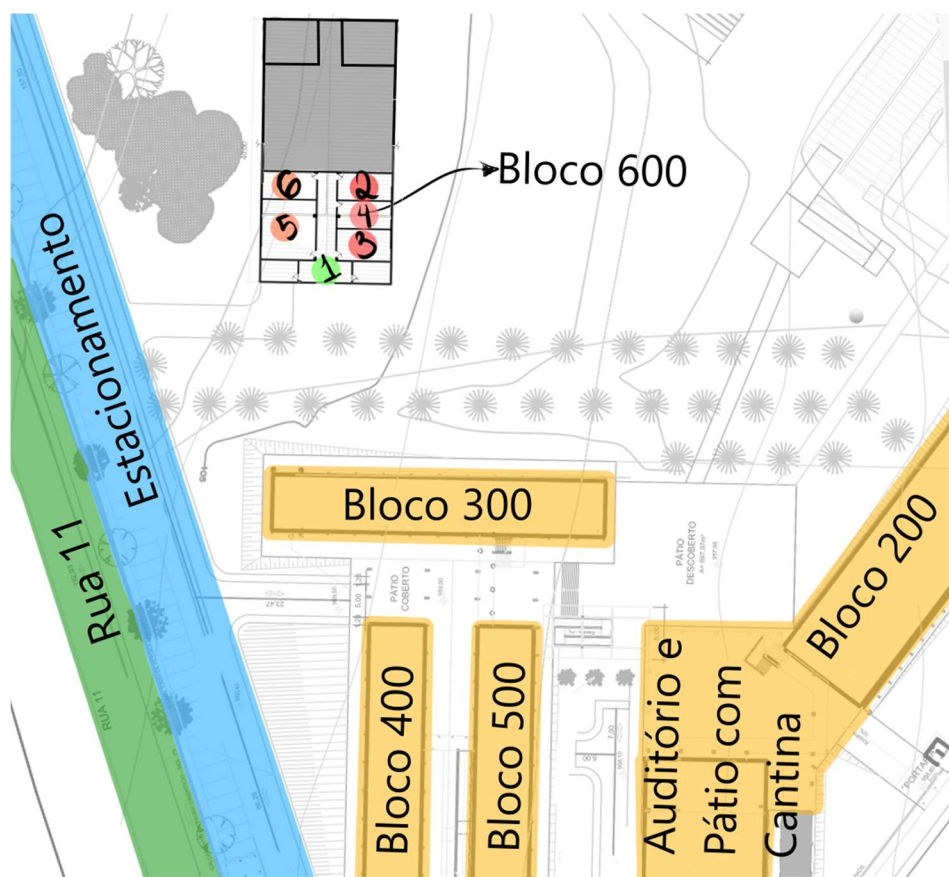


Figura 22: Análise global do instituto e a classificação do superior do Bloco 600 em ordem crescente do ponto com maior ruído para o menor.

Ignorando se enquadra ou não nos valores de referências, em termos de valor unitário de $L_{A,Eq,30S}$, tem-se em 1º lugar o corredor superior e em sequência na ordem as salas S603, S601, S602, Sala de desenho e S604. De forma semelhante ao térreo, com exceção da sala de desenho, há maiores resultados nas salas voltadas para o bloco 300 e 200, incluindo assim a S603 que se encontra no sentido oposto ao estacionamento.

Tabela 8: Resultados das medições de $L_{AS,max}$ e sua comparação com os valores de referência.

Resultados das medições - LasMax								
Pavimento / Ambiente	LAeq,30s P1 (dB)	LAeq,30s P2 (dB)	LAeq,30s P3 (dB)	LAeq,30s P4 (dB)	LA _S Max (dB)	LA _S , Max - Valor de Ref.	Comparativo com o Valor de Ref.	Valor Acima da Ref.
Térreo								
T601	45,7	49,8	46,6	-	49,8	40 ± 5 dB	Além da Tolerância	9,8
T602	42,9	45,3	45,6	-	45,6	40 ± 5 dB	Além da Tolerância	5,6
T603	40,5	41,9	44,5	-	44,5	40 ± 5 dB	No Limite do Erro	4,5
T604	41,6	41,4	41,5	-	41,6	40 ± 5 dB	No Limite do Erro	1,6
Corredor Ter.	55,3	64,5	60,2	60,3	64,5	55 ± 5 dB	Além da Tolerância	9,5
Superior								
S601	45,1	45,6	45,0	-	45,6	40 ± 5 dB	Além da Tolerância	5,6
S602	40,3	43,0	47,1	-	47,1	40 ± 5 dB	Além da Tolerância	7,1
S603	45,5	45,3	45,8	-	45,8	40 ± 5 dB	Além da Tolerância	5,8
S604	40,5	40,9	41,3	-	41,3	40 ± 5 dB	No Limite do Erro	1,3
Sala de Desenho	41,3	42,0	40,2	41,2	42,0	40 ± 5 dB	No Limite do Erro	2
Corredor	51,3	48,5	45,3	43,0	51,3	55 ± 5 dB	Abaixo do Limite	-

É possível notar pelos valores de $L_{AS,max}$ que 5 salas das 11 se enquadram nos limites de referência, estando 4 no limite da margem de erro. Os demais 6 pontos não se adequam ao uso proposto. Ao comparar os valores de $L_{AS,max}$ e $L_{A,Eq,30s}$, há também uma pequena variação, estando bem próximos. Nas figuras a seguir há um comparativo das salas com o valor de referência e dos corredores da mesma forma:

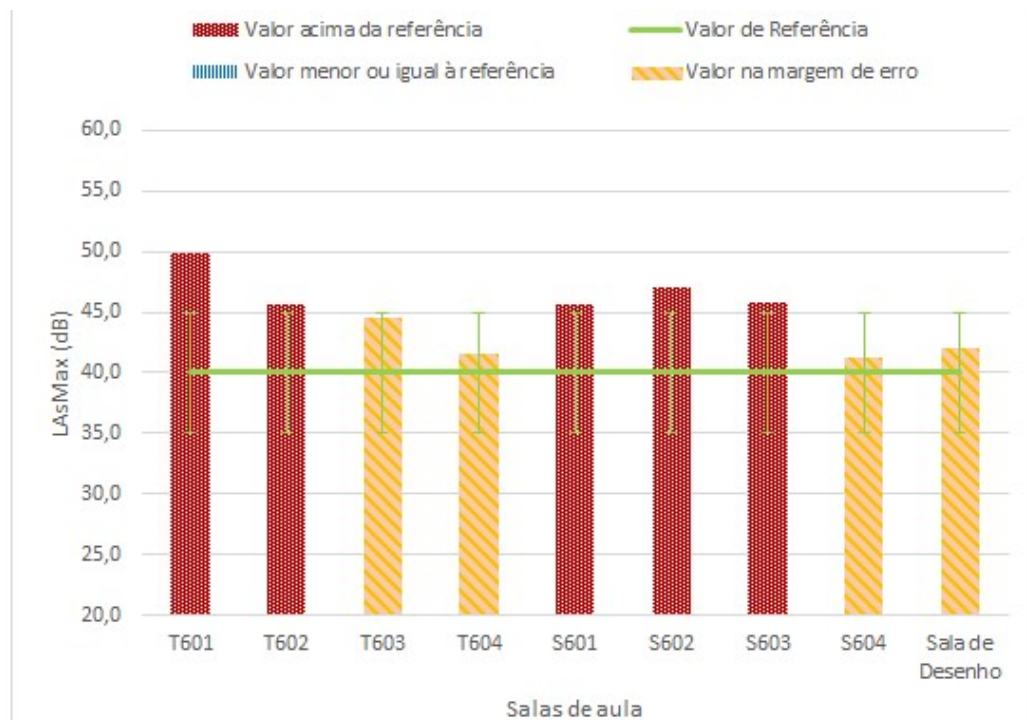


Figura 23: Gráfico comparativo dos valores de $L_{AS,max}$ medidos das salas com o valor de referência.

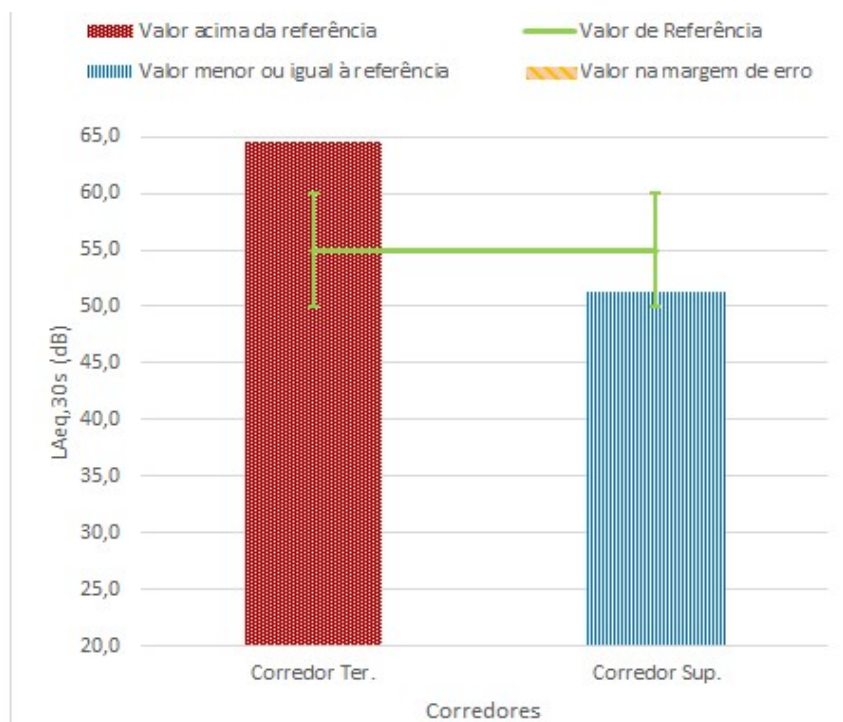


Figura 24: Gráfico comparativo dos valores de $L_{AS,max}$ medidos dos corredores com o valor de referência.

