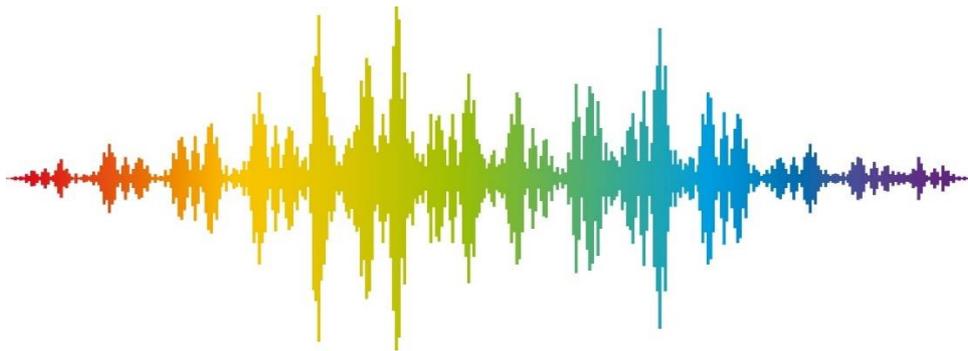


**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E**  
**URBANISMO**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTES DE**  
**ENSINO E APRENDIZAGEM: ESTUDO DE CASO DE SALAS DE**  
**AULA DO INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS - ICC**



**CLARICE CAVALCANTE DAGA**

**ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO LUNA DE MELO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E**  
**URBANISMO**

**BRASÍLIA/DF: MARÇO – 2019**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E**  
**URBANISMO**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTES DE**  
**ENSINO E APRENDIZAGEM: ESTUDO DE CASO DE SALAS DE**  
**AULA DO INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS - ICC**

**CLARICE CAVALCANTE DAGA**

**ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO LUNA DE MELO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E**  
**URBANISMO**

**BRASÍLIA/DF: MARÇO – 2019**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E**  
**URBANISMO**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTES DE**  
**ENSINO E APRENDIZAGEM: ESTUDO DE CASO DE SALAS DE**  
**AULA DO INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS - ICC**

**ENG.<sup>a</sup> CLARICE CAVALCANTE DAGA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO.

APROVADA POR:

---

**Prof. Carlos Eduardo Luna de Melo - Dr. (FAU/UnB)**  
(Orientador)

---

**Prof. Caio Frederico e Silva, Dr. (FAU/UnB)**  
(Examinador Interno)

---

**Prof. Leonardo Pinto de Oliveira, Dr. (UniCEUB)**  
(Examinador Externo)

**BRASÍLIA/DF, 22 DE MARÇO DE 2019**

**FICHA CATALOGRÁFICA**

DAGA, CLARICE CAVALCANTE

Avaliação do conforto acústico em ambientes de ensino e aprendizagem: Estudo de caso de salas de aula do Instituto Central de Ciências - ICC.

[Distrito Federal] 2019.

xv, 106p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2019).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1. Avaliação

2. Conforto acústico

3. Sala de aula

4. Simulação computacional

I. FAU/UnB

II. Título (série)

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

DAGA, C. C. (2019). Avaliação do conforto acústico em ambientes de ensino e aprendizagem: Estudo de caso de salas de aula do Instituto Central de Ciências - ICC. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 106p.

**CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Clarice Cavalcante Daga

TÍTULO: Avaliação do conforto acústico em ambientes de ensino e aprendizagem: Estudo de caso de salas de aula do Instituto Central de Ciências - ICC.

GRAU: Mestre ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Clarice Cavalcante Daga  
e-mail: engclaricedaga@gmail.com

À minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS por sempre me mostrar o caminho certo.

Ao meu orientador Carlos Eduardo Luna de Melo por ter acreditado e confiado no meu potencial na realização deste trabalho.

Aos professores e colegas do PPG-FAU da UnB pelo compartilhamento de conhecimento e em especial ao professor João da Costa Pantoja por me incentivar a realizar atividades acadêmicas.

A minha família pelo amor, apoio e compreensão. Em especial ao meu tio José Alberto P. C. Lobo pelo compartilhamento do seu conhecimento e entusiasmo com a acústica e a minha tia Hetty N. C. da Cunha Lobo pela motivação a vida acadêmica.

Ao meu noivo Allan Guilherme P. da Silva pela paciência, apoio e por me acompanhar nos levantamentos de campo.

## RESUMO

É cada vez maior a necessidade de atender as exigências dos usuários quanto ao conforto acústico nos mais diversos tipos de edificações. No ambiente educacional, o excesso de ruído não causa apenas incômodo, como também interfere diretamente no rendimento do aluno e do professor. Este trabalho apresenta uma contribuição para a área de arquitetura e educação por meio da análise da qualidade acústica de salas de aula do Instituto Central de Ciências (ICC), situado na Universidade de Brasília (UnB). A análise foi realizada sob um ponto de vista arquitetônico, a qual é, na maioria dos casos simplesmente negligenciada e não possuem as condições necessárias para que estes ambientes possam desempenhar seu principal objetivo que é proporcionar meios para um ótimo nível de aprendizagem. Na metodologia de análise, utilizou-se o Software EASE para avaliação acústica do Tempo de Reverberação, STI e %ALCons de forma analítica. Estes são parâmetros diretamente ligados a inteligibilidade do espaço. Também buscou-se aferir, *in loco*, o tempo de reverberação das salas para comparação com os dados obtidos analiticamente. Para complementar os resultados obtidos realizou-se também, a identificação da percepção dos alunos em relação a qualidade acústica das salas de aula, os dados foram obtidos por meio da aplicação de questionário. A metodologia mostrou-se adequada para obtenção dos dados e os resultados encontrados apontam que todas as tipologias de salas estudadas não atendem as condições acústicas mínimas do tempo de reverberação, de acordo com os valores de referência normativos descritos na ABNT NBR 12179:1992. A análise dos dados da %ALCons e STI, em confronto com a classificação de acordo com a ABNT NBR IEC 60268-16:2018 também obtiveram-se resultados desfavoráveis. Afim de atender aos parâmetros acústicos analisados foram realizados os cálculos analíticos com porcentagens de materiais acústicos aplicados no forro das salas de aula.

Palavras chave: Avaliação, conforto acústico, sala de aula e simulação computacional.

## **ABSTRACT**

It is increasingly necessary to meet the requirements of users regarding acoustic comfort in various types of buildings. In the educational environment, excessive noise does not only cause discomfort, but also interferes directly with the student's and teacher's productivity. This paper presents a contribution to the area of architecture and education through the analysis of the acoustic quality of classrooms of the Central Institute of Sciences (ICC), located at the University of Brasilia (UnB). The analysis was performed from an architectural point of view, which is, in most cases simply neglected and the architecture does not have the necessary conditions for these environments to fulfill their main goal, which is to provide means for a great level of learning. In the analysis methodology, we used the EASE Software for acoustic evaluation of reverberation time, STI and % ALCons. These are parameters directly linked to the intelligibility of the space. It was also tried to verify, in loco, the reverberation time of the rooms for comparison with the data obtained analytically. The students' perception regarding the acoustic quality of the classrooms was also obtained through the application of a questionnaire. The methodology proved to be adequate to obtain the data and the results found indicate that all the typologies of the rooms studied do not meet the minimum acoustic conditions of reverberation time, according to the normative reference values described in ABNT NBR 12179:1992. The analysis of the data of the % ALCons and STI, in confrontation with the classification according to ABNT NBR IEC 60268-16:2018, also obtained unfavorable results. In Order to meet the acoustic parameters analyzed, the analytical calculations were performed with percentages of acoustic materials applied in the lining of the classrooms.

Keywords: Evaluation, acoustic comfort, classroom and computational simulation.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3</b>	<b>MÉTODO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4</b>	<b>ESTRUTURA DO TRABALHO.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A ACÚSTICA .....</b>	<b>6</b>
2.1.1	Som.....	6
2.1.2	Tempo de reverberação .....	7
2.1.3	Ruído de fundo .....	10
2.1.1	Relação sinal e ruído (S-R).....	11
2.1.2	Inteligibilidade da fala .....	11
<b>2.2</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS SOBRE ACÚSTICA .....</b>	<b>16</b>
2.2.1	ABNT NBR 10151:2003 .....	16
2.2.2	ABNT NBR 10152:2017 .....	17
2.2.3	ABNT NBR 12179:1992 .....	17
2.2.4	ANSI/ASA S12.60:2002 .....	18
2.2.5	ABNT NBR IEC 60268-16:2018 .....	19
<b>2.3</b>	<b>ESTUDOS REALIZADOS SOBRE A ACÚSTICA.....</b>	<b>20</b>
2.3.1	ACÚSTICA DE SALAS .....	22
2.3.2	ESTUDOS REALIZADOS SOBRE ACÚSTICA NO ENSINO- APRENDIZAGEM.....	23
<b>2.4</b>	<b>HISTÓRICO DE CONSTRUÇÃO DO INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS (ICC).....</b>	<b>25</b>
2.4.1	Criação da universidade de Brasília .....	25
2.4.2	Principais atores no projeto da universidade de Brasília.....	25
2.4.2.1	João Filgueiras Lima – Lelé .....	25
2.4.2.2	Bruno Contarini .....	27
2.4.2.3	Oscar Niemeyer .....	28
2.4.3	Instituto Central de Ciências.....	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>OBJETO DE ESTUDO.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>ESTUDO ANALÍTICO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS DE AULA</b>	<b>35</b>
3.2.1	EASE .....	36
3.2.2	Tempo de reverberação analítico ( $TR_a$ ).....	37
3.2.3	Inteligibilidade da fala analítico ( $STI_a$ ) .....	38
<b>3.3</b>	<b>VERIFICAÇÃO <i>IN LOCO</i> DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....</b>	<b>38</b>
3.3.1	Equipamentos e softwares .....	39
3.3.2	Tempo de reverberação experimental ( $TR_e$ ).....	41
<b>3.4</b>	<b>QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO DO USUÁRIO.....</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>AVALIAÇÃO ACÚSTICA DAS SALAS DE AULA DO ICC</b>	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>RESULTADOS ANALÍTICOS DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO, %ALCONS E STI .....</b>	<b>44</b>
4.1.1	Tempo de reverberação .....	44
4.1.2	Porcentagem de ALCons .....	46
4.1.3	STI .....	52
<b>4.2</b>	<b>AVALIAÇÃO ACÚSTICA <i>IN LOCO</i> DAS SALAS DE AULA .....</b>	<b>56</b>

4.2.1	Tempo de Reverberação .....	56
<b>4.3</b>	<b>COMPARAÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO ANALÍTICO E EXPERIMENTAL .....</b>	<b>58</b>
<b>4.4</b>	<b>AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DO USUÁRIO .....</b>	<b>60</b>
4.4.1	Aplicação do questionário .....	60
<b>5</b>	<b>DIRETRIZES PARA O CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DAS SALAS DE AULA ESTUDADAS.....</b>	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>87</b>
6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	87
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA IH/UnB.....</b>	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE .....</b>	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE C – DADOS DE LEVANTAMENTO <i>IN LOCO</i> .....</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE D -QUESTIONÁRIO APLICADO AOS USUÁRIOS...</b>	<b>106</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas de níveis de audibilidade da audição humana .....	7
Figura 2 - Representação gráfica do tempo de reverberação.....	9
Figura 3 - Relação entre a voz e o ruído de fundo em uma sala de aula .....	11
Figura 4 - Diretividade da fala.....	13
Figura 5 - Inteligibilidade da fala em função da relação S-R.....	14
Figura 6 - Obtenção da %ALCons a partir de <i>TR</i> e de <i>LD - LR</i> .....	16
Figura 7 - Tempo ótimo de reverberação .....	18
Figura 8 - Exemplos de categorias para qualificação do STI e aplicações típicas de locais.....	20
Figura 9 - Croqui de Brasília .....	25
Figura 10 - Esquema de montagem da Escola rural para 50 alunos em Abadiânia -GO	26
Figura 11 - Croquis e perspectiva do Sarah Fortaleza.....	27
Figura 12 - Localização do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.....	29
Figura 13 - Localização do Instituto Central de Ciências do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.....	29
Figura 14 - Croquis – ala dos auditórios interior e exterior por Oscar Kneipp .....	30
Figura 15 - Colocação das vigas.....	31
Figura 16 - Planta baixa do primeiro pavimento do ICC .....	33
Figura 17 - Planta baixa do térreo do ICC.....	34
Figura 18 - Planta baixa do subsolo do ICC.....	34
Figura 19 - Tipologias das salas de aula do ICC .....	35
Figura 20 - Exemplo de modelagem do <i>Sketch up</i> versão 2017 da Tipologia 4 .....	37
Figura 21 – Sonômetro fabricante Bruel & Kjaer, modelo 2250 e o tripé fabricante Bruel & Kjaer utilizado nas medições .....	39
Figura 22 – Calibrador Classe 1 fabricante Minipa, modelo MSL 1326 .....	40
Figura 23 - Exemplo do decaimento para obtenção do tempo de reverberação.....	41
Figura 24 - Resultado do tempo de reverberação analítico .....	46
Figura 25 - Distribuição de valores de %ALCons por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 1 - EASE.....	47
Figura 26 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 2 - EASE .....	47
Figura 27 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área do ateliê classificado na tipologia 3 - EASE.....	47
Figura 28 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 4 - EASE.....	48
Figura 29 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 5 - EASE.....	48
Figura 30 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 6 - EASE .....	48
Figura 31 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 7 - EASE .....	49
Figura 32 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 8 - EASE .....	49
Figura 33 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 9 - EASE .....	49
Figura 34 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 1 – EASE .....	52

Figura 35 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 2 - EASE .....	53
Figura 36 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do ateliê classificado na tipologia 3 – EASE .....	53
Figura 37 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do ateliê classificado na tipologia 3 e ateliê adjacente no pavimento inferior - EASE.....	53
Figura 38 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 4- EASE .....	54
Figura 39 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 5- EASE .....	54
Figura 40 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 6 - EASE .....	54
Figura 41 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 7- EASE .....	55
Figura 42 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 8 - EASE .....	55
Figura 43 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 9 - EASE .....	55
Figura 44 - Resultado do tempo de reverberação <i>in loco</i> .....	57
Figura 45 - Comparação dos resultados do TR obtido <i>in loco</i> e calculado de forma analítica.....	58
Figura 46 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 1 considerando toda a amostra .....	60
Figura 47 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 1 considerando o turno ....	61
Figura 48 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 1 considerando o sexo ....	62
Figura 49 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 2 considerando toda a amostra .....	62
Figura 50 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 2 considerando o turno ....	63
Figura 51 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 2 considerando o sexo ....	64
Figura 52 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 3 considerando toda a amostra .....	64
Figura 53 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 3 considerando o turno ....	65
Figura 54 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 3 considerando o sexo ....	66
Figura 55 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 4 considerando toda a amostra .....	67
Figura 56 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 4 considerando o turno ....	68
Figura 57 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 4 considerando o sexo ....	69
Figura 58 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 5 considerando toda a amostra .....	69
Figura 59 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 5 considerando o turno ....	70
Figura 60 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 5 considerando o sexo ....	71
Figura 61 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 6 considerando toda a amostra .....	72
Figura 62 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 6 considerando o turno ....	72
Figura 63 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 6 considerando o sexo ....	73
Figura 64 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 7 considerando toda a amostra .....	74
Figura 65 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 7 considerando o turno ....	74
Figura 66 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 7 considerando o sexo ....	75