O valor de $L_{AS,max}$ do corredor térreo houve uma discrepância do respectivo valor do $L_{A,Eq,30}$, isso pode ter sido causado devido à um dos pontos estar bem mais próximo de uma das salas que ocorria aula com a porta aberta.

4.2. RESULTADOS DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO CALCULADOS

O tempo de reverberação foi definido para todos os ambientes pela fórmula de Sabine na frequência de 500 Hz, os cálculos detalhados para o TR de cada sala estarão no apêndice E.

Foram obtidos valores para a sala ocupada e desocupada, com o intuito de avaliar suas condições nas duas configurações. Entretanto para efeitos de classificação foi adotado os valores de TR para as salas desocupadas, visto que os valores de referências da maioria das normas internacionais considerarem essa condição.

Assim, foi consultado a norma estrangeira ANSI S12.60 (2010), onde foi coletado o valor recomendado para as salas de aula na condição desocupada com volume menor que 283 m³ e para frequências de 500 Hz, na qual é equivalente aos valores de TR para sala de conferência da norma brasileira NBR 12179. Dessa forma foi elaborada a seguinte tabela:

Tabela 9: Resultados dos tempos de reverberação para TR60 e sua comparação com o valor de referência.

Resultado dos Tempos de Reverberação Calculados							
Pavimento / Ambiente	Volume (m ³)	TR Sala Desocupada	TR Sala ocupada	Redução com a Ocupação	Recomendado ANSI- Salas Desocupadas	Atende ao ideal?	Valor acima do recomendado
Térreo							
T601	149,46	2,33	1,46	0,87	0,6	Não	1,73
T602	151,54	2,35	1,45	0,90		Não	1,75
T603	149,13	2,42	1,49	0,94		Não	1,82
T604	151,14	2,42	1,49	0,93		Não	1,82
Corredor Ter.	171,53	2,70	-	-	Não Requer	Sim	2,10
Superior							
S601	108,25	2,16	1,39	0,77	0,6	Não	1,56
S602	95,52	1,69	1,13	0,56		Não	1,09
S603	94,13	2,03	1,27	0,77		Não	1,43
S604	94,13	2,07	1,28	0,79		Não	1,47
S. de Des.	206,44	1,59	1,28	0,31		Não	0,99
Cor. Sup.	179,7	2,86	-	-	Não Requer	Sim	2,26

Todas as salas encontram-se em péssimas condições de conforto acústico com relação ao tempo de reverberação, inclusive quando completamente ocupadas. Felizmente a situação

mais comum são salas quase completamente cheias, porém se encontra turmas mais vazias em um ambiente completamente desfavorável em comparação às outras.

As superfícies das salas, como paredes, lajes e pisos podem interferir consideravelmente, pois como visto na seção 4.1, há uma deficiência desses ambientes em isolar acusticamente os ruídos externos. Isso pode indicar que a energia sonora não está se dissipando o suficiente, ou seja, não está sendo absorvida pelos materiais, o que realça os efeitos de reflexão e transmissão.

Paras as salas T603 e S601, na qual são as piores salas de cada pavimento em termos de TR, foi feito a proposição de uma possível solução para se enquadrarem no valor ideal da ANSI S12.60 (2010), mesmo que o método não tenha sido o indicado pela norma estrangeira, a comparação pode direcionar um valor aproximado ao real.

A solução proposta foi a de aplicação de espumas com maiores índices de absorção sobre as alvenarias, com a quantidade dessas placas de espumas variável para cada sala. A aplicação na quantidade necessária levou à S601 e T603 a se enquadrarem à recomendação limite de 0.60. Os cálculos detalhados para o orçamento da T603 e S601 estarão no apêndice F.

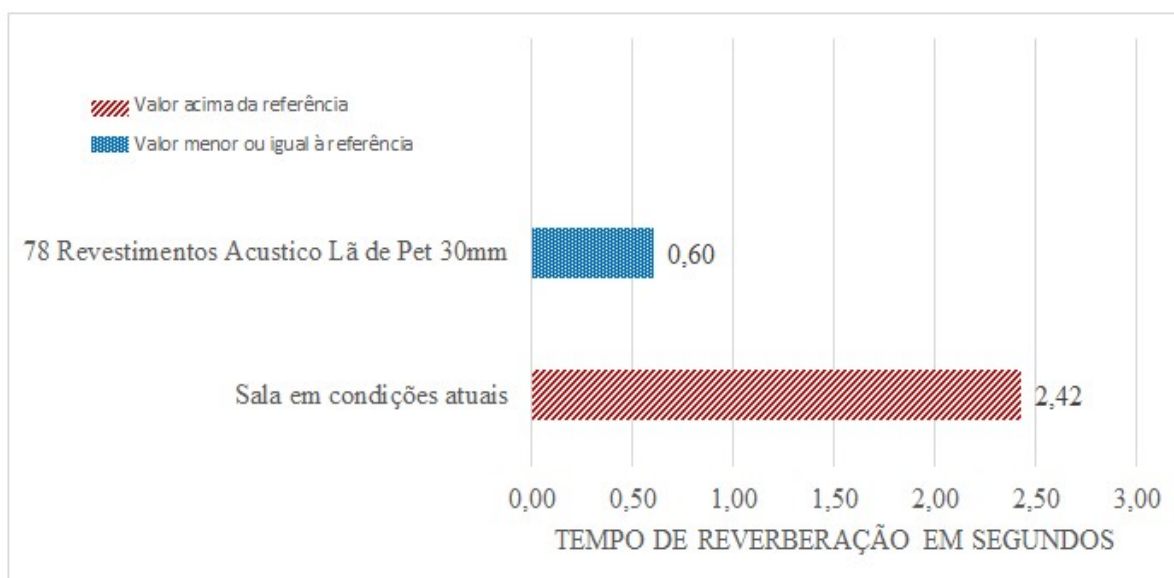


Figura 25: Propostas de melhoria para a sala T603 em comparação com a sala em condições atuais – Tempo de reverberação.

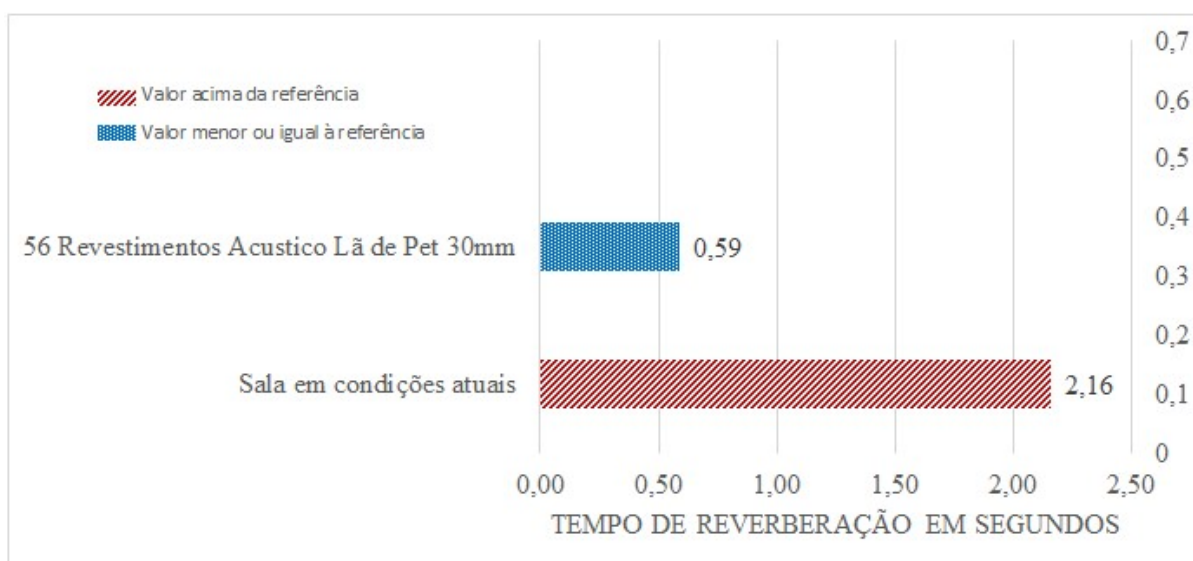


Figura 26: Propostas de melhoria para a sala S601 em comparação com a sala em condições atuais – Tempo de reverberação.

Para essa possível solução foi pesquisado o custo benefício de diversas placas em um site de fornecedor, onde contia tanto o custo quanto o coeficiente de absorção para determinadas frequências. Foi escolhido o produto: “revestimento acústico Lã de Pet 30mm”. A imagem abaixo mostra todas as especificações do material:

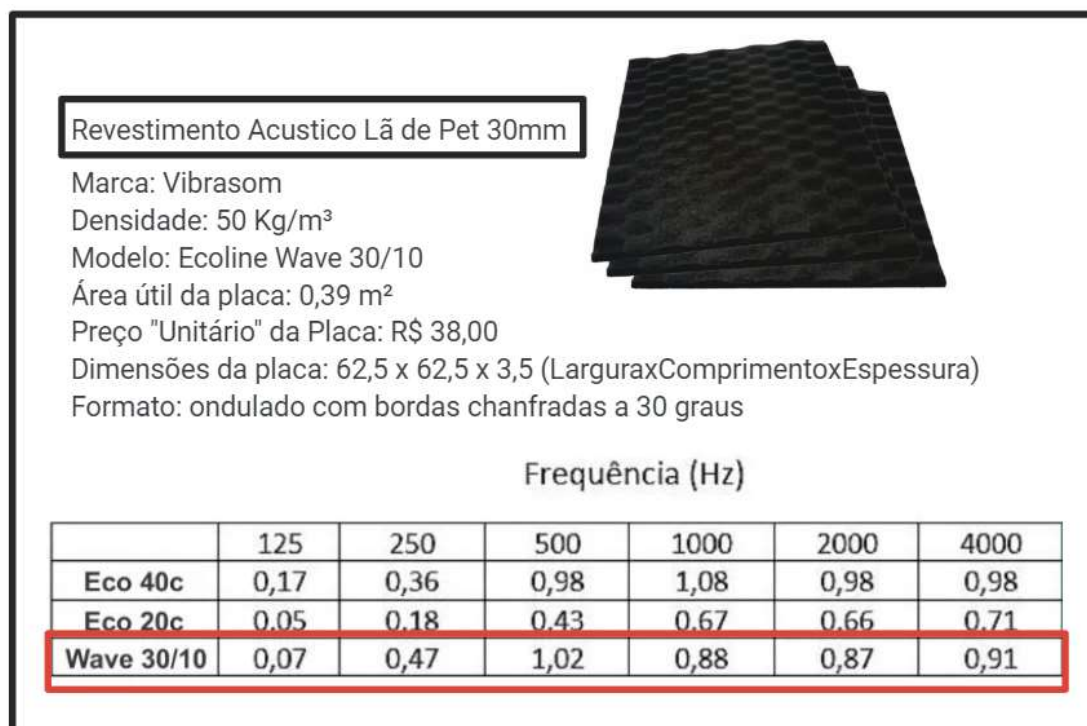


Figura 27: Especificações do material orçado para possível solução das salas.

(Fonte: Adaptada de Vibrashop Tecnologia Acústica, Acesso em novembro/2022)

Para a sala T603 foram necessárias 78 placas do material, levando ao custo total de aplicação na sala de R\$2.964,00. Já para a sala S601 foram requeridas 56 placas do material com custo total de aplicação na mesma de R\$2.128,00. Foi projetado 24 placas sobre cada lateral das alvenarias e o restante para completar no teto próximo ao quadro como ilustra na imagem abaixo:

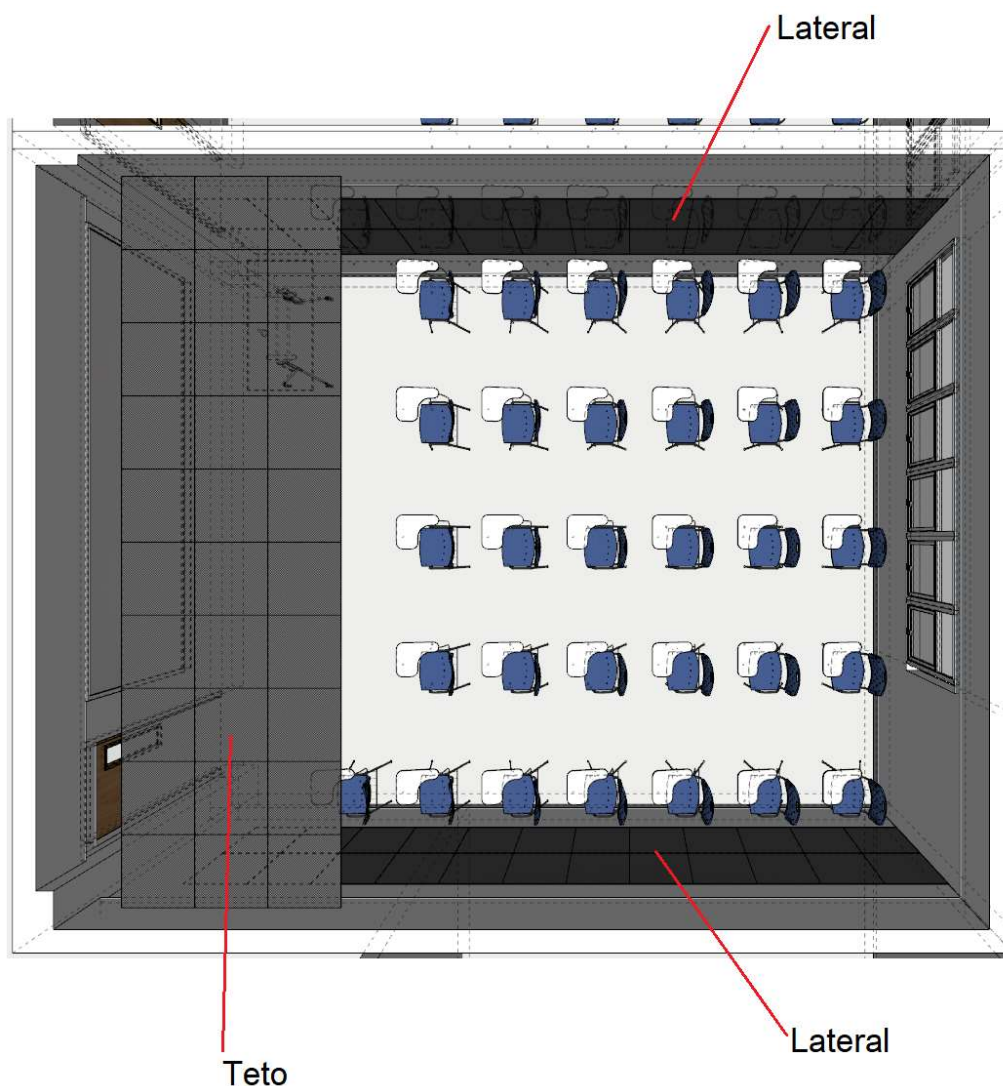


Figura 28: Esquema para aplicação das placas: “revestimento acústico Lã de Pet 30mm” na sala T603

Poderia ser feito o tratamento nas aberturas para facilitar a adequação de ambas as salas, ou algum tratamento no piso. Entretanto, para afirmar a melhor solução deveria ser feito um estudo mais completo, procurando reduzir não só o problema da alta reverberação como também os altos níveis de ruído aéreo, apontados pela análise dos níveis de pressão sonora equivalente feitos na seção anterior.

Propor várias soluções diferentes, analisando o custo benefício, seria o ideal antes de realizar qualquer intervenção. Vincular soluções para os problemas térmicos que as salas possuem com o grande aquecimento interno se mostra também necessário pois é um problema comumente relatado pelos usuários e como foi visto na sessão anterior, é comum que os professores ministrem as aulas com as portas abertas para tentar melhorar a ventilação e efeitos de temperatura do local, salas que não possuem ar condicionado ou ventilador.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho aplicou os métodos descritos nas normas NBR 10152 (2017) e a NBR 12179 (1992) em salas de aula e corredores do bloco 600 (bloco tecnológico) do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Formosa. Para a NRB 10152 (2017) foi utilizado um decibelímetro classe II implicando na análise simplificada indicada na norma para determinação dos níveis de pressão sonora equivalentes. Já a NBR 12179 (1992) foi útil para determinar a análise teórica do tempo de reverberação sem o uso de instrumentação, já que não foi possível obter o equipamento para tal.

Foi possível concluir com toda a análise realizada, que as salas de aula do bloco 600 não se adequam às exigências das normas referenciadas que tratam do desempenho acústico. Foram analisados somente os níveis de pressão sonora equivalente ($L_{A,Eq,30s}$) e o tempo de reverberação estimado: para o primeiro apenas o corredor do pavimento superior se enquadrou nos limites definidos pela norma NBR 10152 (2017) para ambientes de circulação. O corredor térreo teve um valor para $L_{A,Eq,30s}$ de 61,2 dB, ultrapassando 11,2 dB do valor recomendado. Já todas as 9 salas de aula contabilizadas no bloco tiveram valores de $L_{A,Eq,30s}$ acima inclusive da tolerância de ± 5 dB do valor de referência.

Isso indica um alto teor de ruído que penetram as vedações ou aberturas das salas e poluem o espaço. Como visto na revisão bibliográfica, o ruído é o principal responsável pela perda de eficiência no ensino, visto que pode causar distrações. Também é preocupante para a saúde vocal dos professores, pois, estando a sala completamente vazia durante a medição, propõe que haverá uma maior dificuldade na comunicação com os usuários presentes. Isso faz com que os professores tenham que aumentar o tom de voz para conseguir atingir um certo grau de inteligibilidade mínimo.