Figura 67 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 8 considerando toda a amostra .....	76
Figura 68 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 8 considerando o turno ....	77
Figura 69 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 8 considerando o sexo .....	77
Figura 70 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 9 considerando toda a amostra .....	78
Figura 71 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 9 considerando o turno ....	78
Figura 72 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 9 considerando o sexo .....	79
Figura 73 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 10 considerando toda a amostra .....	80
Figura 74 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 10 considerando o turno ..	80
Figura 75 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 10 considerando o sexo ...	81
Figura 76 - Curva de absorção de forros acústicos.....	83
Figura 77 – Exemplo da distribuição de área de forro para aplicação do material acústico .....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempos de reverberação recomendados para salas de aula em diferentes países .....	9
Tabela 2 - Níveis de ruído de fundo recomendados para salas de aula em diferentes países .....	10
Tabela 3 – Variabilidade de emissão entre vogais e consoantes .....	13
Tabela 4 - Relação entre os valores da %ALCons e o STI face a inteligibilidade.....	14
Tabela 5 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A).....	16
Tabela 6 - Valores dB(A) e NC segundo a ABNT NBR 10152:2017.....	17
Tabela 7 - Valores máximos de ruído e tempo de reverberação para ambientes de aprendizado mobiliados e desocupados.....	18
Tabela 8 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A).....	45
Tabela 9 - Resultado da %ALCons das 9 tipologias em relação a norma ABNT NBR IEC 60268-16 .....	51
Tabela 10 - Resultados de STI analítico das nove tipologias em relação ao valor de referência da norma ABNT NBR IEC 60268-16 .....	56
Tabela 11 - Resultados do TR analítico e experimental das nove tipologias em relação ao valor de referência ABNT NBR 12179:1992 .....	59
Tabela 12 - Resultados do TR analítico em 500 Hz das nove tipologias antes e após aplicação de material acústico .....	84
Tabela 13 - Resultados da %ALCons analítico das nove tipologias, antes e após aplicação de material acústico, em relação a classificação da ABNT NBR IEC 60268-16 .....	85
Tabela 14 - Resultados de STI analítico das nove tipologias, antes e após aplicação do material acústico, em relação ao valor de referência da norma ABNT NBR IEC 60268-16.....	86

## LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

A - Absorção de um recinto  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANSI - American National Standards Institute  
ASHA - American Speech Language – Hearing Association  
ATOT - Absorção total de um recinto  
B&K - Brüel & Kjaer  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
dB - Decibel  
DC - Distância crítica  
ICC - Instituto Central de Ciências  
Log - Logaritmo decimal  
NC - Curvas de Critério de Ruído  
NBR - Norma Brasileira Registrada  
NPS - Nível de Pressão Sonora  
NPSmax - Nível de Pressão Sonora Máximo  
RF - Ruído de Fundo  
S/R - Sinal/Ruído  
STI - Índice de transmissão da fala  
TR - Tempo de Reverberação  
UnB - Universidade de Brasília  
V - Volume da Sala  
%ALC - Porcentagem de Perda de Articulação de Consoantes  
 $\alpha$  - Coeficiente de Absorção Sonora (%)  
 $\alpha_m$  - Coeficiente médio de Absorção Sonora (%)  
r - Distância do ponto considerado a fonte sonora (m)  
Q - Fator de Diretividade  
LD - Nível de Campo Direto (dB)  
LR - Nível de Campo Reverberante (dB)  
S - Área de Superfície de um recinto (m<sup>2</sup>)  
STOT - Área de Superfície Total de um Recinto (m<sup>2</sup>)

# 1 INTRODUÇÃO

O ruído presente em salas de aula tem vários efeitos negativos sobre o ensino acadêmico. (DROSSI E MOMENSOHN-SANTOS T, 2005; ZWIRTES, 2006; KLATTE M, LACHMANN. T, MEIS. M, 2010; GUIDINI et al, 2012).

O impacto no âmbito da saúde e ao processo de aprendizagem decorrentes do ruído, são encontradas na literatura alterações dos limiares de audição, zumbido, cansaço, esforço maior para concentração, perda de parte do conteúdo ensinado, esforço vocal e inteligibilidade de fala (DROSSI E MOMENSOHN-SANTOS. T, 2004). A poluição sonora, segundo a Organização Mundial da Saúde, é a terceira mais grave forma de poluição, só perdendo para a poluição do ar e da água (WHO, 1980).

Na avaliação acústica dos níveis de ruído de fundo, de acordo com a ABNT NBR 10152:1992, dentro das salas de aula são preconizados valores de ruído de 40 dB(A) a 50 dB(A) enquanto o valor normativo internacional é de 35dB(A). Porém, estudos vêm demonstrando valores acima destes mesmo em escolas no período de férias (ENIZ, GARAVELLI, 2007; SEETHA et al, 2008; GONÇALVES et al, 2009).

Romano et al. (2009) destaca em seu estudo que em relação ao docente, no cotidiano do seu trabalho, muitas situações o levam ao uso inadequado e abusivo da voz, o que pode causar distúrbios vocais. A literatura relata que os fatores que podem influenciar no adoecimento vocal podem ser ambientais como o ruído, e organizacionais, associados a situações de estresse, despreparo vocal em um contexto desfavorável, pouco conhecimento sobre os cuidados com a voz e os fatores relacionados ao próprio professor e sua saúde (problemas respiratórios, influências hormonais, idade, medicações, tabagismo e falta de hidratação) (ROMANO et al, 2009; CUTIVA E BURDORF, 2015).

Ainda nos dias atuais a informação na sala de aula é transmitida do professor para o aluno oralmente. Isso ocasiona a perda da qualidade da informação e a aprendizagem é prejudicada. Desta forma, as condições acústicas do ambiente são responsáveis pelo principal problema que são as informações chegarem com erros, o que faz com que os alunos não percebam a totalidade das palavras.

Na percepção de Oliveira (2016), é destacado em seu estudo que o conforto acústico é uma percepção humana e, portanto, um conceito subjetivo. Neste sentido, o que é satisfatório

para um não necessariamente será para os outros. Portanto os parâmetros acústicos devem ser primeiramente confrontados com os valores normativos e posteriormente associado a percepção do usuário.

A qualidade no processo construtivo tem no projeto arquitetônico um de seus principais determinantes. De acordo com Buss e Filho (2007) o projeto arquitetônico é uma atividade intelectual apoiada em conhecimentos variados de aspectos técnicos, fisiológicos, psicológicos, históricos, socioeconômicos dentre outros.

Segundo Kowaltowski (1998), no processo de criação é utilizada a comunicação gráfica, o desenho, como instrumento de visualização dos aspectos essenciais de uma boa arquitetura, mas isso não garante a visualização de muitos aspectos fundamentais de uma edificação. Este tipo de problema ocorre porque a maioria dos elementos de conforto não é representada diretamente pelo desenho.

Neste sentido, ainda segundo Kowaltowski (1998), a avaliação da qualidade acústica de uma edificação são necessários dois enfoques, o primeiro diz respeito às características internas e o segundo às características externas. Nas características internas de um ambiente é importante destacar aspectos como forma, dimensões e absorção das superfícies que interferem na inteligibilidade e reverberação do som. Por outro lado, o meio externo influencia o desempenho interno, por falta de isolamento dos principais componentes de fechamento.

As formas tradicionais de representação do projeto de arquitetura não são suficientes para transmitir os dados e aspectos relativos ao conforto térmico, acústico, psicológico e ergonômico, bem como de olfato e tato. Já o conforto visual vem sendo representado de forma mais adequada por meio do uso de programas específicos.

Alguns fenômenos podem ser avaliados pela acústica geométrica, sendo, portanto, graficamente representados. Existem limitações nestes métodos, quando as dimensões do ambiente ultrapassam certos parâmetros, e devidas ao tipo de revestimento das superfícies.

Segundo Guidalli (2012) a percepção de um ambiente construído está relacionada com a experiência vivida pelo indivíduo em um espaço com todos os seus aspectos: físicos, sociais, culturais e históricos. Fatores como a disposição das cadeiras nas salas de aula, a didática aplicada e a relação entre o professor e o aluno são pontos fundamentais para o

processo de aprendizagem. As fontes de ruído em sala de aula tanto podem ser internas quanto externas. Alguns exemplos de fontes de ruído interno incluem os ventiladores, ar condicionado, usuários, ou, até mesmo, mesas e cadeiras quando são arrastadas causando até mesmo o ruído de vibração.

Este trabalho apresenta uma contribuição para a área de arquitetura e educação por meio da análise da qualidade acústica das salas de aula do Instituto Central de Ciências (ICC), situado na Universidade de Brasília (UnB). A análise foi realizada sob um ponto de vista arquitetônico, a qual é, na maioria dos casos simplesmente negligenciada e não possuem as condições necessárias para que estes ambientes possam desempenhar seu principal objetivo que é proporcionar meios para um ótimo nível de aprendizagem.

## **1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO**

O domínio da acústica como muitos outros campos da ciência é extremamente amplo, abrangendo disciplinas tão diversas como a acústica ambiental, a acústica musical, a acústica arquitetônica, entre outras.

É no campo da acústica arquitetônica que este trabalho encontra sua principal motivação, tal que os conceitos e fundamentos desta disciplina são usados também para a avaliação de espaços escolares, por ser um espaço importante para o processo de ensino e aprendizagem.

Por outro lado, segundo Uría (2005), a melhoria da acústica da sala de aula torna possível atender também aos problemas na área da saúde, tal que possa ser evitado o dano das cordas vocais dos professores, devido ao esforço feito no sentido de aumentar a inteligibilidade da fala nas salas de aula, ao mesmo tempo em que se elimina a fadiga, o cansaço e o estresse dos alunos, que são problemas que afetam a maioria da população estudantil das escolas em diferentes cidades do Brasil e do mundo.

Ressaltando a importância dos estudos, com o passar dos anos podem ocorrer perdas auditivas as quais não são percebidas e dificilmente nota-se sua causa. Os danos não são relacionados, que desde a infância a exposição a certos ambientes causam este efeito e que pode se agravar na vida adulta. Tais condicionantes geram uma necessidade de estabelecer, além das diretrizes e regulamentos, uma solução global que em todos os aspectos permitam melhorar qualitativa e quantitativamente as condições para garantir um adequado conforto acústico em nível de ambiente escolar.

Nesse sentido, elencar os princípios da promoção da qualidade sonora em conjunto com os usuários é necessário para implementar ações nas edificações e garantir condições ideais de conforto, onde se cultive a saúde e o bem-estar. Esse novo conceito de ambiente fortalece o bom desempenho dos usuários, melhorando a qualidade do tempo de permanência.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as condições atuais de desempenho acústico de salas de aula do Instituto Central de Ciências (ICC) da Universidade de Brasília de acordo com a percepção dos alunos, com foco no indivíduo e na arquitetura.

Os objetivos específicos são:

- Realizar a avaliação das condições acústicas atuais das salas de aula de forma analítica e experimental;
- Comparar os resultados obtidos experimentalmente com os resultados analíticos;
- Realizar um estudo comparativo entre o resultado analítico e experimental;
- Avaliar por meio de questionário a percepção dos alunos sobre o conforto e níveis de ruído existentes.

## **1.3 MÉTODO**

O método empregado para atingir os objetivos é composta por:

- Revisão bibliográfica;
- Estudo analítico da qualidade acústica das salas de aula por meio das equações das normas vigentes;
- Estudo experimental do tempo de reverberação por meio dos procedimentos descritos nas normas vigentes;
- Avaliação da percepção do usuário por meio de questionário;
- Propor uma solução para adequação das salas de aula para atender aos parâmetros acústicos das normas vigentes;
- Conclusões.

As salas foram simuladas com o software EASE na qual foram analisados os parâmetros e comparados com os limites normativos atuais.

## **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho é estruturado em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução, onde foi apresentado o panorama geral do trabalho e abrange um histórico que apresenta as características acústico-arquitetônicas relacionadas ao ambiente escolar, a justificativa e motivação do estudo proposto e os objetivos.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica de trabalhos realizados, normas técnicas, livros, na qual são destacados os aspectos acústico-arquitetônicos mais importantes para caracterizar qualitativa e quantitativamente o desempenho de um ambiente construído de forma geral e, posteriormente, direcionando para os ambientes escolares, incluindo seus conceitos, definições e algumas equações. Itens que serviram de embasamento para a realização do estudo.

No Capítulo 3 são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para realização dos cálculos analíticos, medições acústicas *in loco*, como foi realizada a avaliação por meio de questionário e os equipamentos que foram utilizados no levantamento de campo.

O Capítulo 4 é destinado a apresentação das avaliações acústicas realizadas, os resultados obtidos por meio dos cálculos que corresponde as análises dos dados coletados como tempo de reverberação de forma analítica e experimental, STI e %ALCons que avaliam a inteligibilidade da fala de forma analítica e percepção do usuário. Outros dados acústicos foram incluídos como variáveis de controle, tais como: tipologia das salas e classificação dos materiais das superfícies avaliadas.

No Capítulo 5 são explanadas as diretrizes e sugestão de material acústico para adequação das salas de aula e atendimento aos limites normativos do conforto acústico necessário.