Já os tempos de reverberação calculados foram os dados mais preocupantes: Todas as salas encontram fora do valor de referência ideal para uma sala de aula. O valor mais alto de

2,42 para a T603 e T604 é bastante elevado quando comparado com os 0,60 da norma estrangeira ANSI S12.60 (2010). O menor valor é bastante discrepante também: 1,59 para a sala de desenho, este valor menor era esperado devido o ambiente possuir mobílias com maiores coeficientes de absorção, contidos nas cadeiras estofadas por exemplo, que é algo que não existe em grandes quantidades nas demais salas.

É importante reforçar que os tempos de reverberação coletados são teóricos e não descartam a necessidade de um levantamento de forma experimental desse parâmetro. Mesmo assim foi feito um orçamento básico para melhoria do tempo de reverberação aumentando as áreas de absorção com o uso de placas de revestimento acústico Lã de Pet de 30mm.

Entretanto, vale ressaltar que não foi proposto uma solução para o problema dos altos níveis de pressão sonora equivalente (ruídos), assim, para uma solução ótima deveria ser incluso a solução dos dois problemas em conjunto. Outro fator a considerar é o problema de desempenho térmico das salas, relatos de desconforto em relação à altas temperaturas internas é bastante comum entre alunos e professores, o que levam a situações relatadas de professores ministrando suas aulas com portas e janelas abertas.

Assim, o problema do ruído é amplificado, visto de as aberturas servem como principais isolantes, que ao serem abertas perdem sua função de isolamento, aumentando o ruído incidente na sala e contribuindo para piora dos problemas de esforços vocais e aprendizagem.

É visível que ambientes escolares não são projetados para tal. Normas como a NBR 12179 de 1992, mostram que problemas de acústica passou por muitos anos relacionados apenas com teatros, salas de concertos, igrejas, entre outros. Infelizmente as normas de desempenho nem sempre são contempladas em projetos de escolas e centros de ensino, isso pode ter relação com a baixa exigência dos órgãos de fiscalização regionais e legislações do município e estado.

Este trabalho focou em descrever a atual situação das salas do bloco 600 do Instituto Federal de Goiás, Campus Formosa, porém fica como sugestão à trabalhos futuros a obtenção de mais parâmetros acústicos com o uso de equipamentos próprios para isso, e assim propor melhorias mais eficazes e significativas para o local. O uso de softwares de simulação e uma pesquisa mais aprofundada podem chegar a materiais altamente eficazes e de baixo custo para os problemas aqui relatados, um exemplo seria o uso de cortinas, painéis de madeira, carpetes, gesso, cadeiras estofadas, entre outros, cabendo assim uma vasta variedade para análises.

Outros trabalhos futuros também podem fazer o estudo de quanto poderia ter sido evitado com gastos caso fosse feita intervenções para solucionar os problemas aqui relatados antes da construção do bloco, podendo afirmar o custo benefício de realizar um projeto de

acústica e incluí-lo na concepção do espaço. Assim poderia ser aplicadas técnicas construtivas projetadas para construir ambientes acusticamente eficientes e provavelmente reduzir gastos de reformas.

Outro problema que pode ser analisado seria a do quanto essas condições na qual se encontram os alunos podem estar afetando o rendimento. Sendo interessante considerar que as turmas do EJA em edificações são locadas no espaço aqui estudado, podendo ser um fator, como tantos outros específicos para essas turmas, que pode estar agravando ainda mais os prejuízos educacionais para estes estudantes. Será mesmo que é sustentável mantê-los nessas condições?

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10151**: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 24 p.

_____. **ABNT NBR 10152: 2017** - Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 21 p.

_____. **ABNT NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 9 p.

_____. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 60 p.

_____. **ABNT NBR 15575-2**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 32 p.

_____. **ABNT NBR 15575-3**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 40 p.

_____. **ABNT NBR 15575-4**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 75 p.

_____. **ABNT NBR 15575-5**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 63 p.

_____. **ABNT NBR 15575-6**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 6: Sistemas Hidrossanitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 31 p.

ANSI - American National Standard. ANSI S12.60: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools. Melville: 2010. 28 p.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 3º ed. São Paulo: Blucher, 2018. 436 p.

BRANDÃO, E. **Acústica de salas: projeto e modelagem**. 1º ed. São Paulo: Blucher, 2016. 655 p.

BUENO, G. M. et al. **Avaliação em campo do ruído aéreo de uma sala de aula tipo em campus universitário**. Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 6, n. 1, p. 38–56. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2019.v6i1.3034>. Acesso em: 22 nov. 2022.

COSTA, A. 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**. 2020, 27 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia mecânica) Escola de engenharia,

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/217364>. Acesso em: 02 jun. 2022.

COSTA, E. C. DA. **Acústica Técnica**. 1º Edição ed. São Paulo: Blucher, 2013. 145 p.

COSTA, J. J. L. **Monitoramento ambiental dos níveis de pressão sonora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Goiânia**. 2015, 122 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis). Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2015. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/857/2/disserta%c3%a7%c3%a3o_Marcus%20Vin%c3%adcius%20Martins%20Freitas.pdf. Acesso em: 21 mai. 2022.

DUARTE, E. DE A. C.; VIVEIROS, E. B. Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 159–171, 2007. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3748>. Acesso em: 20 mai. 2022.

ENIZ, A. DE O. **Poluição sonora em escolas do Distrito Federal**. 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, Brasília. 2004.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 1º ed. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 1992. 600 p.

GONÇALVES, V. DE S. B.; SILVA, L. B. DA; COUTINHO, A. S. Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores. **Produção**, v. 19, n. 3, p. 466–476, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132009000300005>. Acesso em: 25 nov. 2022.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física, Volume 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. 8 ed. Rio de Janeiro: 2009. 314 p.

JUNIOR, A.; GOMES, D.; OLIVEIRA, T. **Avaliação Da Qualidade Acústica De Salas De Aula De Uma Escola Pública Na Cidade De Samambaia-DF**. 2019. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Brasília, Brasília.

KRÜGER, E. L.; ZANNIN, P. H. T. Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. **Building and Environment**, v. 39, n. 9, p. 1055–1063, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.030>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LALIS, D. DE M. **Acústica e Óptica**. 1º Edição ed. Curitiba: InterSaberes, 2021. 270 p.

LOSSO, M. A. F. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: Avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação**. 2003. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível

em:<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86031/191673.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 mai. 2022.

MICHALSKI, R. L. X. N. **Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações**. 2011. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/RannyLoureiroXavierNascimentoMichalski.pdf. Acesso em: 22 mai. 2022.

O espectro de frequência, **Ruido Baixa Frequência-Engenharia**. 2022. Disponível em: <https://www.ruidobaixafrequencia.pt/espectro-de-frequencia/>, acesso em 02 de jul. 2022.

PEDRAZZI, T. et al. Avaliação do desempenho acústico em salas de aula do Cefet-PR. In: Encontro Nacional, 5 e Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3. 2001, São Pedro. **Anais do ENAC**, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Zannin/publication/330657964_AVALIACAO_DO_DESEMPENHO_ACUSTICO_EM_SALAS_DE_AULA_DO_CEFET-PR/links/5c4cd9f3a6fdccd6b5cc23bd/AVALIACAO-DO-DESEMPENHO-ACUSTICO-EM-SALAS-DE-AULA-DO-CEFET-PR.pdf. Acesso em: 15 mai. 2022.

PINHEIRO, E. N. DOS. S.; MASSON, M. L. V; LOPES, M. M. d'S. A voz do professor: do projeto arquitetônico à acústica da sala de aula. **Disturb. Comum.**, v. 29, n. 1, p. 10-19, 2017. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/dic/article/view/29660>. Acesso em: 10 abr. 2022.

Revestimento Acustico Lã de Pet 30mm - Kit, **Vibrashop Tecnologia Acústica**. 2022. Disponível em: <https://www.vibrashop.com.br/forros-revestimentos/revestimento-la-pet-30>, acesso em 23 de nov. 2022.

SIQUEIRA, A. **Acústica**. 1º Edição ed. Curitiba: InterSaberes, 2020, 251 p.

APÊNDICES

Apêndice A – Planta de pavimento térreo das salas a serem analisadas

Apêndice B: Planta de pavimento superior das salas a serem analisadas

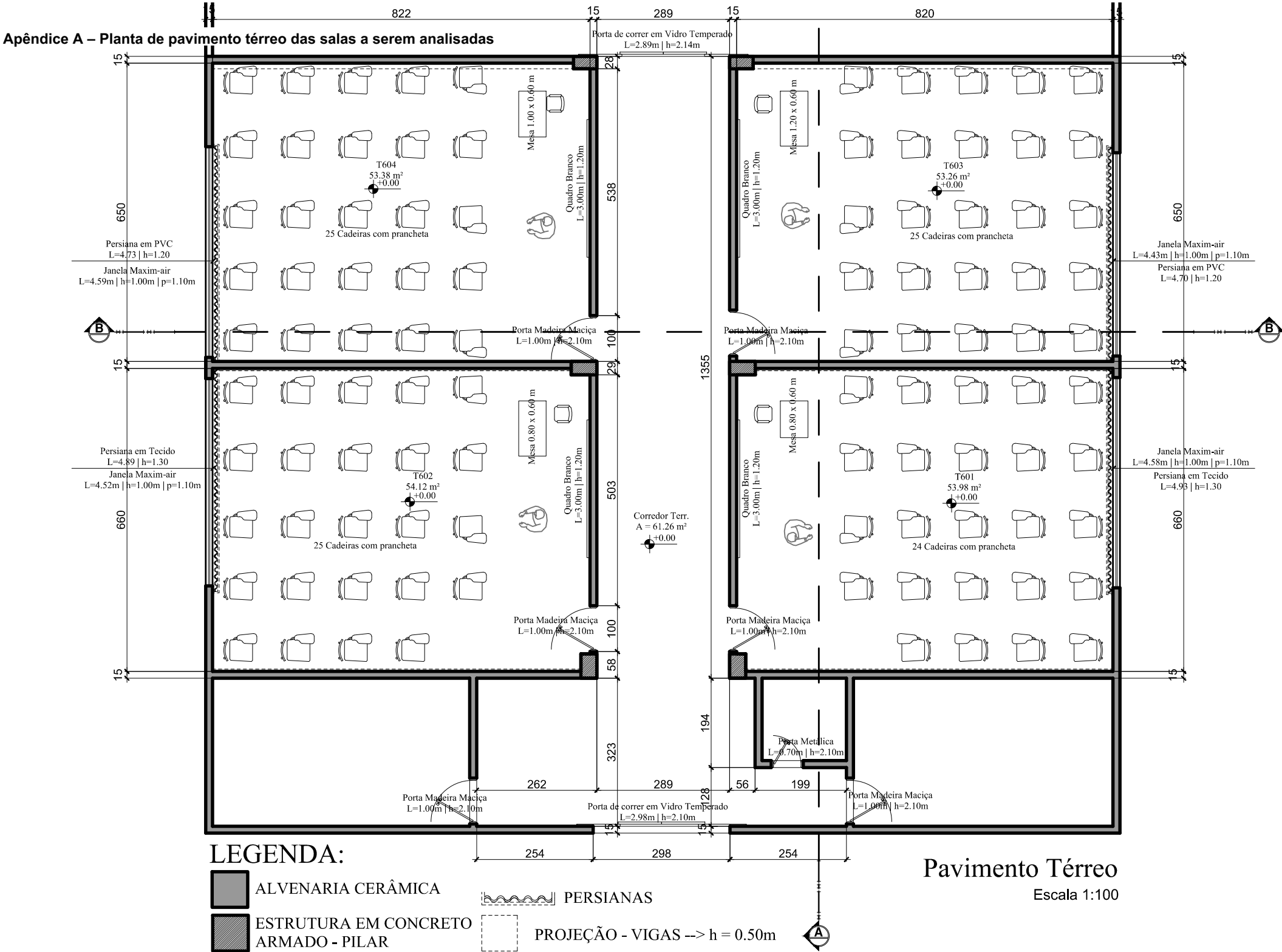
Apêndice C: Cortes das salas a serem analisadas

Apêndice D: Memorial Descritivo das Medições dos Níveis de Pressão Sonora Equivalente Ponderado em A.

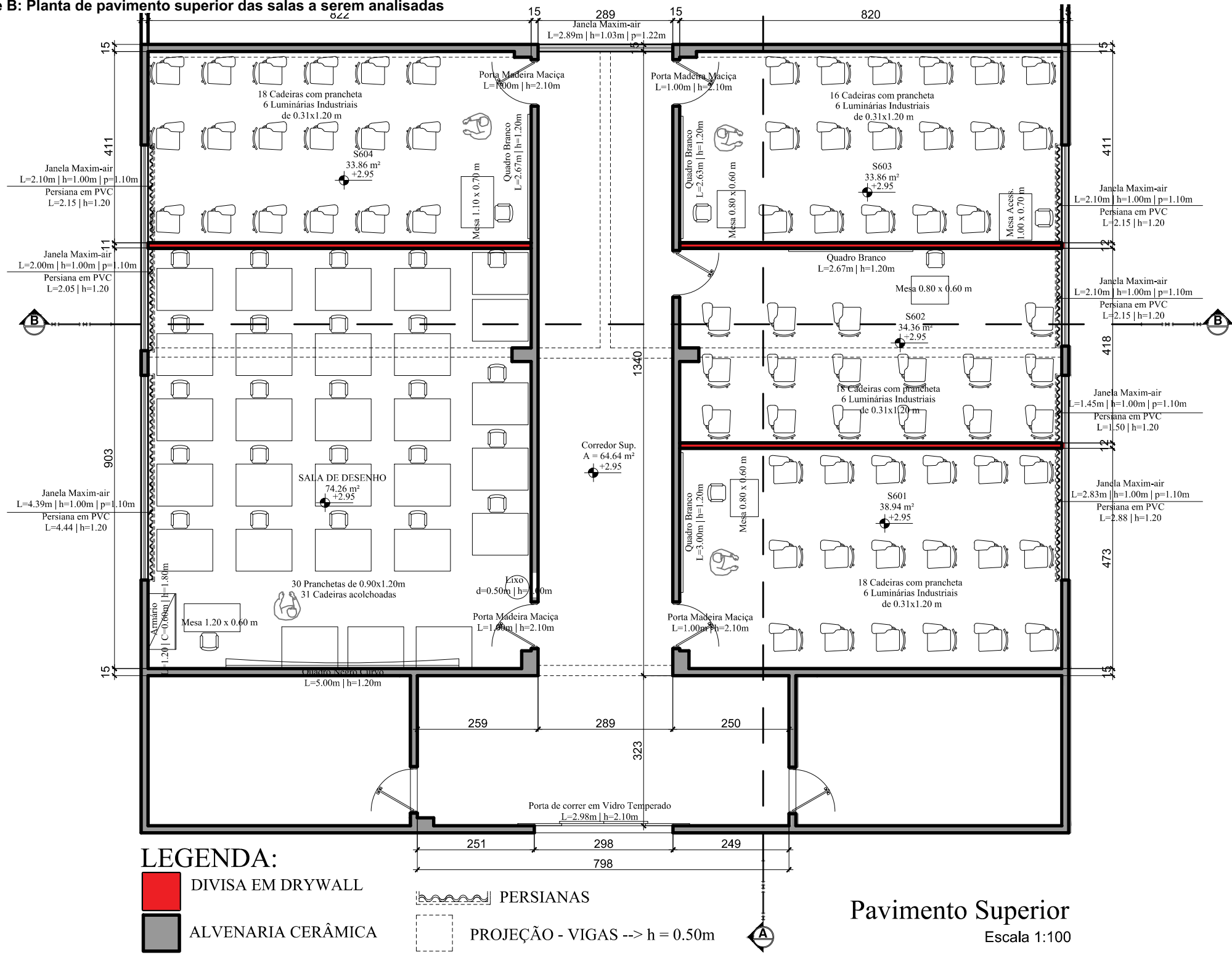
Apêndice E: Cálculo Detalhado para o TR de Todas as Salas do Pavimento Térreo e Superior.

Apêndice F: Cálculo Detalhado para Orçamento da T603 e S601: Proposta de Melhoria.