Finalmente, no Capítulo 6 do trabalho foram realizadas as considerações finais obtidas com o estudo desenvolvido. Onde são destacadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

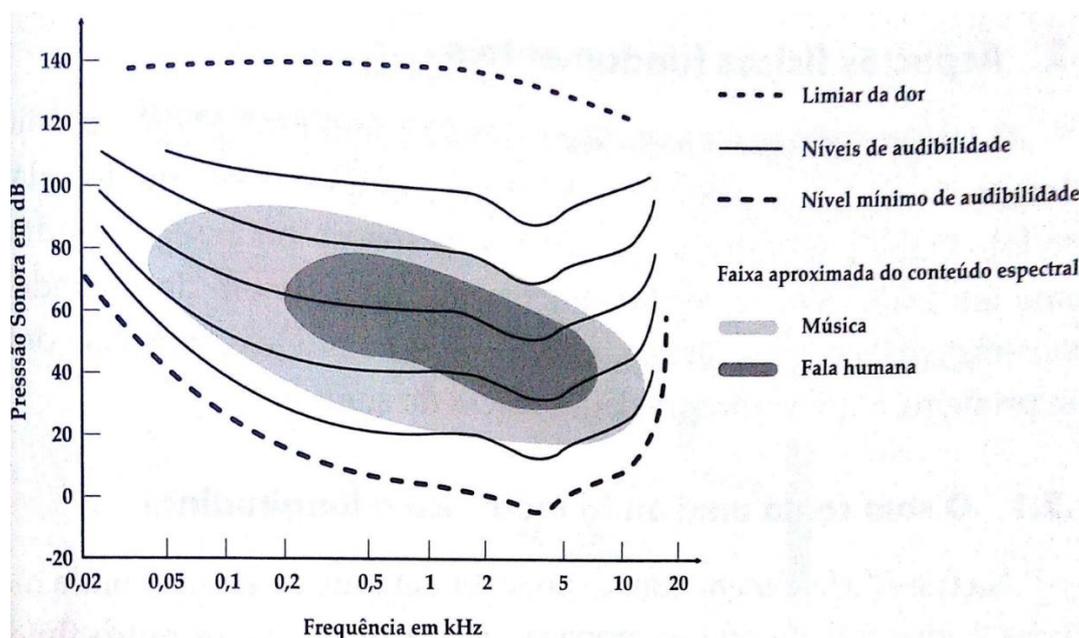
A pesquisa bibliográfica foi direcionada a busca para trabalhos relacionados ao conforto acústico de salas de aula e seu impacto nos alunos e professores, foram encontrados artigos que, em sua maioria, relatam a existência de salas de aula com deficiências nos parâmetros que definem uma boa qualidade acústica para o ensino aprendizagem. A partir destas informações são necessários o conhecimento de parâmetros descritos no presente capítulo para correta avaliação das salas de aula.

### 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A ACÚSTICA

#### 2.1.1 Som

Os sons fazem parte da vida da maioria das pessoas. Brandão (2016) em seus estudos afirma que o processo do som chegar ao nosso sistema auditivo, passar pelas orelhas e antes de chegar ao cérebro é chamado de “sensação auditiva”. Já quando a informação está relacionada a forma como o indivíduo compreende que é quando a informação chega ao córtex e é interpretada se torna a “percepção auditiva”.

Os seres humanos são capazes de escutar sons com frequência que vão de 20 Hz e 20000 Hz conforme a Figura 1, na qual estão destacadas a faixa da música e da fala.



## Figura 1 - Curvas de níveis de audibilidade da audição humana

Fonte: Brandão (2016)

O som é percebido como um ritmo. Sons com frequência baixa são entendidos como graves e estão no limite inferior onde as frequências são menores. A medida que a frequência aumenta por segundo, fica cada vez mais difícil perceber a pulsação já que as quantidades de oscilações por segundo ficam acima de nossa capacidade de processamento e são entendidos como sons agudos.

Para a avaliação acústica de salas de aula foram detalhados com maior profundidade os parâmetros acústicos: Tempo de Reverberação (TR); ruído de fundo (RF), relação sinal e ruído (S-R) e a inteligibilidade da fala (STI e %ALCons).

### **2.1.2 Tempo de reverberação**

O tempo de reverberação de um ambiente é definido como o intervalo de tempo, em segundos, que o nível de pressão sonora leva para decair 60 decibéis (dB) a partir da interrupção da fonte (SABINE, 1992).

Um dos principais parâmetros de medida acústica e que mais influência na inteligibilidade da palavra é o tempo de reverberação (TR).

Portanto, quanto maior o coeficiente de absorção dos materiais da sala menor será o tempo de reverberação do ambiente.

Segundo Eniz (2004) quando a sala de aula possui reverberação acima do necessário este efeito afeta de forma negativa os sinais da fala, na qual ocorre a sobreposição dos sons refletidos e diretos e, portanto, mascara as mensagens pretendidas pelos professores.

A obtenção dos valores de tempo de reverberação pode ser calculada por meio de equações matemáticas e de medições com instrumentação adequada conforme será descrita na metodologia. A equação mais difundida para o cálculo do tempo de reverberação surgiu no final do século XIX.

Sabine (1992) estudou os critérios para estabelecer condições acústicas satisfatórias e desenvolveu a primeira fórmula para o cálculo do tempo de reverberação, a qual recebeu seu sobrenome. A Equação 1 é dada por:

$$T_r = 0.163 \frac{V}{\sum S\alpha} \quad (1)$$

onde:

$T_r$  = tempo de reverberação do recinto (s);

$V$  = volume da sala ( $m^3$ );

$\sum S\alpha$  = somatório das áreas das superfícies multiplicadas pelo coeficiente de absorção.

O trabalho pioneiro de Sabine (1922) possuía uma técnica na qual utilizava modelos de salas em escala e técnicas fotográficas para obter uma visualização da propagação das ondas sonoras nas salas estudadas. Ao longo do tempo os modelos continuavam sendo utilizados, enquanto a técnica fotográfica foi substituída por técnicas baseadas a *laser*. A grande dificuldade na utilização destes modelos em escala era a construção das maquetes que não representava fielmente a absorção dos materiais, com isso, modelos computacionais tendem a não possuir esta limitação e possibilita diversas modelagens com diferentes materiais.

Após alguns anos foram apresentadas outras expressões que tiveram como base a fórmula de Sabine para o cálculo do TR. Eyring verificou que na fórmula de Sabine quando o  $\sum S\alpha=1$ , a absorção do ambiente é total, o TR não é nulo, propondo a Equação 2 para o TR (BISTAFA e BRADLEY, 2000):

$$T_R = 0.163 \frac{V}{S \ln(1 - \alpha)} \quad (2)$$

Onde:

$T_r$  = tempo de reverberação do recinto (s);

$V$  = volume da sala ( $m^3$ );

$S$  = área das superfícies;

$\alpha$  = coeficiente de absorção.

Uma maneira simples de detectar se uma sala é ou não reverberante é bater as palmas no centro da sala e ouvir o prolongamento do som, se este for comprido é sinal que

existe excesso de reverberação. Na Figura 2 o tempo de reverberação é representado graficamente.

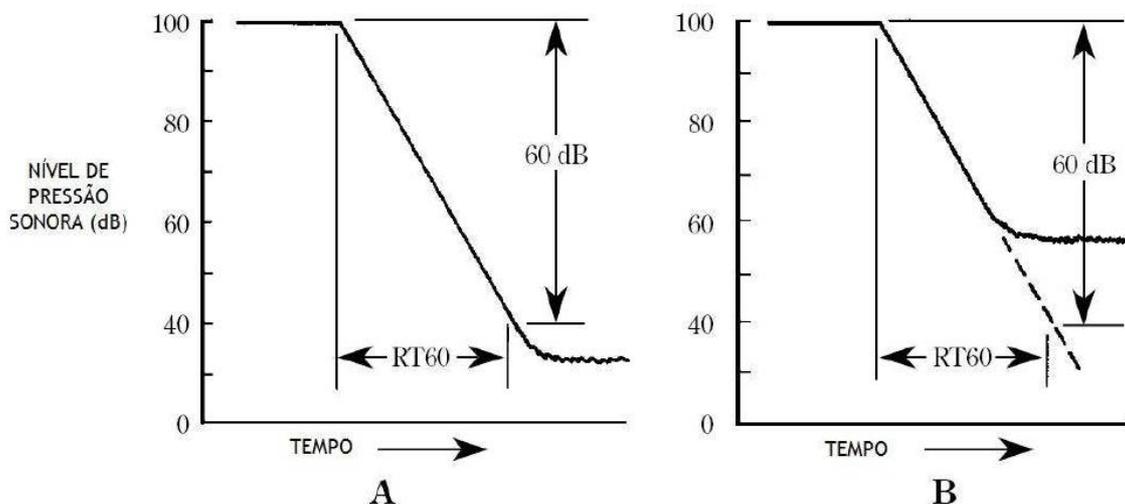


Figura 2 - Representação gráfica do tempo de reverberação

Fonte: Everest (2001)

Na ausência de valores normativos específicos para sala de aula, segue na Tabela 1 parâmetros de outros países.

Tabela 1 - Tempos de reverberação recomendados para salas de aula em diferentes países

País	Norma	Tempo de Reverberação (s)	Observação
Portugal	Lei 251/87	1,0	125-250 Hz
		0,6-0,8	500-4000Hz
França	-	0,4-0,8	Salas até 250 m <sup>3</sup> , 500-2000Hz
Reino Unido	BB 87	0,4-0,8	Salas entre 72 e 210m <sup>3</sup>
Reino Unido	BS 8205	1,0	Aulas práticas <1000m <sup>3</sup>
Estados Unidos	ANSI	0,6-0,7	S/R ≥ 15 dB(A)
Estados Unidos	ASHA	0,4	S/R ≥ 15 dB(A)
Finlândia	-	0,6-0,9	-
Itália	-	0,5-2,0	Depende da freq. e vol.
OMS	-	0,6	Frequência 500Hz
Bélgica	-	0,9-1,5	Salas entre 100 e 1000m <sup>3</sup>
Japão	-	0,5-0,7	-
Suécia	-	0,5-0,8	-
Suíça	SAI181/11	0,6-1,0	-

NOTA: Onde S/R é a relação sinal/ ruído para o ambiente avaliado.

Fonte: Vallet (2000), Viveiros et al. (2002), Karabiber et al. (2003)

Enquanto avalia-se o TR das salas, também deve-se levar em consideração as reflexões provocadas por ela. A reflexão de um som é o prolongamento da onda sonora

após este se ter deparado com uma barreira refletora. Como já mencionado anteriormente a inteligibilidade da palavra é prejudicada na existência de eco ou reflexão no espaço e isto ocorre com o prolongamento do som que torna a sala mais reverberante.

### 2.1.3 Ruído de fundo

De acordo com Losso (2003) o ruído de fundo em uma sala de aula é todo aquele ruído além da voz do professor, na qual, todas as interferências dentro e fora da sala contribuem com este valor.

Como referência, vale citar os níveis de ruído de fundo recomendados para salas de aula em diversos países apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Níveis de ruído de fundo recomendados para salas de aula em diferentes países

<b>País</b>	<b>Critério</b>	<b>Ano</b>	<b>Nível Limite dB(A)</b>
Austrália	LAeq	2000	30-35
Bélgica (1)	LAeq	1977/1987	30-45
Brasil (NBR 10152)	LAeq	2017	35-40
França	LAeq	1995/2002	38
Alemanha (DIN 4109)	LAeq, LAmax	1987	30-40 / 40-50
Grécia	LAeq	1989	30-35
OMS	LAeq	-	35
Itália	LAeq	1975	36
Japão	LAeq	1997	40-45
Finlândia	LAeq	-	35
Holanda	LAeq	2001	30
Nova Zelândia	LAeq	2000	30-35
Portugal (Lei 251)	LAeq	1987	35
Espanha	LAeq	1982	40/40
Suécia (2)	LAeq	1995/2001	26-40 classe A, 30-45 classe B/C, 30-50 classe D
Turquia	LAeq	1986	45
Reino Unido (BB87)	LAeq	-	40 (aulas expositivas) 45 (aulas práticas)
Reino Unido (BS8205)	LAeq	-	45 (aulas práticas < 1000m <sup>3</sup> )
EUA (ANSI)	LAeq	2002	35-40
EUA (ASHA)	LAeq	-	30
EUA (ASHRAE)	LAeq	-	45

NOTAS: O nível limite do ruído de fundo depende da classe do ruído da área externa, classificados em 4 categorias: 1. LAeq < 55 dB(A), 2. 55 dB(A) < LAeq < 65 dB(A), 3. 65 dB(A) < LAeq < 75 dB(A), 4. LAeq > 75 dB(A). Classe A, padrão de som muito alto; Classe B, padrão de som alto; Classe C, padrão de som normal; Classe D, padrão de som baixo.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2006)

Como o ruído de fundo é um parâmetro fundamental para análise do nível de inteligibilidade do espaço avaliado, a Tabela 2 apresenta os limites normativos tanto no Brasil quanto em outros países.

### 2.1.1 Relação sinal e ruído (S-R)

A relação Sinal e Ruído (S-R) pode ser definida sendo a diferença entre o sinal acústico da fonte sonora e o nível de pressão sonora do ambiente conforme Figura 3. Segundo BENTLER (2000) é o que mais interfere numa sala de aula. No presente estudo que são salas de aula, o sinal (S) é a voz do orador (professor) e (R) é o ruído de fundo existente, quanto maior o valor desta relação (S-R), melhor é a comunicação dentro do ambiente e quanto mais próxima do zero ou negativa, pior é a situação para que os alunos possam entender a fala do professor.

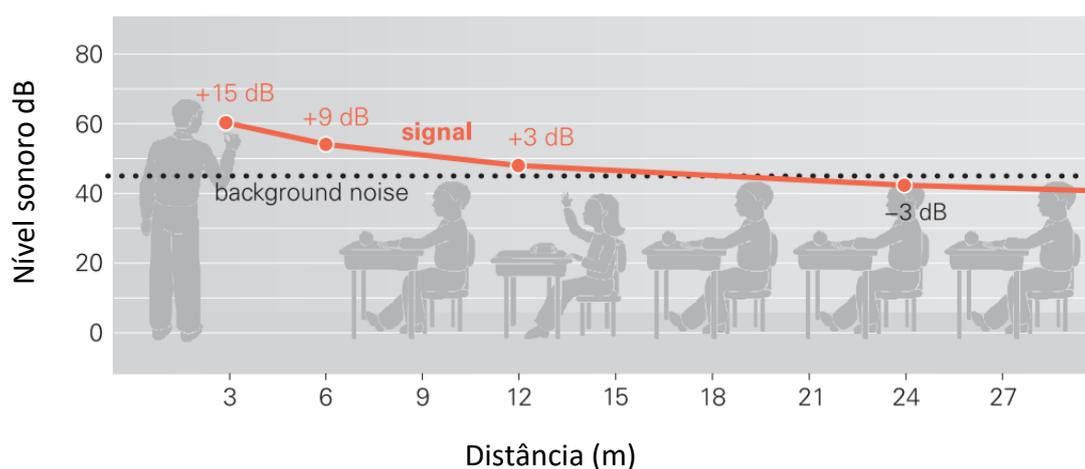


Figura 3 - Relação entre a voz e o ruído de fundo em uma sala de aula

Fonte: Guckelberger (2003)

Pelo princípio físico que a intensidade sonora decresce 6 dB com o dobro da distância à fonte, é evidente que a relação S-R será maior nos alunos que estão perto do professor.

### 2.1.2 Inteligibilidade da fala

A inteligibilidade pode ser definida por um conceito genérico, sendo assim, pode ser definido como a razão pelo qual se entendem os sons.

Segundo Uría (2005) a inteligibilidade pode ser aplicada em diversas situações como ao canto, a música e a palavra articulada que é o caso em estudo deste trabalho. A inteligibilidade da linguagem é mais usual, uma vez que a voz é o som ouvido em mais de 90% das vezes no dia-a-dia de uma pessoa.

Neste contexto são as consoantes que determinam a compreensão da mensagem oral e a informação contida nas vogais possui menor relevância. Desta forma o grau de inteligibilidade da fala está estreitamente relacionado com a correta percepção das consoantes em altas frequências.

Para que o conforto acústico seja correto em uma sala é necessário evitar a existência de ecos que na maioria dos casos está relacionada com a geometria inadequada da sala. Assim, segundo Uría (2005) deve-se evitar a existência de grandes paredes paralelas refletivas, aplicando-se uma pequena inclinação (da ordem de  $5^\circ$ ) a uma das duas paredes ou, então, aplicar um material absorvente pelo menos sobre uma das duas paredes problemáticas.

Para o cálculo da inteligibilidade em uma sala é necessário o conhecimento do fator de diretividade  $Q$ . Este fator é definido a partir da relação do nível de pressão sonora de uma fonte na direção considerada e do nível que se obteria se a fonte não fosse direta.

O nível de pressão sonora entre vogais e consoantes pode variar em até 28 dB de acordo com Andrade (2009). A duração média de tempo de pronunciamento das vogais é cerca de 90 ms enquanto as consoantes numa média de cerca de 20 ms. Neste caso a perda da inteligibilidade é causada em casos de elevados TR, e a diferença entre vogais e consoantes faz com que as últimas sejam “apagadas” pelas primeiras. Em termos de direcionalidade, a voz humana emite referencialmente para a frente do emissor, variando a direção com uma amplitude aproximada a  $140^\circ$  conforme Figura 4.

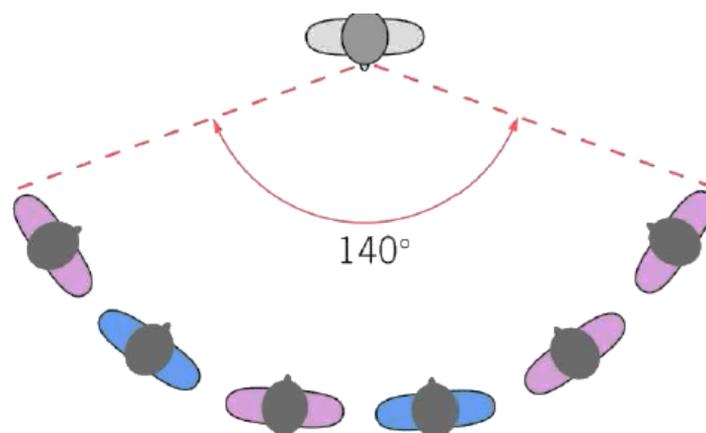


Figura 4 - Diretividade da fala

Fonte: BB93 (2003)

A Tabela 3 resume a variabilidade de emissão entre vogais e consoantes conforme descrito anteriormente.

Tabela 3 – Variabilidade de emissão entre vogais e consoantes

TIPO	FREQUENCIA	INTENSIDADE	DURAÇÃO	DIRECIONALIDADE
Vogais	Baixas	Elevado	≈ 90ms	-5 dB p/ -180°
Consoantes	Altas	Baixo	≈ 20ms	-20 dB p/ -180°

Fonte: Andrade (2009)

Para Uría (2005) a direção frontal é considerada de maior diretividade para a voz humana devido ao sistema de fonação e da forma da cabeça. Embora a diretividade aumente com a frequência, para efeitos práticos se considera que o fator de diretividade da voz humana direção frontal é  $Q = 2$ .

Todos os fatores acústicos como por exemplo o ruído de fundo e a reverberação podem ser resumidos em apenas um parâmetro: a inteligibilidade da voz, que pode ser definida como a porcentagem de fonemas entendidos pelo receptor (FERNANDES, 2000).

A inteligibilidade da fala relaciona-se com a relação S-R, pois quanto maior for o Sinal Ruído, maior será a inteligibilidade, como demonstra a Figura 5.

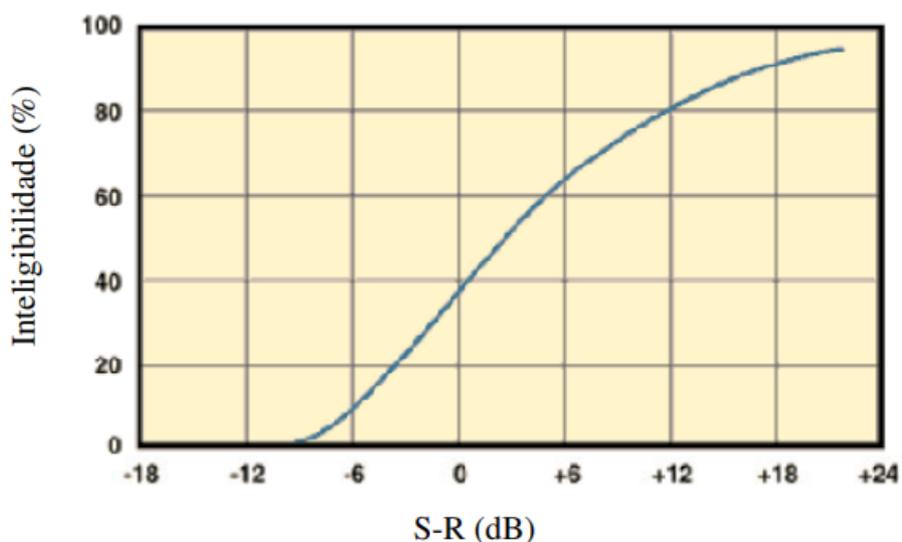


Figura 5 - Inteligibilidade da fala em função da relação S-R

Fonte: Meyer Sound Laboratories (1998)

Na pesquisa de Peutz (1971) realizada na década de 1970 estabeleceu uma fórmula para o cálculo da inteligibilidade, determinou a Porcentagem de Perda de Articulação de Consoantes, o que é o mesmo que %ALCons (*Articulation Loss of Consonants*), podendo dizer que ao se tratar de um parâmetro indicativo de uma perda, quanto maior for o valor, pior será o grau de inteligibilidade existente. Posteriormente Peutz (1971), em um segundo momento da pesquisa, concluiu que o valor de %ALCons podia ser determinado a partir do conhecimento do tempo de reverberação e da diferença de níveis de pressão sonora do campo direto e do campo reverberante em um determinado ponto.

Para avaliação da inteligibilidade pode ser utilizado o método de ALCons ou uma versão mais atual e melhorada do índice de articulação que é o STI – Índice de transmissão da Fala, que vem descrito na norma americana ABNT NBR IEC 60268-16:2018. A Tabela 4 relaciona os valores da %ALCons com os valores do STI de forma subjetiva.

Tabela 4 - Relação entre os valores da %ALCons e o STI face a inteligibilidade

ALCons	STI/RASTI	Inteligibilidade
≤3	0,75-1	Excelente
7-3	0,6-0,75	Bom
15-7	0,6-0,45	Aceitável
34-15	0,45-0,3	Regular
≥34	0-0,3	Ruim

Fonte: (ABNT NBR IEC 60268-16, 2018) adaptado pela autora.

A inteligibilidade pode ser expressa em termos de porcentagem, sendo que quanto maior o índice, maior a compreensão do sinal acústico.

Como exemplo, após a análise dos dados obtidos em uma sala for de 85% de acerto de um ditado, então se considera que a perda de informação seja de 15%. Como tal perda se associará a uma percepção incorreta das consoantes, Peutz (1971) denomina de Percentual de Perda da Articulação de Consoantes (%ALCons = 15%), que é um parâmetro indicativo da perda na qual no seu trabalho mediu a inteligibilidade da fala usando palavras foneticamente balanceadas da língua holandesa. Concluindo, quanto maior for a %ALCons, pior será o grau de inteligibilidade existente (CARRIÓN, 2001).

A inteligibilidade consiste na determinação da diferença do NPS ( $L_D - L_R$ ), entre os valores obtidos para os campos direto e reverberante, mediante o uso da Equação 3, juntamente com o valor do Tempo de Reverberação para a banda de oitava correspondente à frequência central de 2 kHz para determinar o valor de %ALCons.

Para a determinação da diferencia do NPS ( $L_D-L_R$ ) é utilizada a Equação 3:

$$L_D - L_R = 10 \log \left( \frac{Q \cdot R}{r^2} \right) - 17 dB \quad (3)$$

Onde o valor de  $Q=2$  Fator de Diretividade da fonte sonora na direção considerada ( $Q=2$  no caso da voz humana, considerando a direção frontal do orador).

O valor da Constante da Sala é expresso pela Equação 4.

$$R = \frac{S_T \bar{\alpha}}{(1 - \alpha)} \quad (4)$$

O cálculo do Tempo de Reverberação considera os valores de  $\alpha$  para a banda de frequência de 2kHz (maior contribuição a fala) obtendo o valor a partir da Equação 5.

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum(S\alpha)}{S_T} \quad (5)$$

O valor de  $r$  é considerado pela distância desde a fonte sonora (voz do professor) até o aluno localizado na última fila.

A Classificação da Inteligibilidade se faz por meio da análise da Figura 6 que permite determinar o valor de %ALCons (eixo de ordenadas esquerdo) a partir dos valores de  $TR$  (eixo de ordenadas direito) e da diferença  $LD - LR$  (eixo das abscissas).

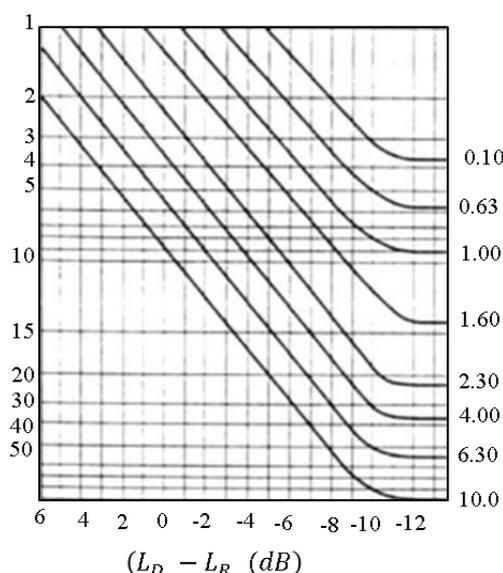


Figura 6 - Obtenção da %ALCons a partir de  $TR$  e de  $LD - LR$ .  
Fonte: URÍA (2005)

## 2.2 NORMAS TÉCNICAS SOBRE ACÚSTICA

### 2.2.1 ABNT NBR 10151:2003

A NBR 10151:2003 tem como objetivo fixar condições para avaliação do ruído em comunidades. Essa norma especifica um método para medição do ruído e apresenta critérios para avaliação dos ruídos externos.

Na referida norma, pode-se observar os valores referentes ao nível de conforto acústico na área das escolas é de 50 dB no horário diurno e 45 no horário noturno, conforme Tabela 5. O nível corrigido  $L_C$  para ruído sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente,  $L_{Aeq}$ .

Tabela 5 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

TIPOS DE ÁREAS	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35

Área estritamente residencial ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT NBR 10151:2003

### 2.2.2 ABNT NBR 10152:2017

Os níveis de ruído de fundo para o conforto acústico em ambientes diversos são descritos na NBR 10152:1992. Na referida norma, observa-se que os valores referentes ao nível de conforto acústico em diferentes áreas internas das escolas podem ser analisados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores dB(A) e NC segundo a ABNT NBR 10152:2017

Finalidade de uso	Valores de referência		
	$RL_{Aeq}$ (dB)	$RL_{ASmax}$ (dB)	$RL_{NC}$ (dB)
<b>Educacionais</b>			
Circulações	50	55	45
Berçário	40	45	35
Salas de aula	35	40	30
Salas de música	35	40	30

Fonte: ABNT NBR 10152:2017, adaptado pela autora

Para fins de avaliação sonora, considera-se adequado para uso o ambiente cujos níveis de pressão sonora representativos sejam iguais ou inferiores aos valores de referência apresentados na Tabela 6, admitindo-se uma tolerância de até 5 dB para  $RL_{Aeq}$  e  $RL_{ASmax}$  e até 5 dB para  $RL_{NC}$ . Os valores de  $RL_{ASmax}$  devem ser considerados apenas quando a fonte sonora, objeto de avaliação, for parte integrante da própria edificação onde situa-se o ambiente avaliado.

### 2.2.3 ABNT NBR 12179:1992

A NBR 12179:1992 estabelece os níveis de isolamento e condicionamento de diversos componentes na qual devem ser verificados e confrontados com as normas ABNT NBR 10151:2003 e ABNT NBR 10152:2017.

Segundo a referida norma, após o cálculo do condicionamento acústico os resultados obtidos devem ser abaixo da curva do tempo ótimo de reverberação destacado na Figura 7, que definem o valor necessário para cada volume de espaço avaliado.

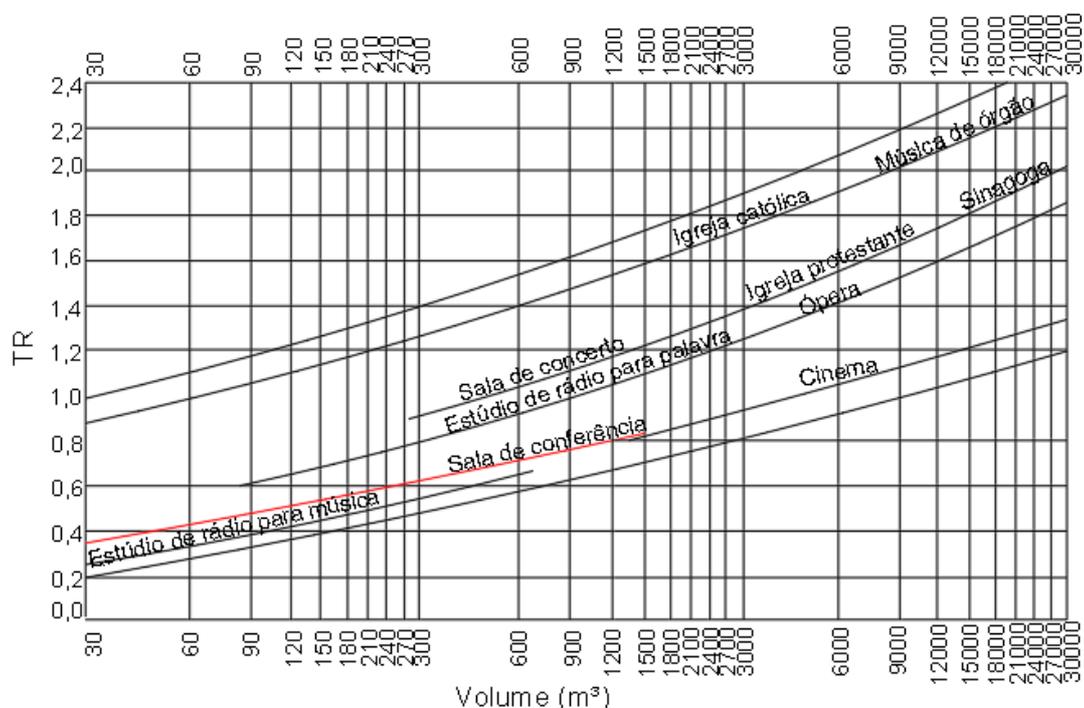


Figura 7 - Tempo ótimo de reverberação  
 Fonte: Adaptado da ABNT NBR 12179:1992

As salas de aula foram classificadas como uma sala de conferência e os valores do tempo de reverberação devem seguir os limites normativos de acordo com a linha destacada.