Apêndice A – Planta de pavimento térreo das salas a serem analisadas

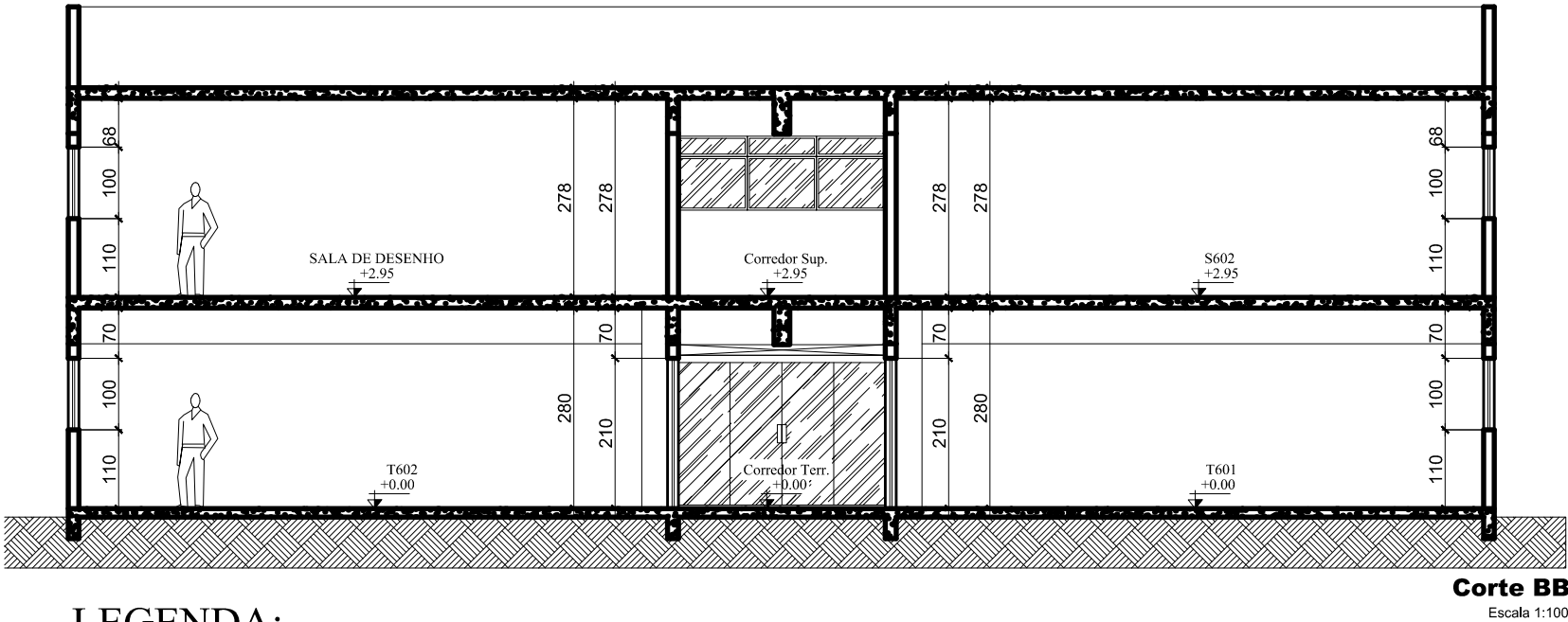
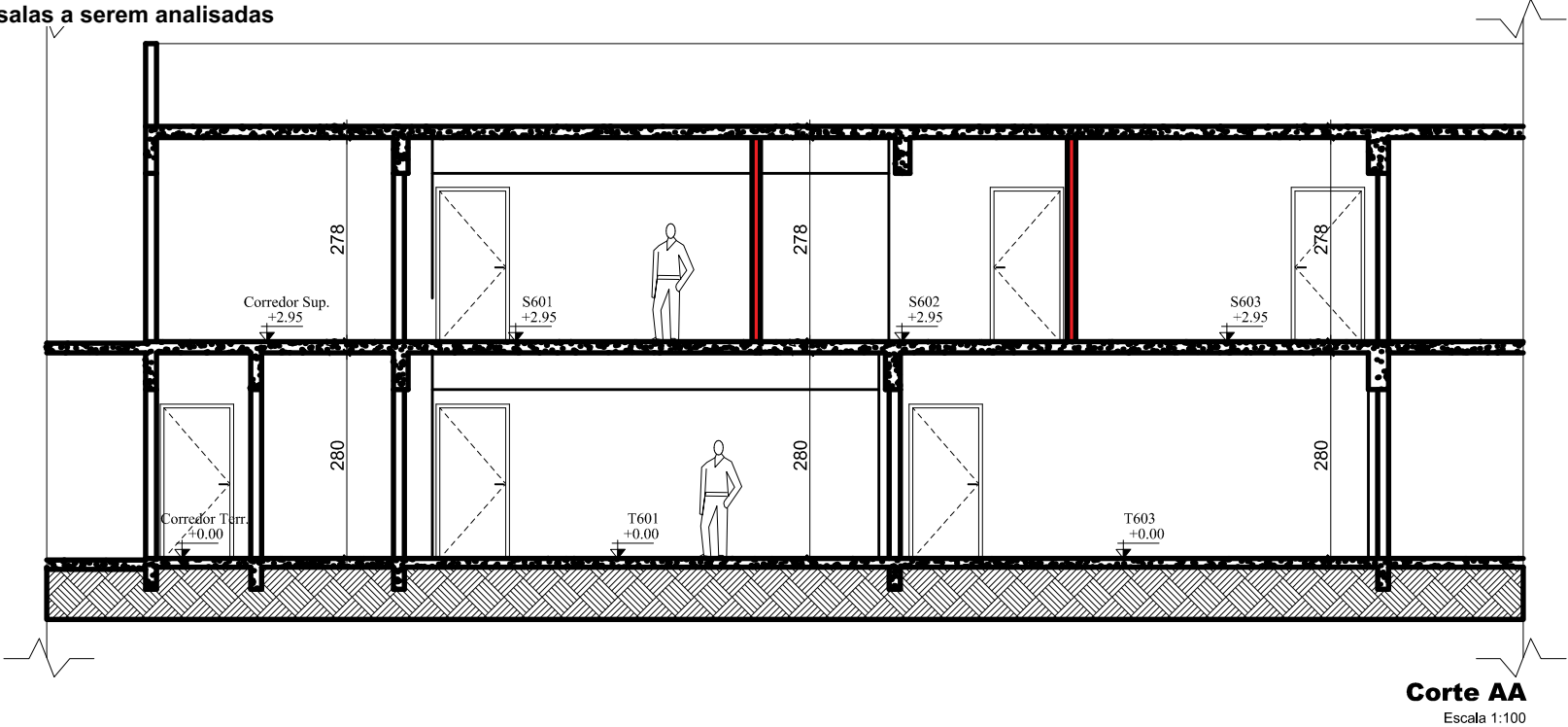


Apêndice B: Planta de pavimento superior das salas a serem analisadas



Pavimento Superior
Escala 1:100

Apêndice C: Cortes das salas a serem analisadas



LEGENDA:



DIVISA EM DRYWALL



ALVENARIA CERÂMICA

Memorial Descritivo

Dados preliminares

Responsável técnica: Mariana de Moura Vaz Silva

Local: Bloco 600 do IFG Câmpus Formosa.

Temperatura média: 23°C

Umidade média: 70%

Data das Aferições: 20 de outubro, 24 de outubro e 27 de outubro de 2022

Turno: Noturno

Nota: Foram refeitas as medições que captaram algum tipo de som intrusivo e fora do comum (como pancadas anormais na laje, passagem de algum usuário próximo ao equipamento, etc).

TÉRREO

Ambientes:

Sala T601

Data:20/10/22

Horário do início da medição: 20:50 h

Porta parcialmente fechada, Janelas fechadas, completamente vazia de usuários, porém com os pertences dos mesmos.

Contabilizado 30 carteiras.

Salas ocupadas no dia: T602; T601; S602; S603; S604 e Corredores Térreo e Superior

Nota extra: Corredores estavam ocupados devido ao horário de intervalo.

Sala T602

Data:27/10/22

Horário do início da medição: 20:30 h

Porta completamente fechada e Janelas fechadas, na ausência dos usuários, porém com seus pertences.

Contabilizado 30 carteiras.

Salas ocupadas no dia: T601; T603; T604; S601; S602; S603; S604.

Nota extra: Corredores estavam ocupados devido ao horário de intervalo.

Sala T603

Data:20/10/22

Horário do início da medição: 19:40 h

Porta Parcialmente fechada, Janelas fechadas, completamente vazia de usuários e pertences dos mesmos.

Contabilizado 29 carteiras.

Salas ocupadas no dia: T602; T601; S602; S604

Nota extra: A sala T602 estava com a porta e janelas abertas.

Sala T604

Data:20/10/22

Horário do início da medição: 20:00 h

Porta completamente fechada, Janelas fechadas, completamente vazia de usuários e pertences dos mesmos.

Contabilizado 30 carteiras.

Salas ocupadas no dia: T602; T601; S602; S603; S604

Nota extra: A sala T602 estava com a porta e janelas abertas.

Corredor Térreo (Bloco 600)

Data:20/10/22

Horário do início da medição: 20:20 h

Portas fechadas das salas T604, T603 e semi fechada da T601 (ocupada por uma turma). A porta da sala T602 (ocupada por uma turma) estava aberta e impossibilitada no momento de ser fechada, no corredor foram coletados os La,eq na ausência de circulação de usuários.

Salas ocupadas no dia: T602; T601; S602; S604

Nota extra: A sala T602 estava com a porta e janelas abertas.

SUPERIOR

Ambientes:

Sala S601

Data:20/10/22

Horário do início da medição: 21:15 h

Porta parcialmente fechada, Janelas fechadas, completamente vazia de usuários, bem como os pertences dos mesmos.

Contabilizado 19 carteiras.

Salas ocupadas no dia: T602; T601; S602; S603; S604 e Corredores Térreo e Superior

Sala S602

Data:24/10/22

Horário do início da medição: 20:00 h

Porta parcialmente fechada, Janelas fechadas, completamente vazia de usuários, bem como os pertences dos mesmos.

Contabilizado 19 carteiras.

Salas ocupadas no dia: T601; T602; T604; S603; S604, sala de desenho e 1 laboratório no térreo

Nota extra: A sala de desenho e S604 estava com a porta aberta, e as demais com as portas fechadas e janelas abertas.

Sala S603

Data:20/10/22

Horário do início da medição: 21:45 h

Porta completamente fechada, Janelas fechadas, completamente vazia de usuários, bem como os pertences dos mesmos.

Contabilizado 16 carteiras, 2 mesas de madeira e 2 cadeiras de couro.

Salas ocupadas no dia: T602; T601; S602; S603; S604 e Corredores Térreo e Superior

Nota extra: A sala T602 estava com a porta e janelas abertas. Salas no pavimento superior estavam todas com as portas fechadas, porém as janelas não.

Sala S604

Data:24/10/22

Horário do início da medição: 21:04 h

Porta parcialmente fechada, Janelas fechadas, completamente vazia de usuários, bem como os pertences dos mesmos.

Contabilizado 19 carteiras.