#### 2.2.4 ANSI/ASA S12.60:2002

A ANSI S12.60 (2010) estabelece critérios para o desempenho acústico em ambientes destinados ao aprendizado na qual se constitui em diretrizes de projeto para edificações escolares em que os valores podem ser consultados na Tabela 7. Os níveis sonoros acima de 70dB(A) nestes locais geram interferências na comunicação entre professor e aluno. Níveis sonoros próximos a 80dB(A) são tolerados apenas em locais de atividades em grupo ou em refeitórios e ginásios.

Tabela 7 - Valores máximos de ruído e tempo de reverberação para ambientes de aprendizado mobiliados e desocupados

Sala de aula (m³)	Nível equivalente ao longo de uma hora, em dB(A)	Tempo máximo de reverberação nas frequências 500, 1000 e 2000 HZ
Volume <283	35	0,6

283 > volume < 566	35	0,7
Volume > 566 e todos os ambientes de aprendizado auxiliares	40*	*

\* Quando corredores não provém acesso para as salas de aulas, estes níveis podem ser aumentados para 45dB(A).

Fonte: ANSI S12.60:2010, adaptado pela autora

### 2.2.5 ABNT NBR IEC 60268-16:2018

A fala é o nosso principal método de comunicação. Portanto, é importante que a fala pronunciada seja recebida de forma inteligível. A inteligibilidade da fala depende (em parte) das propriedades acústicas do recinto em que a fala é transmitida do locutor para o ouvinte. A ABNT NBR IEC 60268-16:2018 regulamenta a obtenção do STI que avalia a perda na modulação e calcula a relação sinal-ruído eficaz em cada oitava independentemente das outras bandas de oitava.

A Figura 8 apresenta exemplos de categorias para qualificação do STI e aplicações típicas de locais de acordo com a ABNT NBR IEC 60268-16:2018, em que o STI mínimo para as salas de aula avaliadas no presente estudo se enquadra na categoria D.

<b>Categoria</b>	<b>Valor STI nominal</b>	<b>Tipo de informação da mensagem</b>	<b>Exemplos de usos típicos (para vozes naturais ou reproduzidas)</b>	<b>Comentário</b>
A+	>0,76		Estúdios de gravação	Inteligibilidade excelente, mas dificilmente obtido na maioria dos ambientes
A	0,74	Mensagens complexas, palavras não familiares	Teatros, auditórios, parlamentos, tribunais, Sistemas Auxiliares de Audição (AHS)	Alta inteligibilidade de fala
B	0,7	Mensagens complexas, palavras não familiares		
C	0,66	Mensagens complexas, palavras não familiares	Teatros, auditórios, teleconferências, parlamentos, tribunais	Alta inteligibilidade de fala
D	0,62	Mensagens complexas, palavras não familiares	Salas de palestra, salas de aula, salas de música	Boa inteligibilidade de fala
E	0,58	Mensagens complexas, contexto familiar	Salas de música, igrejas contemporâneas	Sistemas de reforço sonoro de alta qualidade
F	0,54	Mensagens complexas, contexto familiar	Sistemas de chamadas em <i>shopping centers</i> , edifícios comerciais, sistemas de alarme de voz (VA), catedrais	Sistemas de reforço sonoro de boa qualidade
G	0,5	Mensagens complexas, contexto familiar	<i>Shopping centers</i> , edifícios comerciais, sistemas de VA	Valor de meta para sistemas de alarme de voz (VA)
H	0,46	Mensagens simples, contexto familiar	Sistemas de reforço sonoro a alarme de voz em ambientes acústicos difíceis	Limite inferior usual para sistemas de alarme de voz (VA)
I	0,42	Mensagens simples, contexto familiar	Sistemas de reforço sonoro a alarme de voz em espaços muito difíceis	
J	0,38		Inadequado para sistemas de reforço sonoro	
U			Inadequado para sistemas de reforço sonoro	

NOTA 1 Convém que estes valores sejam considerados como valores mínimos de meta.  
NOTA 2 A inteligibilidade percebida em relação a cada categoria depende também da resposta de frequência em cada posição de escuta.  
NOTA 3 Os valores STI referem-se aos valores medidos em posições de escuta, escolhidos aleatoriamente ou conforme requeridos por normas de aplicação específicas.  
NOTA 4 Na ausência de similaridade descritiva entre um espaço e alguns dos citados acima, sugere-se um valor STI nominal mínimo de 0,5.  
NOTA 5 Em qualquer área objeto do projeto o resultado da medição deve atender à qualificação.

Figura 8 - Exemplos de categorias para qualificação do STI e aplicações típicas de locais

Fonte: ABNT NBR IEC 60268-16:2018, adaptado pela autora.

### 2.3 ESTUDOS REALIZADOS SOBRE A ACÚSTICA

Segundo Carrion (2001) a primeira referência escrita onde se conjugam critérios acústicos e arquitetônicos corresponde ao romano Vitruvio no século I A.C. A geometria dos teatros gregos (em forma de leque) e dos romanos (a clássica arena) estava baseada em uma definição prévia da acústica, mas adequada em cada caso; no entanto, até finais do século XIX, a acústica era considerada uma ciência imprecisa e interpretada de forma errônea, uma antiga crença, de que a acústica de uma sala melhora com o tempo, como se fosse um bom vinho.

Em todas as épocas se construíram salas, com melhor ou pior acústica. As salas consideradas excelentes foram que resistiram ao tempo. Por outro lado, o resultado

alcançado nesses projetos deve-se a combinação de intuição, experiência e boa sorte na escolha das formas e materiais construtivos (CARRION, 2001).

Apesar dos estudos limitados sobre este campo, os primeiros compositores escreveram suas músicas pensando no local onde seria realizada a apresentação, e até mesmo adaptaram de modo que o resultado final fosse ótimo. Portanto os projetos seguiam as necessidades específicas de cada local e assim formar uma perfeita conjunção entre forma e função. A evolução da arquitetura da igreja protestante constitui um bom exemplo do efeito das exigências acústicas sobre o volume da sala. Quando o sermão se converteu em um elemento primordial do serviço, o volume da igreja de nova construção foi reduzido, conseguindo assim uma melhor compreensão da palavra como consequência da diminuição da reverberação conforme ressaltado pelo estudo de Carrion (2001).

Ainda nos dias atuais é utilizada como referência a o livro *Theory of Sound* (Teoria do Som) que contém os fundamentos teóricos desta ciência. Em uma época representada por descobrimentos revolucionários no campo como da física atômica, o progresso da acústica, que pretende explicar um fenômeno tão cotidiano como o desempenho do som em um recinto, fosse tão lento. Carrion (2001) destaca que a explicação para a demora deste avanço pode-se elencar como motivo principal a falta de equipamentos eletrônicos que pudesse mensurar as medições objetivas. O único sistema disponível era o ouvido humano, porém como o corpo humano possui uma rápida adaptação a qualquer tipo de recinto com independência de seu comportamento acústico impossibilitava seu uso como instrumento de medida.

Segundo Carrion (2001) em 1895 Sabine começou seu trabalho pioneiro encaminhado na aplicação da acústica na arquitetura e em 1898, encontrou a justificativa analítica para os resultados de seus estudos acústicos da nova Boston Music Hall, descobriu que seus cálculos levava a uma hipérbole e que a reverberação de um recinto é inversamente proporcional à quantidade da absorção sonora do mesmo. Neste momento nascia a equação de reverberação de Sabine, utilizada universalmente até nos dias atuais como parâmetro fundamental para a caracterização acústica de uma sala.

Com a prematura morte de Sabine, em 1919 a acústica se consolida como uma nova ciência, com posterioridade essencialmente pelo desenvolvimento da tecnologia de microfones, amplificadores a válvulas e sua utilização como ferramenta habitual nos trabalhos de

campo. Subsequentemente, com a evolução dos equipamentos eletrônicos de medição, foi possível relacionar uma série de parâmetros subjetivos tais como: inteligibilidade da palavra, clareza musical, reverberação, envolvimento espacial do som ou intimidade acústica com outros parâmetros objetivos obtidos diretamente a partir das medições *in loco*.

No início da década de 1980 foram usados principalmente dois sistemas completamente diferentes, embora complementares: modelos e programas de computador. Os modelos são construídos em escala que permitem estudar o comportamento das ondas sonoras no interior das maquetes. No entanto, o espaço necessário para a sua localização, o custo e o tempo de construção, e principalmente após a fabricação de softwares projetados especificamente para aplicações nos campos da acústica e de reforço sonoro, tornaram praticamente circunscrito a utilização em grandes projetos.

Este avanço tecnológico foi um salto qualitativo importante na melhoria das previsões efetuadas em relação aos resultados acústicos do recinto construído. Na fase de análise, eles permitem prever com um alto grau de confiabilidade qual será o comportamento acústico de uma sala, a partir do conhecimento das formas e materiais propostos como acabamentos interiores do mesmo.

### **2.3.1 ACÚSTICA DE SALAS**

A correta avaliação da acústica de salas para fala ocorre na análise de médias e altas frequências e para isso é necessário a criação de ferramentas adequadas para tratar o problema. Neste caso existem duas formas, a primeira é a acústica geométrica e a segunda a utilização da teoria estatística em acústica de salas.

Neste trabalho somente será abordado a acústica geométrica que segundo Brandão (2016) enfatiza que para a implementação prática requer um software dedicado como ODEON, EASE, CATT, RAIOS etc.

A qualidade interna de parâmetros como lumínico e térmico estão associados diretamente a performance dos alunos e a satisfação com o curso em questão. Segundo Choi et al. (2014) a aceitação dos alunos está ligada diretamente a qualidade da sala de aula após ser relacionada ao sucesso de alunos em métricas estudantis nos EUA.

Em geral, nos ambientes escolares a fala e a audição são a base para toda a comunicação, o que torna impossível providenciar uma educação apropriada com excesso de ruído ou reverberação nas salas de aula. Para a concepção deste tipo de espaço com a devida qualidade acústica, é fundamental seguir determinadas diretrizes acústicas, tais como, o estudo do tempo de reverberação, das reflexões indesejáveis e das fontes de ruído internas e externas. No Brasil, no entanto, é raro encontrar uma sala de aula com boas condições acústicas. Segundo Andrade (2009), todos estes fatores contribuem diretamente para a inteligibilidade da palavra que podem ser quantificados por meio de métodos subjetivos e objetivos.

### **2.3.2 ESTUDOS REALIZADOS SOBRE ACÚSTICA NO ENSINO-APRENDIZAGEM**

As atividades principais em uma universidade são baseadas na comunicação verbal. Para assegurar boa condição acústica para a palavra falada o desempenho acústico de salas de aula deve ser considerado no lançamento do projeto arquitetônico, visto que o espaço é destinado à realização de tarefas que exigem alto nível de concentração.

Segundo Uría (2005), no desempenho acadêmico, o rendimento dos estudos comporta a interferência do ruído nas atividades educacionais e no aproveitamento escolar, e neste caso, a importância está na reflexão destes efeitos na capacidade de atenção do aluno que reduz o rendimento tanto físico como intelectual.

Do outro lado tem-se os problemas vocais dos professores que ainda segundo Uría (2005), são danos ocasionados pelo esforço de melhorar o grau de inteligibilidade. Por isso, qualquer problema em sua capacidade de transmissão do conhecimento ocasionará prejuízos para o(a) próprio(a) professor(a) e para os alunos, que terão maiores dificuldades em absorver o que está sendo proferido.

Uría (2005) analisou seis salas de aula em uma escola pública e concluiu que todas as salas de aula estudadas acerca dos parâmetros de nível de pressão sonora, ruído de fundo, tempo de reverberação e inteligibilidade da fala. Após as análises concluiu que todas as salas encontram-se inadequadas para a atividade na qual se destinam.

Enquanto que Ferreira (2010) analisou 15 salas de aula, sendo 8 construídas na década de 1960 e 7 construídas no ano de 2000. No seu estudo, concluiu que as salas construídas na

década de 1960 apresentaram condições acústicas satisfatórias, já as salas construídas em 2000 não estão de acordo com os valores recomendados pelas normas em nenhuma das situações de uso.

Andrade (2009) determinou os mesmos parâmetros que Uría (2005) porém em salas de duas tipologias sendo uma fixa e outra modular e concluiu que as salas se encontram também inadequadas. Porém em seu estudo comprovou que tais parâmetros podem ser corrigidos com a adição de matérias acústicos.

O estudo de Guidini et al. (2012) teve como objetivo verificar se há uma relação entre o ruído ambiental com a intensidade da voz e alterações vocais dos professores por meio de medições sonoras. Os resultados apontam que existe uma relação entre o ruído ambiental e alterações vocais em 70% dos professores. O resultado da medição sonora, sem alunos, ficou entre 41 dB(A) a 50 dB(A), e com a presença das crianças, durante a aula, o nível sonoro ficou entre 45 dB(A) a 65 dB(A), demonstrando que os professores aumentam a intensidade de suas vozes devido ao ruído ambiental.

O estudo de Zannin et al. (2013) teve o objetivo de verificar os níveis de ruído dentro da Universidade Federal do Paraná. Foram realizados mapas acústicos que mostram que os níveis de ruído dentro da universidade ultrapassaram o limite de Leq 50 dB (A), que está acima da legislação vigente.

Todos os estudos apresentados confirmam que a qualidade acústica das salas de aula avaliadas não atende aos limites normativos e não possuem condições necessárias para que estes ambientes possam desempenhar seu principal objetivo, a saber, proporcionar meios para um ótimo nível de aprendizagem.

Neste sentido, a acústica de ambientes educacionais subsidia o processo de concepção do projeto arquitetônico, de forma a atender as necessidades de eficiência nos processos relativos a construção e manutenção dos prédios escolares.

## 2.4 HISTÓRICO DE CONSTRUÇÃO DO INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS (ICC)

### 2.4.1 Criação da universidade de Brasília

Com projeto arquitetônico de Oscar Niemeyer e João da Gama Filgueiras Lima, e calculado por Bruno Contarini, a Universidade de Brasília (UnB) teve o início de suas obras em 1962 e terminaram somente em 1967. O Campus Universitário Darcy Ribeiro, no Plano Piloto é a unidade central da UnB. O presente estudo está focado no Instituto Central de Ciências (ICC), é um prédio histórico do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília. A obra foi executada inteiramente com sistema pré-moldado, esta característica torna seus espaços altamente reverberantes por não possuir materiais porosos de revestimento.

### 2.4.2 Principais atores no projeto da universidade de Brasília

#### 2.4.2.1 João Filgueiras Lima – Lelé

O arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé) participou como protagonista de um dos momentos mais importantes do modernismo brasileiro, o nascimento de Brasília na qual pode ser observado na Figura 9, projetando, construindo e colaborando com outros arquitetos, como Oscar Niemeyer.

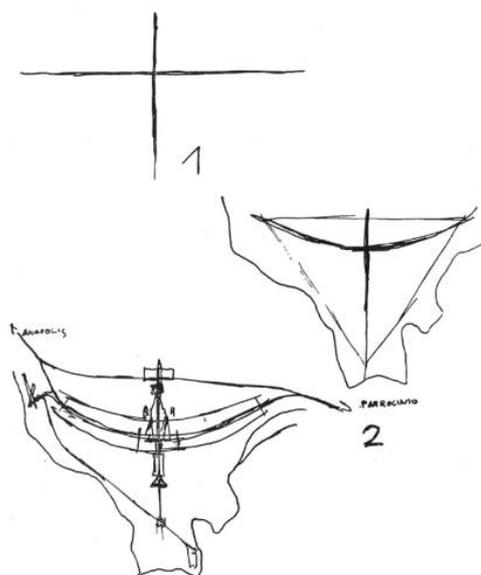


Figura 9 - Croqui de Brasília

Fonte: CODEPLAN (1991)

Para a construção de Brasília foi necessário adotar a pré-fabricação de peças em concreto. Após o conhecimento da técnica, a próxima experiência foi com a argamassa armada que foi um dos importantes objetos de pesquisa de Lelé. A inauguração do primeiro hospital da Rede Sarah Kubitschek em Brasília foi uma experiência importante da integração entre arquitetura e medicina.

Ainda utilizando a técnica de peças pré-moldadas Lelé utiliza um sistema de montagem altamente racionalizado. As obras em Abadiânia tornaram-se protótipos para a experiência que seguiu, a Fábrica de Escolas, na qual pode ser observado o esquema de montagem na Figura 10.

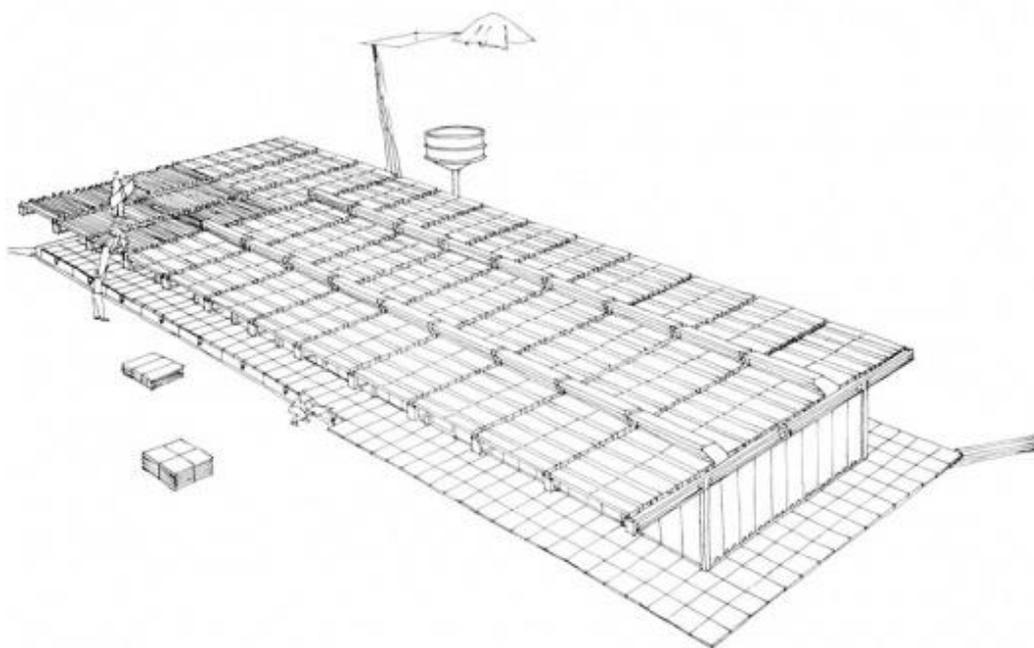


Figura 10 - Esquema de montagem da Escola rural para 50 alunos em Abadiânia -GO

Fonte: Ekerman (2005)

Um dos raciocínios importantes desta técnica é que é um sistema rápido além de útil na manutenção empregos da população local, que não perde os postos de trabalho, apesar da industrialização do processo, raciocínio que persiste até hoje. A ideia de que a repetição é a base de uma arquitetura industrializada viável foi comprovada quando em dois anos (1984-1986), permitiu ao arquiteto construir mais de duzentas escolas.

Como fundamentos para compreender os constituintes de uma arquitetura esteticamente limpa, racionalmente construída, ambientalmente responsável e socialmente engajada, que

se lança como expressão renovada por um novo conceito de modernidade as questões de alta tecnologia em arquitetura, eficiência energética, conforto ambiental, limites de recursos naturais, economia dos meios e sustentabilidade são tratadas por Lelé. Desta forma, estes conceitos podem ser visualizados na Figura 11 conforme destacado no croqui e perspectiva de uma de suas obras, o Sarah Fortaleza. Na obra destacada o arco que abriga os sete pavimentos do bloco de internação, criando um espaço ajardinado com dimensões generosas, voltado ao desenvolvimento de atividades terapêuticas, de lazer e convivência.

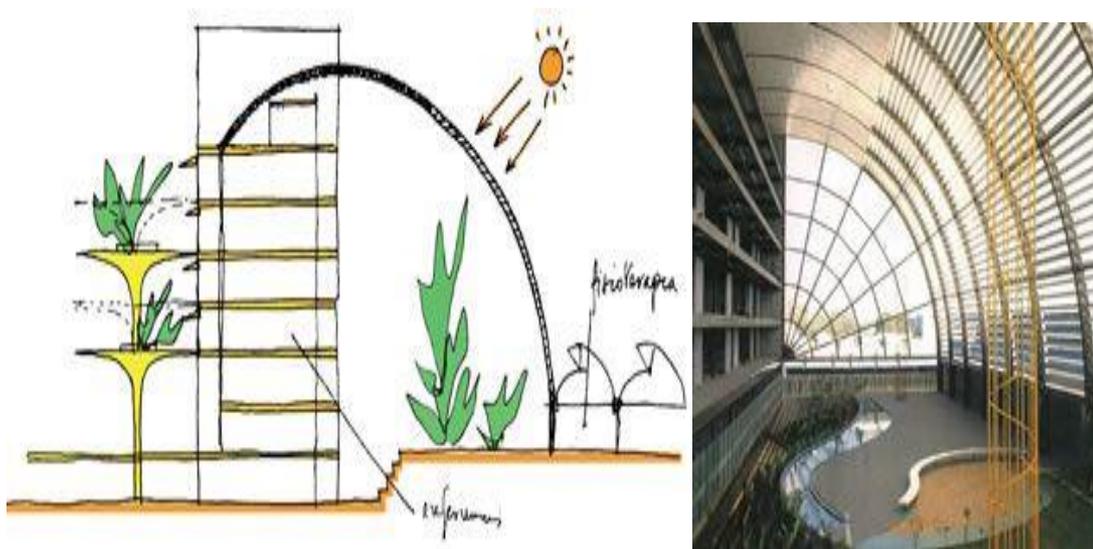


Figura 11 - Croquis e perspectiva do Sarah Fortaleza.

Fonte:<http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/244/lele-e-o-star-system-high-techa-obra-de-lele-318126-1.aspx> (2017)

#### 2.4.2.2 Bruno Contarini

Um pioneiro da engenharia brasileira moderna transforma os traços do mestre Oscar Niemeyer em grandes lajes suspensas, aço e concreto de formas ousadas com suas soluções estruturais para propostas arquitetônicas inovadoras.

Após inúmeros prédios pequenos construídos nos anos de 1960 pela equipe de Niemeyer, onde eram realizadas as primeiras aulas da UnB, foi realizado o projeto do ICC. Desde o início foi pensado em uma obra que fosse pré-fabricada e que pudesse ser adaptada para qualquer finalidade, desde as salas de aula até os laboratórios.

### 2.4.2.3 Oscar Niemeyer

No plano de 1962 do ICC houve grandes mudanças realizadas por Oscar Niemeyer. A principal proposta para o plano original de Lúcio Costa foi a unificação das oito unidades acadêmicas em um único edifício. Isto gerou uma economia muito grande pois no plano inicial eram previstas as infraestruturas para cada unidade acadêmica.

Houve algumas mudanças no projeto original da Universidade de Brasília, na qual o espaço entre as salas, teria coberturas de cascas de concreto de diversas formas. Além de não ter sido construído dois auditórios para quinhentas pessoas, isto deve-se ao aumento da ocupação do subsolo e da criação de uma rua interna que perpassa todo o prédio. Outra mudança significativa foi a forma de ocupação, inicialmente se daria de forma transversal no projeto original, mas foi feita de forma longitudinal. Com isso, inicialmente cada faculdade contaria com um trecho do bloco de auditórios e outro do bloco de laboratórios. Contudo, com a forma na qual foi ocupada os espaços destinados aos auditórios são salas de aula (FONSECA, 2007).

### 2.4.3 Instituto Central de Ciências

Os principais objetivos para criação da UnB eram o desenvolvimento de uma cultura e de uma tecnologia nacional ligadas ao projeto desenvolvimentista, na Figura 12 e na Figura 13 pode-se identificar a localização do Instituto Central de Ciências (ICC) em Brasília.

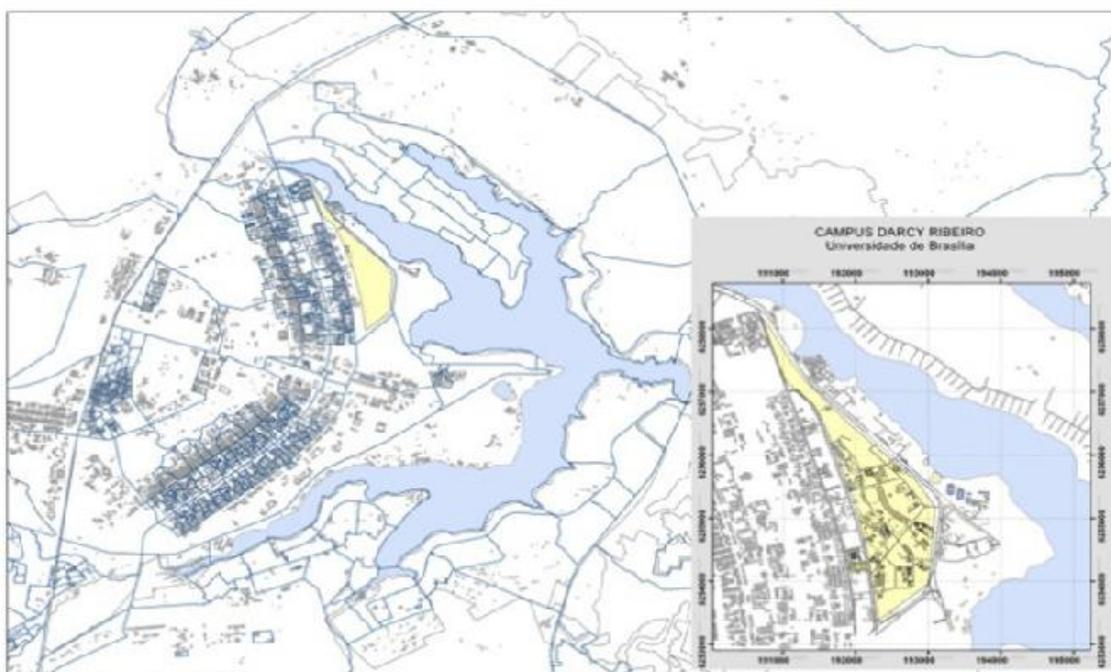


Figura 12 - Localização do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília

Fonte: CHOAS et al. (2010)



Figura 13 - Localização do Instituto Central de Ciências do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília

Fonte: Google Earth (2018)

Oscar Niemeyer em 1962 trabalhou no plano de urbanização da UnB, na época chefe do CEPLAN – Centro de Planejamento da UnB, idealizou a unificação das oito unidades acadêmicas proposta por Lúcio Costa em um único edifício, o Instituto Central de Ciências (ICC).

No trabalho de Fonseca (2007) destaca-se que o projeto da Universidade de Brasília, abrange uma grande praça, denominada Praça Maior. Nessa praça estariam locados a Reitoria, a Biblioteca, um museu (Museu da Civilização Brasileira) e o Auditório de Aulas Magnas. Desse bloco foram construídos: o ICC, entre 1962 e 1975; a Biblioteca Central, entre 1970 e 1973; a Reitoria, entre 1972 e 1975 e a área residencial da Colina em 1963, além do Centro Esportivo, de 1969 a 1972, que foi transferido para as proximidades do setor de clubes pelo plano de Niemeyer.

A estrutura do ICC é composta principalmente em concreto pré-moldado, a cobertura de suas entradas principais são mezaninos em concreto protendido e caixão perdido com 60 cm de espessura e por dois blocos com 720 m de comprimento. Os blocos são compostos por uma ala de anfiteatros e outra ala de laboratórios com um espaço entre os blocos de 16,5 metros (FONSECA, 2007).

A estrutura da ala dos auditórios, se constitui com vigas longitudinais e pode-se destacar o tipo de fechamento lateral utilizado em concreto pré-moldado. O projeto também destaca as ranhuras vazadas em suas extremidades com o objetivo de proporcionar uma ventilação a este ambiente. Os croquis desenhados por Oscar Kneipp, que fez parte da equipe de projeto de arquitetura do ICC datam o ano de 1963 na qual pode-se destacar a Figura 14.

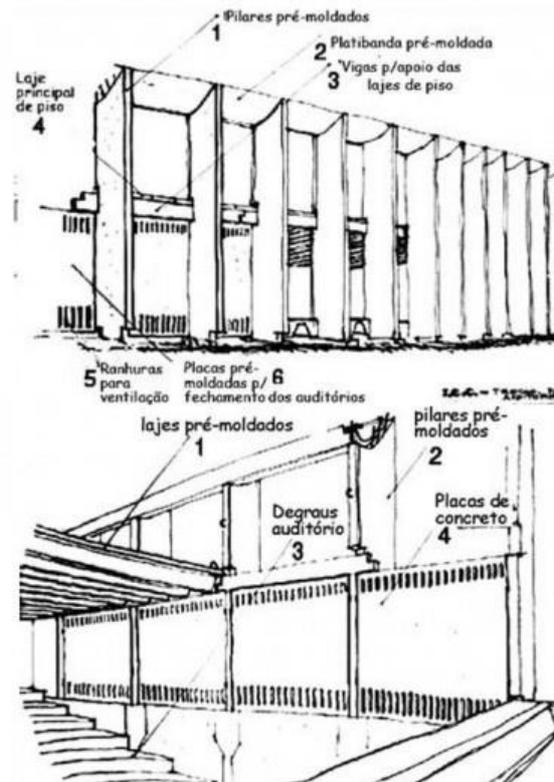


Figura 14 - Croquis – ala dos auditórios interior e exterior por Oscar Kneipp.  
 Fonte: Andrade e Melo (2013)

A estrutura do ICC como um todo é constituída por estruturas pré-moldadas que, conforme já mencionado o concreto não possui alta porosidade o que torna os espaços altamente reverberantes. Estas características podem ser observadas na Figura 15, que identifica a estrutura e os materiais utilizados durante a construção.