Salas ocupadas no dia: T601; T602; T604; S603 e 1 laboratório no térreo

Sala de desenho

Data:24/10/22

Horário do início da medição: 21:30 h

Porta completamente fechada, Janelas fechadas, completamente vazia de usuários, bem como os pertences dos mesmos.

Contabilizado 30 pranchetas e 31 cadeiras estofadas de couro.

Salas ocupadas no dia: T601; T602; T604; S603; S604 e 1 laboratório no térreo

Nota extra: A sala S604 estava com a porta aberta, e as demais com as portas fechadas e janelas abertas.

Corredor Superior

Data:20/10/22

Horário do início da medição: 21:30 h

Portas das salas no pavimento superior completamente fechadas, Porta de vidro aberta, Janelas do corredor fechadas, no corredor foram coletados os La,eq na ausência de circulação de usuários.

Salas ocupadas no dia: T602; T601; S602; S604

Apêndice E: Cálculo Detalhado para o TR de Todas as Salas do Pavimento Térreo e Superior.

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Térreo	Sala T601	
Área total (m²)	53,98			
Volume (m³)	151,144			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)	
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		54,74	0,03	
Piso Granitina		53,98	0,01	
Teto - Reboco Liso		53,98	0,03	
Porta de Madeira - fechada		2,1	0,14	
Janela de Vidro Temperado - Fechada		5,04	0,18	
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado		13,53	0,02	
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)	
Cortinas de PVC		6,41	0,49	
Cadeiras com prancheta - Ocupadas		0	0,28	
Cadeiras com prancheta - Desocupadas		24	0,03	
Cadeiras estofada de couro sintético		1	0,15	
1 Pessoa em pé - Professor		1	0,44	
1 Mesa de Maderia		0,48	0,14	
Quadro Branco		3,6	0,18	
Média Ponderada		0,047481579	<	0,3
➔ Usar fórmula de Sabine				
Sa - Sabine		10,4393		
Sa - Eyring		12,02062095		
TR 60 (Sabine)		2,331016831		
TR 60 (Eyring)		2,011796237		

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Térreo	Sala	T601
Área total (m²)	53,38			
Volume (m³)	149,46			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			54,74	0,03
Piso Granitina			53,98	0,01
Teto - Reboco Liso			53,98	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			5,04	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado			13,53	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			6,41	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			24	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,48	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,074771673	< 0,3
➔ Usar fórmula de Sabine				
Sa - Sabine			16,4393	
Sa - Eyring			19,17369758	
TR 60 (Sabine)			1,463752106	
TR 60 (Eyring)			1,247208573	

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Térreo	Sala T602	
Área total (m²)	54,12			
Volume (m³)	151,536			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			54,79	0,03
Piso Granitina			53,98	0,01
Teto - Reboco Liso			53,98	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			4,97	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado			10,51	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			6,36	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			0	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			25	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,48	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,047634201	< 0,3
➔ Usar fórmula de Sabine				
Sa - Sabine			10,3733	
Sa - Eyring			11,94403215	
TR 60 (Sabine)			2,351931979	
TR 60 (Eyring)			2,02994765	

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Térreo	Sala T602	
Área total (m²)	53,38			
Volume (m³)	149,46			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			54,79	0,03
Piso Granitina			53,98	0,01
Teto - Reboco Liso			53,98	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			4,97	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado			10,51	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			6,36	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			25	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,48	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,076334206	< 0,3
➔ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine			16,6233	
Sα - Eyring			19,39515364	
TR 60 (Sabine)			1,447550125	
TR 60 (Eyring)			1,232967804	

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Térreo	Sala T603	
Área total (m²)	53,26			
Volume (m³)	149,128			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			54,98	0,03
Piso Granitina			53,26	0,01
Teto - Reboco Liso			53,26	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			4,87	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado			5,17	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de Tecido			5,64	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			0	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			25	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,72	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,047037987	< 0,3
➔ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine			9,9062	
Sα - Eyring			11,34431439	
TR 60 (Sabine)			2,42369506	
TR 60 (Eyring)			2,103298548	

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Térreo	Sala T603	
Área total (m²)	53,26			
Volume (m³)	149,128			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			54,98	0,03
Piso Granitina			53,26	0,01
Teto - Reboco Liso			53,26	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			4,87	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado			5,17	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			5,64	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			25	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,72	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,0767151	< 0,3
➔ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine			16,1562	
Sα - Eyring			18,79543588	
TR 60 (Sabine)			1,486092522	
TR 60 (Eyring)			1,269482663	

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Térreo	Sala T604	
Área total (m²)	53,38			
Volume (m³)	149,464			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			54,89	0,03
Piso Granitina			53,38	0,01
Teto - Reboco Liso			53,38	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			5,05	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado			5,06	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			5,68	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			0	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			25	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,6	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,047173294	< 0,3
➔ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine			9,9413	
Sα - Eyring			11,38876812	
TR 60 (Sabine)			2,4205792	
TR 60 (Eyring)			2,099809194	

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Térreo	Sala T604	
Área total (m²)	53,38			
Volume (m³)	149,464			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			54,89	0,03
Piso Granitina			53,38	0,01
Teto - Reboco Liso			53,38	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			5,05	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado			5,06	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			5,68	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			25	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,6	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,076830692	< 0,3
➔ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine			16,1913	
Sα - Eyring			18,83988961	
TR 60 (Sabine)			1,486211978	
TR 60 (Eyring)			1,269340771	

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação			
Características da Sala			
Pavimento:		Térreo	
Corredor		Térreo	
Área total (m²)	61,26		
Volume (m³)	171,528		
Dados de Entrada			
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		112,54	0,03
Piso Granitina		61,26	0,01
Teto - Reboco Liso		61,26	0,03
Porta de Madeira - fechada		12,6	0,14
Porta de Vidro Temperado - Fechada		12,44	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso desempenado		20,72	0,02
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC		0	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas		0	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas		0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético		0	0,15
1 Pessoa em pé - Professor		0	0,44
1 Mesa de Maderia		0	0,14
Quadro Branco		0	0,18
Média Ponderada		0,036479595	< 0,3
Usar fórmula de Sabine			
Sa - Sabine		10,2442	
Sa - Eyring		10,69719202	
TR 60 (Sabine)		2,695770094	
TR 60 (Eyring)		2,565577953	

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação			
Características da Sala			
Pavimento: Superior		Sala S601	
Área total (m²)	38,94		
Volume (m³)	108,2532		
Dados de Entrada			
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		30,13	0,03
Paredes de drywall		22,8	0,05
Piso Granitina		38,94	0,01
Teto - Reboco Liso		38,94	0,03
Porta de Madeira - fechada		2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada		3,11	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco		3,5	0,02
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC		3,46	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas		0	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas		18	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético		1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor		1	0,44
1 Mesa de Maderia		0,48	0,14
Quadro Branco		3,6	0,18
Média Ponderada		0,048281456	< 0,3
➡ Usar fórmula de Sabine			
Sa - Sabine		8,0659	
Sa - Eyring		9,076478295	
TR 60 (Sabine)		2,160796092	
TR 60 (Eyring)		1,908285509	

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Superior	Sala S601	
Área total (m²)	38,94			
Volume (m³)	108,2532			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			30,13	0,03
Paredes de drywall			22,8	0,05
Piso Granitina			38,94	0,01
Teto - Reboco Liso			38,94	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			3,11	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso			3,5	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			3,46	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			18	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,48	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,075217886	< 0,3
→ Usar fórmula de Sabine				
Sa - Sabine			12,5659	
Sa - Eyring			14,44128577	
TR 60 (Sabine)			1,38698901	
TR 60 (Eyring)			1,199374646	

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento: Superior		Sala S602		
Área total (m²)	34,36			
Volume (m³)	95,5208			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)	
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		9,19	0,03	
Paredes de drywall		45,59	0,05	
Piso Granitina		34,36	0,01	
Teto - Reboco Liso		34,36	0,03	
Porta de Madeira - fechada		2,1	0,14	
Janela de Vidro Temperado - Fechada		3,91	0,18	
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso		12,75	0,02	
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)	
Cortinas de PVC		4,38	0,49	
Cadeiras com prancheta - Ocupadas		0	0,28	
Cadeiras com prancheta - Desocupadas		18	0,03	
Cadeiras estofada de couro sintético		1	0,15	
1 Pessoa em pé - Professor		1	0,44	
1 Mesa de Maderia		0,48	0,14	
Quadro Branco		3,2	0,18	
Média Ponderada		0,053439408	<	0,3
→ Usar fórmula de Sabine				
Sa - Sabine		9,1018		
Sa - Eyring		10,30783537		
TR 60 (Sabine)		1,689649168		
TR 60 (Eyring)		1,482690347		

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Superior	Sala S602	
Área total (m²)	34,36			
Volume (m³)	95,5208			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			9,19	0,03
Paredes de drywall			45,59	0,05
Piso Granitina			34,36	0,01
Teto - Reboco Liso			34,36	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			3,91	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso			12,75	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			4,38	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			18	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,48	0,14
Quadro Branco			3,2	0,18
Média Ponderada			0,079860263	< 0,3
→ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine			13,6018	
Sα - Eyring			15,67264284	
TR 60 (Sabine)			1,130648061	
TR 60 (Eyring)			0,975159592	