Figura 15 - Colocação das vigas

Fonte: Cedoc (2006)

### 3 METODOLOGIA

Após a revisão bibliográfica, neste capítulo são apresentadas as ações desenvolvidas para o levantamento de dados sobre cada uma das salas selecionadas e os procedimentos analíticos e experimentais utilizados para tratar e analisar os dados.

Para avaliação acústica das salas de aula do ICC foi estabelecido o procedimento de medição padrão em função das características do objeto em estudo, das recomendações e formulações para avaliação acústica de ambientes construídos prescritas em normas e leis consolidadas.

Este trabalho é um estudo de caso que visa comparar e avaliar a acústica das salas de aula do Instituto Central de Ciências que é um dos edifícios do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília conforme já mencionado anteriormente. Devido à dificuldade em realizar as medições acústicas em todas as salas de aula do campus, foi realizado um levantamento em que as salas foram classificadas em 9 tipologias em que uma sala de cada tipologia foi estudada.

A obtenção dos dados foi estruturada em três etapas, a primeira se constitui dos cálculos analíticos em que os parâmetros foram calculados no *Software* EASE são detalhados a seguir.

- Tempo de Reverberação ( $TR_a$ );
- Inteligibilidade da Fala ( $STI_a$ );
- %ALCons;

- Adequação das salas de aula para atendimento aos parâmetros mínimos normativos e às necessidades de conforto acústico necessárias ao processo de ensino-aprendizagem.

Na segunda etapa foi realizada a verificação experimental em que o parâmetro descrito abaixo foi ensaiado em todas as tipologias.

- Tempo de reverberação ( $TR_e$ ).

A terceira etapa dedicou-se a aplicar o questionário aos alunos.

- Questionário.

### **3.1 OBJETO DE ESTUDO**

No primeiro momento, foi utilizada a técnica de fichamento dos dados *in loco*. Segundo Flick (2009) as observações consistem em elemento fundamental em todas as etapas do processo investigativo, incluindo a formulação do problema e a interpretação do fenômeno investigado. Essa etapa do trabalho de campo tem extrema relevância na circularidade do processo de pesquisa.

Foi realizado um levantamento em todo o ICC para identificação das salas que são utilizadas para ministrar aulas. Não foram consideradas neste estudo as salas destinadas ao uso como laboratório e pós-graduação devido ao tipo de atividade e configuração de utilização do espaço.

As salas atualmente utilizadas possuem características semelhantes e, portanto, foram agrupadas em nove tipologias.

A separação das tipologias permite o levantamento das características que mais se destacam, na tipologia 1, 4 e 5 possuem configuração de acomodação semelhante a um auditório e somente se diferem no tipo de forro. Estas salas são denominadas anfiteatros e são as salas que possuem maior capacidade de alunos. A tipologia 1 possui parte do teto em forro mineral e outra parte em gesso, já a tipologia 4 possui nervuras em todo o teto e a tipologia 5 possui painéis de madeira suspensos afastados da laje.

As tipologias 2 e 7 possuem a mesma geometria, as salas são retangulares e a configuração de acomodação dos alunos se dá em toda a sala uniformemente. Estas duas tipologias se

diferem no tipo de material da envoltória em que a tipologia 2 possui uma das vedações em vidro enquanto na tipologia 7 todas as paredes são em alvenaria.

As salas de aula configuradas como a tipologia 3 possuem uma característica na qual influencia de forma direta os seus ocupantes. Esta tipologia não segue os padrões convencionais e é um espaço aberto, o acesso é compartilhado com outras salas adjacentes e é denominada ateliê do curso de Arquitetura e Urbanismo.

Já a tipologia 6 se difere das demais pelo sistema de vedação da sala ser em divisória de madeira. Este tipo de sistema não possui a correta vedação necessária entre a divisória e a laje, além de não possuir material no seu interior para que o ruído de uma sala não afete a adjacente.

Por fim, as tipologias 8 e 9 também são muito semelhantes, possuem o mesmo tipo de laje nervurada e se diferencia somente pela tipologia 8 possuir o sistema de vedação todo em alvenaria e a tipologia 9, apenas uma das vedações ser em vidro.

A comparação de tipologias semelhantes nos permite realizar a comparação do resultado acústico de materiais diferentes em salas geometricamente semelhantes.

Para melhor compreensão, as salas levantadas foram identificadas no projeto de arquitetura e urbanismo do campus da Universidade em que foram escolhidas 9 salas, uma de cada tipologia. A Figura 16 apresenta a planta baixa do primeiro pavimento do ICC, já na Figura 17 pode ser observada a planta baixa do térreo e na Figura 18 a planta baixa do subsolo com as salas que foram vistoriadas a fim de classificar as tipologias escolhidas.

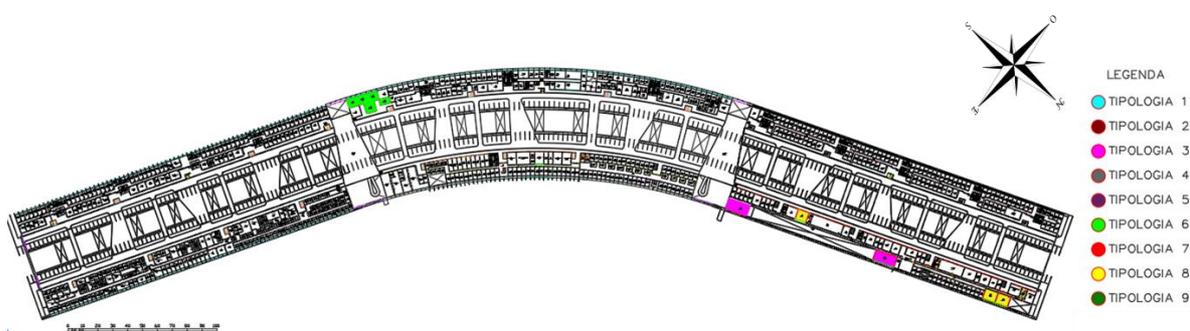


Figura 16 - Planta baixa do primeiro pavimento do ICC

Fonte: Autora

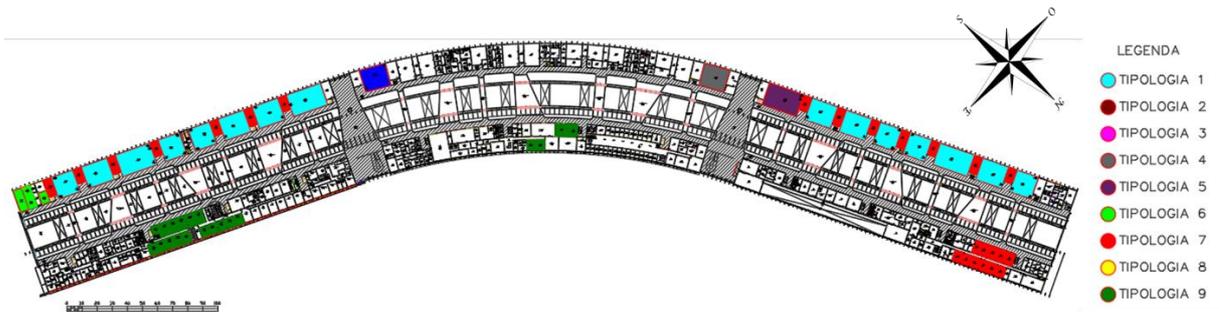


Figura 17 - Planta baixa do térreo do ICC  
 Fonte: Autora

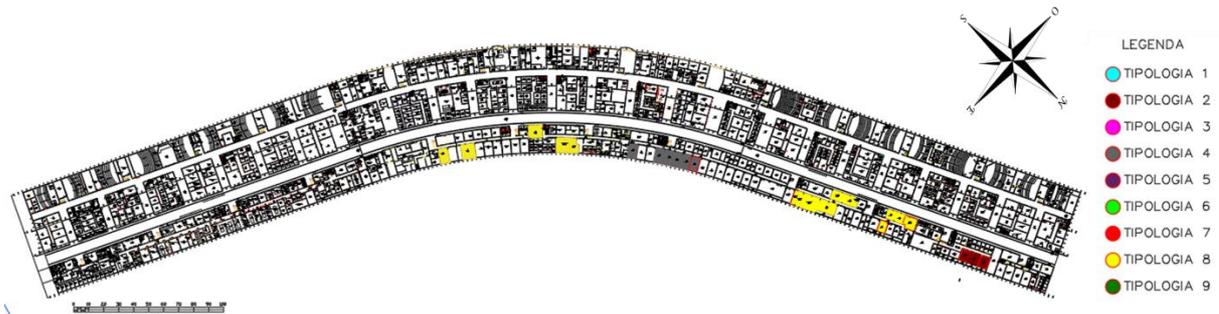


Figura 18 - Planta baixa do subsolo do ICC  
 Fonte: Autora

Para melhor entendimento das tipologias foram realizados levantamentos fotográficos identificados na Figura 19.

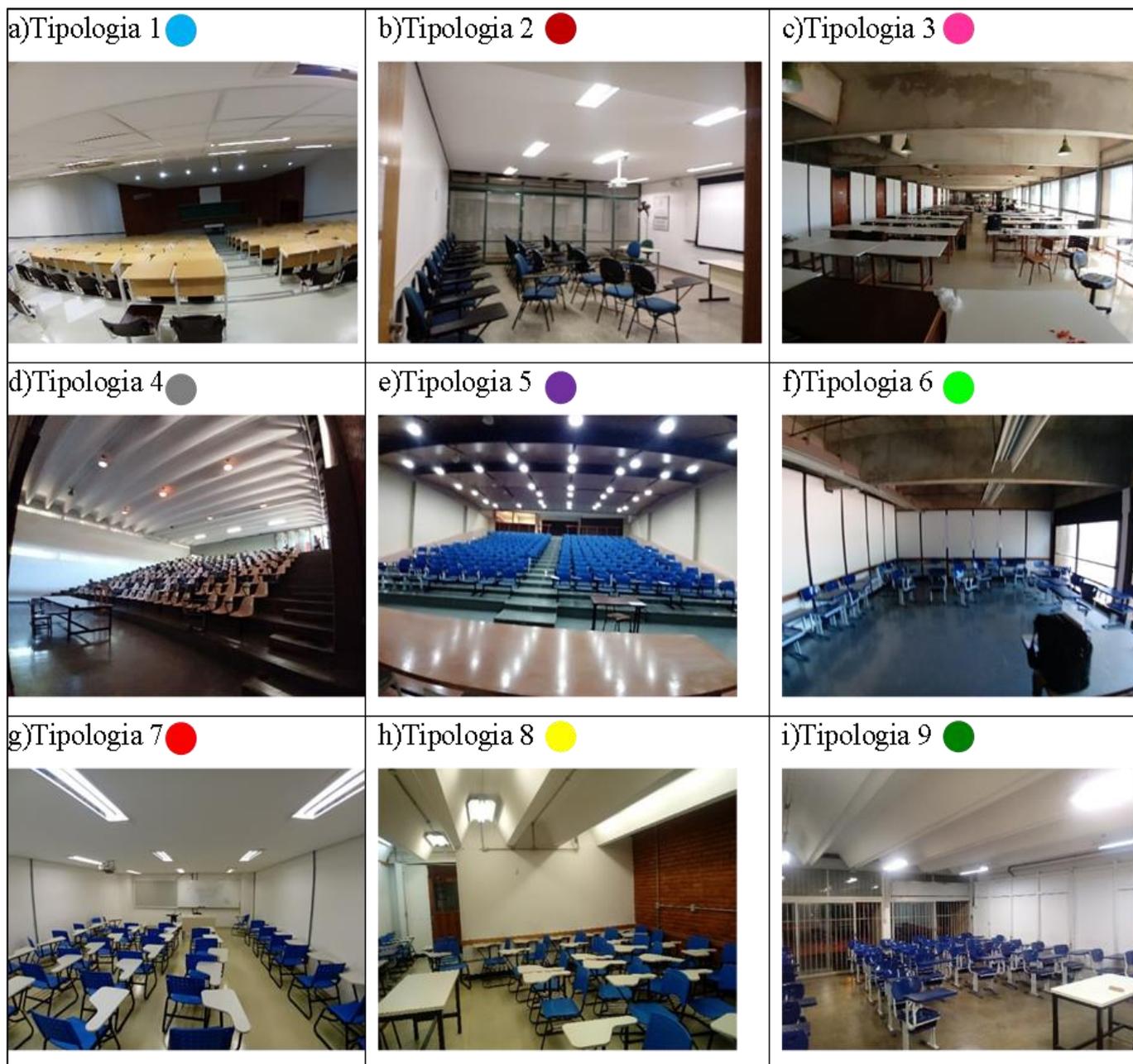


Figura 19 - Tipologias das salas de aula do ICC  
 Fonte: Arquivo pessoal

### 3.2 ESTUDO ANALÍTICO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS DE AULA

Alguns parâmetros que atestam a qualidade acústica de um ambiente podem ser determinados de forma analítica a partir de modelos matemáticos desenvolvidos com o objetivo de quantificar estes parâmetros.

Para realização destes cálculos foi utilizado o *software* EASE. O EASE é um software de origem alemã, focado no projeto e simulação acústica de espaços arquitetônicos. Entre os diferentes métodos de cálculo que o software possui, existe o método *standard* e o método *standard with reflections*. O método *standard* utiliza a fórmula estatística para calcular os níveis de som refletidos dos níveis de som direto por meio das fórmulas clássicas de Eyring ou Sabine enquanto o método *standard with reflections* gera o tempo de reverberação usando o traçado de raios. Na avaliação realizada foi utilizado o método *standard*.

### **3.2.1 EASE**

O *software* utilizado nos cálculos analíticos foi desenvolvido pela AFMG desde a década de 1990. O pacote de *software* EASE tem estabelecido o padrão mundial de simulação acústica, tanto em ambientes internos quanto externos. As salas podem ser definidas usando um módulo CAD, os coeficientes de absorção podem ser atribuídos a superfícies e as fontes de som, bem como as posições dos ouvintes podem ser facilmente adicionadas ao modelo. Estes dados podem então ser usados para gerar uma simulação exata dos tempos de reverberação, inteligibilidade da fala e %ALCons como foi realizado no presente estudo.