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento: Superior		Sala S603		
Área total (m²)	33,86			
Volume (m³)	94,1308			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)	
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		28,73	0,03	
Paredes de drywall		22,8	0,05	
Piso Granitina		33,86	0,01	
Teto - Reboco Liso		33,86	0,03	
Porta de Madeira - fechada		2,1	0,14	
Janela de Vidro Temperado - Fechada		2,31	0,18	
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso		5,17	0,02	
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)	
Cortinas de PVC		2,58	0,49	
Cadeiras com prancheta - Ocupadas		0	0,28	
Cadeiras com prancheta - Desocupadas		18	0,03	
Cadeiras estofada de couro sintético		2	0,15	
1 Pessoa em pé - Professor		1	0,44	
1 Mesa de Maderia		1,18	0,14	
Quadro Branco		3,2	0,18	
Média Ponderada		0,047547037	<	0,3
→ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine		7,4549		
Sα - Eyring		8,299196064		
TR 60 (Sabine)		2,032899006		
TR 60 (Eyring)		1,814745414		

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Superior	Sala	
Área total (m²)		33,86		
Volume (m³)		94,1308		
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			28,73	0,03
Paredes de drywall			22,8	0,05
Piso Granitina			33,86	0,01
Teto - Reboco Liso			33,86	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			2,31	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso			5,17	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			2,58	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			18	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			2	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			1,18	0,14
Quadro Branco			3,2	0,18
Média Ponderada			0,076247847	< 0,3
→ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine			11,9549	
Sα - Eyring			13,66400354	
TR 60 (Sabine)			1,267685953	
TR 60 (Eyring)			1,102233907	

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento: Superior		Sala S604		
Área total (m²)	33,86			
Volume (m³)	94,1308			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)	
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		28,66	0,03	
Paredes de drywall		22,85	0,05	
Piso Granitina		33,86	0,01	
Teto - Reboco Liso		33,86	0,03	
Porta de Madeira - fechada		2,1	0,14	
Janela de Vidro Temperado - Fechada		2,31	0,18	
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso		5,02	0,02	
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)	
Cortinas de PVC		2,58	0,49	
Cadeiras com prancheta - Ocupadas		0	0,28	
Cadeiras com prancheta - Desocupadas		18	0,03	
Cadeiras estofada de couro sintético		1	0,15	
1 Pessoa em pé - Professor		1	0,44	
1 Mesa de Maderia		0,77	0,14	
Quadro Branco		3,6	0,18	
Média Ponderada		0,047020757	<	0,3
→ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine		7,3169		
Sα - Eyring		8,15162224		
TR 60 (Sabine)		2,071240389		
TR 60 (Eyring)		1,847598865		

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Superior	Sala S604	
Área total (m²)	33,86			
Volume (m³)	94,1308			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente			Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso			28,66	0,03
Paredes de drywall			22,85	0,05
Piso Granitina			33,86	0,01
Teto - Reboco Liso			33,86	0,03
Porta de Madeira - fechada			2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada			2,31	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso			5,02	0,02
Mobiliários e Pessoas			Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC			2,58	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas			18	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas			0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético			1	0,15
1 Pessoa em pé - Professor			1	0,44
1 Mesa de Maderia			0,77	0,14
Quadro Branco			3,6	0,18
Média Ponderada			0,075939207	< 0,3
→ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine			11,8169	
Sα - Eyring			13,51642971	
TR 60 (Sabine)			1,28249023	
TR 60 (Eyring)			1,114268215	

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação			
Características da Sala			
Pavimento: Superior		Sala Sala de desenho	
Área total (m²)	74,26		
Volume (m³)	206,4428		
Dados de Entrada			
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		45,21	0,03
Paredes de drywall		22,85	0,05
Piso Granitina		74,26	0,01
Teto - Reboco Liso		74,26	0,03
Porta de Madeira - fechada		2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada		7,03	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso		20,34	0,02
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC		7,91	0,49
Cadeiras estofada - Ocupadas		0	0,32
Cadeiras estofada - Desocupadas		30	0,15
1 Pessoa em pé - Professor		1	0,44
1 Mesa de Maderia		22,18	0,14
Quadro Branco		3,6	0,18
Armário de MDF		6,48	0,14
Média Ponderada		0,065921758	< 0,3
Usar fórmula de Sabine			
Sa - Sabine		20,9117	
Sa - Eyring		23,49866167	
TR 60 (Sabine)		1,589411229	
TR 60 (Eyring)		1,405648052	

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação				
Características da Sala				
Pavimento:		Superior	Sala	
Sala de desenho				
Área total (m²)	74,26			
Volume (m³)	206,4428			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)	
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		45,21	0,03	
Paredes de drywall		22,85	0,05	
Piso Granitina		74,26	0,01	
Teto - Reboco Liso		74,26	0,03	
Porta de Madeira - fechada		2,1	0,14	
Janela de Vidro Temperado - Fechada		7,03	0,18	
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso		20,34	0,02	
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)	
Cortinas de PVC		7,91	0,49	
Cadeiras estofada - Ocupadas		30	0,32	
Cadeiras estofada - Desocupadas		0	0,15	
1 Pessoa em pé - Professor		1	0,44	
1 Mesa de Maderia		22,18	0,14	
Quadro Branco		3,6	0,18	
Armário de MDF		6,48	0,14	
Média Ponderada		0,081998928	<	0,3
Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine		26,0117		
Sα - Eyring		30,19296821		
TR 60 (Sabine)		1,277782336		
TR 60 (Eyring)		1,093991415		

OCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação			
Características da Sala			
Pavimento:		Superior	Corredor Superior
Área total (m²)	64,64		
Volume (m³)	180,992		
Dados de Entrada			
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		120,04	0,03
Piso Granitina		64,64	0,01
Teto - Reboco Liso		64,64	0,03
Porta de Madeira - fechada		14,7	0,14
Porta de Vidro Temperado - Fechada		9,24	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso		14,72	0,02
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)
Cortinas de PVC		0	0,49
Cadeiras com prancheta - Ocupadas		0	0,28
Cadeiras com prancheta - Desocupadas		0	0,03
Cadeiras estofada de couro sintético		0	0,15
1 Pessoa em pé - Professor		0	0,44
1 Mesa de Maderia		0	0,14
Quadro Branco		0	0,18
Média Ponderada		0,03542746	< 0,3
Usar fórmula de Sabine			
S α - Sabine		10,2024	
S α - Eyring		10,62302715	
TR 60 (Sabine)		2,856162472	
TR 60 (Eyring)		2,726032757	

Apêndice F: Cálculo Detalhado para Orçamento da T603 e S601: Proposta de Melhoria.

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação -Tratamento				
Características da Sala				
Pavimento:	Superior	Sala	S601	
Área total (m²)	38,94			
Volume (m³)	108,2532			
Dados de Entrada				
Material - Ambiente		Área de material (m²)	α (500 Hz)	
56 Revestimentos Acustico Lã de Pet 30mm - Custo total: R\$2.128,00		21,875	1,02	
Paredes de alvenaria - Reboco Liso		20,755	0,03	
Paredes de drywall		13,425	0,05	
Piso Granitina		38,94	0,01	
Teto - Reboco Liso		35,815	0,03	
Porta de Madeira - fechada		2,1	0,14	
Janela de Vidro Temperado - Fechada		3,11	0,18	
Concreto Armado - Estrutura com reboco		3,5	0,02	
Mobiliários e Pessoas		Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)	
Cortinas de PVC		3,46	0,49	
Cadeiras com prancheta - Desocupadas		18	0,03	
Cadeiras estofada de couro sintético		1	0,15	
1 Pessoa em pé - Professor		1	0,44	
1 Mesa de Maderia		0,48	0,14	
Quadro Branco		3,6	0,18	
Média Ponderada		0,176790674	<	0,3
—————▶ Usar fórmula de Sabine				
Sα - Sabine		29,53465		
TR 60 (Sabine)		0,590112468		

DESOCUPADA

Planilha de cálculo - Tempo de Reverberação		
Características da Sala		
Pavimento:	Térreo	Sala T603
Área total (m²)	53,26	
Volume (m³)	149,128	
Dados de Entrada		
Material - Ambiente	Área de material (m²)	α (500 Hz)
78 Revestimentos Acustico Lã de Pet 30mm - Custo total: R\$2.964,00	30,47	1,02
Paredes de alvenaria - Reboco Liso	36,23	0,03
Piso Granitina	53,26	0,01
Teto - Reboco Liso	41,54125	0,03
Porta de Madeira - fechada	2,1	0,14
Janela de Vidro Temperado - Fechada	4,87	0,18
Concreto Armado - Estrutura com reboco liso	5,17	0,02

Mobiliários e Pessoas	Área (m²)/Unidade	α (500 Hz)	
Cortinas de Tecido	5,64	0,49	
Cadeiras com prancheta - Desocupadas	25	0,03	
Cadeiras estofada de couro sintético	1	0,15	
1 Pessoa em pé - Professor	1	0,44	
1 Mesa de Maderia	0,72	0,14	
Quadro Branco	3,6	0,18	
Média Ponderada	0,190267153	<	0,3
➔ Usar fórmula de Sabine			
S α - Sabine	40,0702625		
TR 60 (Sabine)	0,599187689		

DESOCUPADA