Primeiramente, as modelagens foram realizadas no AutoCAD versão 2018 e no Sketch Up versão 2017. Então, foram importados os arquivos para o programa EASE.

Então, de acordo com as camadas de formato CAD desenvolvidas no projeto, os materiais são inseridos em cada local. O software possui um banco de dados detalhado de materiais disponíveis, embora também seja possível criar materiais a partir dos coeficientes de absorção e espalhamento correspondentes a uma faixa de frequência entre 100 Hz e 10.000 Hz na terceira banda de oitava.

Neste caso, as salas foram modeladas no SketchUp a partir da base de desenhos fornecidos pela universidade no formato do programa AutoCAD. Um modelo de como foram realizadas as modelagens pode ser observado na Figura 20.

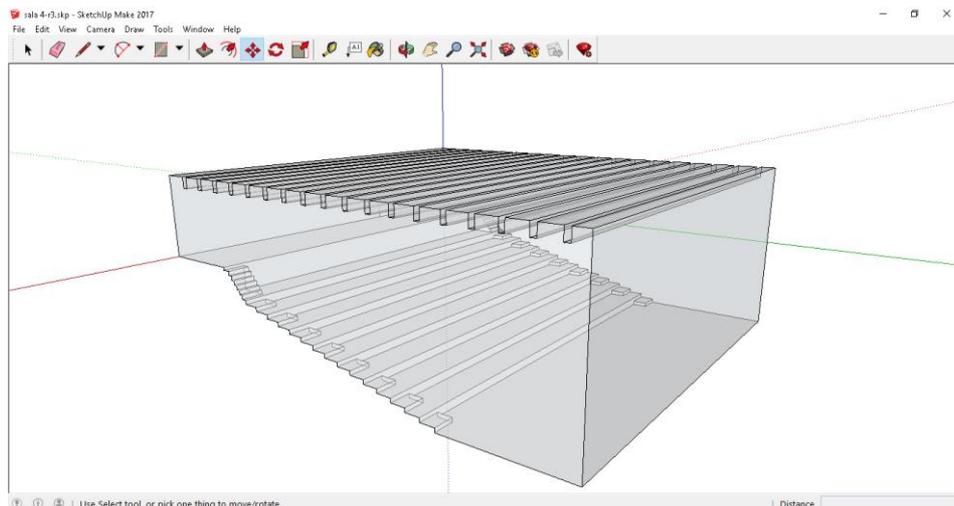


Figura 20 - Exemplo de modelagem do *Sketch up* versão 2017 da Tipologia 4

Depois de definir todos os materiais das áreas, é necessário verificar se não há furos ou aberturas na sala. Assim, existe uma opção chamada *Check Holes* no menu de ferramentas, na qual se não for utilizada não é possível gerar os mapas com os resultados.

Na modelagem das salas não foram utilizados reforços sonoros pois atualmente toda a comunicação é realizada oralmente sem equipamentos para reforço sonoro. Em todas as salas a fonte utilizada para os cálculos foi a voz humana masculina em tom normal seguindo as orientações da ABNT NBR IEC 60268-16:2018 a 1,60 m do piso.

Finalmente, foi definida a área de audiência que é o local das carteiras e foram criados os locais de ouvintes para simulação acústica.

### 3.2.2 Tempo de reverberação analítico ( $TR_a$ )

Após o preenchimento da ficha do Apêndice C com os dados dos materiais de revestimento das superfícies das salas de aula, os materiais foram identificados com seus respectivos coeficientes de absorção sonora por frequência. A partir dos dados coletados foram inseridos no software e iniciado o cálculo.

Os coeficientes de absorção acústica foram inseridos na planilha de acordo com a tabela de materiais básicos e sistemas de Carvalho (2010), na qual foi obtida a partir dos ensaios realizados pelas indústrias e valores normativos. Somente foram inseridos no software os coeficientes dos materiais presentes nas salas em estudo.

O tempo de reverberação é estatisticamente calculados para complemento da avaliação da inteligibilidade da fala.

### **3.2.3 Inteligibilidade da fala analítico (STI<sub>a</sub>)**

O método de cálculo do STI foi realizado com base em um campo direto previsto, combinado com um decaimento exponencial reverberante e parâmetros eletroacústicos simples.

É fundamental que o nível operacional de discurso seja utilizado para a previsão do STI, já que isso afeta tanto o S-R efetivo, quanto os efeitos de mascaramento. Um sinal de fala de banda larga pode ser utilizado para esta previsão e assegura que o canal de transmissão seja capaz de produzir o nível de pressão sonora operacional.

O método STI pode discriminar entre os sinais de fala dos sexos masculino e feminino. De acordo com a ABNT NBR IEC 60268-16:2018 fatores relacionados com o gênero são expressos em diferentes espectros de sinal de teste e diferentes fatores de ponderação. Uma vez que a fala feminina é geralmente considerada mais inteligível do que a fala masculina, portanto a fala masculina foi utilizada para avaliar os canais de transmissão de fala no presente estudo por ser considerada a pior situação.

O ruído de fundo aplicado a previsão foi de 35dB que é limite do nível de ruído de fundo aceitável para salas de aula conforme ABNT NBR 10.152.

### **3.3 VERIFICAÇÃO *IN LOCO* DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO**

As variáveis do estudo incluem o ruído como fator independente e os usuários e a edificação como fatores dependentes.

O horário das medições acústicas foi definido de acordo com a disponibilidade das salas, porém, sempre com o intuito de que a pesquisa e todos os procedimentos a ela associados não afetassem a rotina normal das aulas. As medições foram realizadas com a sala desocupada e mobiliada.

Primeiramente, as salas foram observadas. Para facilitar a análise dos resultados, foi elaborada uma planilha para registro dos dados coletados. As planilhas foram preenchidas com as seguintes informações: localização, identificação da sala, data e horário das

medições, descrição dos materiais construtivos, dimensões, identificação de mobiliário existente e identificação dos equipamentos utilizados e parâmetros acústicos medidos.

A mensuração dos dados foi realizada em condições meteorológicas ideais, que incluem a não ocorrência de chuva e de ventos fortes, menor que 5 km/h.

### 3.3.1 Equipamentos e softwares

Para realização das medições foi utilizado o medidor de nível sonoro, classe A do fabricante Bruel & Kjaer, modelo 2250 cujo número de série é 2709669. Certificado da última calibração data de 19 de outubro de 2017, sob o número CBR1700865, emitido por LACEL B&K, laboratório de calibração acreditado pelo Inmetro de acordo com a ABNT NBR ISO/ABNT NBR IEC 17025 sob o número CAL 0305. O modelo do equipamento e o suporte pode ser visualizado na Figura 21 na qual seguiu a descrição de procedimento da ABNT NBR 10.151:2003. O medidor foi configurado da seguinte forma: Largura de banda em 1/3 de oitava na faixa de frequência delimitada pelas bandas de 31,5 Hz a 8 kHz, ponderação escala A, tipo de resposta rápida e correção de filtro para incidência aleatória.



Figura 21 – Sonômetro fabricante Bruel & Kjaer, modelo 2250 e o tripé fabricante Bruel & Kjaer utilizado nas medições

Para aferição do medidor de nível sonoro antes e após as medições foi utilizado o calibrador de nível sonoro Classe 1 fabricante Minipa, modelo MSL 1326 cujo número de série é MS1326000186 que pode ser observado na Figura 22. O certificado da última calibração data de 18 de outubro de 2017, sob o número CBR1700864, emitido por LACEL B&K, laboratório de calibração acreditado pelo Inmetro de acordo com a ABNT NBR ISO/ABNT NBR IEC 17025 sob o número CAL 0305.



Figura 22 – Calibrador Classe 1 fabricante Minipa, modelo MSL 1326

Após realização das medições os dados foram transferidos para o Software BZ-5503, desenvolvido pela Bruel & Kjaer. O software filtrou os dados necessários para análise da acústica das salas.

Para geração do ruído necessário para as medições do tempo de reverberação, foi utilizado a caixa acústica omnidirecional de alta potência, modelo Sound Source Type 4292-L da marca Bruel & Kjaer.

Também foi utilizada trena a laser para conferencia das dimensões geométricas com o projeto arquitetônico fornecido pelo Centro de Planejamento Oscar Niemeyer (Ceplan) da universidade.

### 3.3.2 Tempo de reverberação experimental ( $TR_e$ )

As medições do tempo de reverberação foram realizadas no final de semana, uma vez que a universidade funciona nos três turnos (matutino, vespertino e noturno), o que impossibilitava as medições entre um turno e outro devido ao ruído de fundo gerado pelos alunos.

A avaliação teve um número de pontos de medição de acordo com o seu volume e com as suas características geométricas. A quantidade mínima de decaimentos foi de cinco pontos distribuídos pela sala.

Utilizou-se um sinal sonoro no amplificador na qual o método utilizado para coleta do decaimento foi o ruído interrompido. Este método é realizado a partir da emissão de um sinal de ruído até que o campo sonoro estabilize, o som gerado é, então, captado por um microfone conectado ao analisador Bruel & Kjaer 2250, nesta altura a fonte é desligada e o decaimento para cada frequência do espectro de interesse é registrada conforme pode-se observar na Figura 23. O  $T_{60}$  é calculado a partir do  $T_{30}$  em que o *software* realiza a conversão. É importante assegurar que o ruído de fundo não influencie a medição.

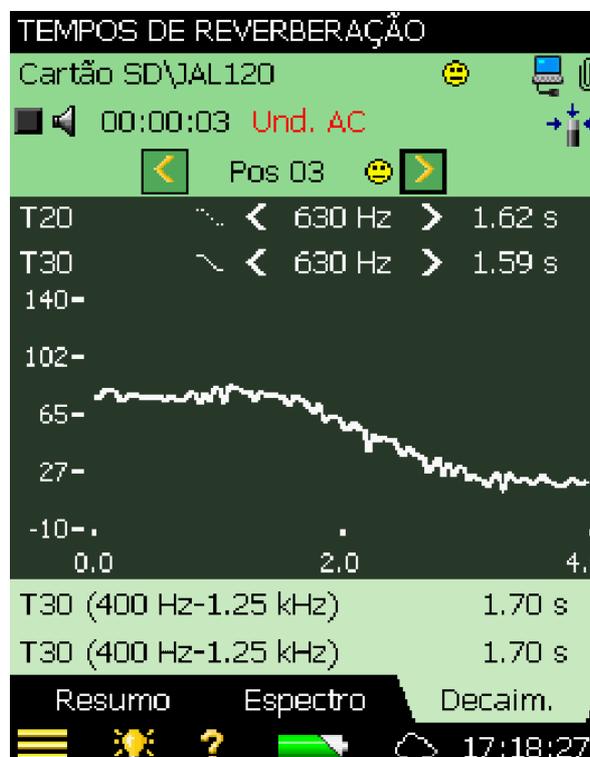


Figura 23 - Exemplo do decaimento para obtenção do tempo de reverberação

### **3.4 QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO DO USUÁRIO**

A análise de conteúdo por meio de questionário segundo Bardin (1977) foi escolhido como estratégia metodológica em seu estudo por ser composto por um conjunto de técnicas utilizadas na análise de dados qualitativos.

Estudos já desenvolvidos por Maganinho (2009), França (2011), Ikeda, Ono e Vittorino (2016), também utilizaram o questionário para obtenção da percepção do usuário a respeito da qualidade acústica do ambiente. Nestes estudos os participantes preencheram um questionário com questões abertas e fechadas sobre presença, tipo, fonte e valoração de ruído, suas repercussões sobre a aula e estratégias para minimizá-lo. Questões sobre o incômodo agindo como variável moderadora do espaço também foram utilizadas.

Em um estudo realizado utilizando a aplicação de questionário por Jesper et al. (2013) constatou-se a correlação entre o alto TR foi negativamente associado a vários indicadores de bem-estar em professores.

Para o presente estudo as questões foram adaptadas aos objetivos, buscando descrever a percepção sobre os níveis de ruído percebido nas salas de aula. Esta etapa da pesquisa somente foi realizada após o aceite do Comitê de Ética e Pesquisa do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade de Brasília sob o número de parecer 2.669.340 que pode ser visualizado no Apêndice A.

Esta etapa da pesquisa consistiu na avaliação da percepção do usuário por meio da aplicação de questionário que teve como objetivo traçar um paralelo entre os valores de mensuração das características físicas das salas de aula com suas causas e efeitos sobre os estudantes. O questionário aplicado no presente estudo buscou identificar a qualidade acústica das salas de aula estudadas por meio de dez questões na qual é apresentado no Apêndice D. Foram elaboradas Perguntas referentes às percepções mais comuns nos alunos que utilizam as salas avaliadas.

A entrega dos questionários foi realizada em um cronograma na qual foram entregues durante uma semana no período diurno e noturno no Instituto Central de Ciências durante duas horas. Durante este período foi apresentado para professores e alunos os parâmetros da pesquisa na qual, antes da entrega do questionário foi entregue o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) contido no Apêndice B que explica a pesquisa

e que o aluno autorizou a participação da pesquisa. Posteriormente foram retiradas todas as dúvidas referentes ao estudo.

Primeiramente foram apresentados os objetivos da pesquisa e os procedimentos de coleta de dados a serem realizados na universidade. Também foi salientada a importância da participação dos usuários, sem a qual a viabilidade do estudo ficaria comprometida.

Nas salas de aula em que o professor presente autorizou a entrega do questionário foi realizado o procedimento mencionado, na qual é importante destacar que neste momento houve maior aceitação dos alunos para participação do estudo. Es salas na qual não foi autorizada apresentação do estudo foram realizadas abordagens do lado de fora da sala como em corredores, praças de alimentação e salas de estudo seguindo o mesmo procedimento de apresentação do estudo.

O critério de inclusão foi a aceitação do TCLE, ser estudante da Graduação e frequentar aula em pelo menos uma das salas classificadas nas tipologias do Instituto Central de Ciências. Os alunos de Pós-Graduação foram excluídos pelo fato das disciplinas serem ministradas de forma geometricamente diferente.

O procedimento de entrega dos questionários, resposta pelos estudantes e coleta dos questionários teve duração de 15 minutos em cada apresentação. O total da amostra foi de 275 questionários entregues. O número de alunos que não se interessaram ou não aceitaram participar não foi contabilizado na pesquisa. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente.

## **4 AVALIAÇÃO ACÚSTICA DAS SALAS DE AULA DO ICC**

O aspecto inicial para a realização deste trabalho de pesquisa, foi o processo de levantamento e estudo da literatura sobre os principais parâmetros acústicos. Os prejuízos desencadeados pela qualidade acústica das salas de aula podem afetar diretamente o desempenho dos alunos e professores. Com esta etapa da pesquisa, buscou-se identificar, por meio de estudos realizados em ambientes educacionais a qualidade do ensino aprendizagem. Pôde - se constatar que problemas já identificados na qualidade acústica dos espaços escolares, como soluções arquitetônicas sem considerar fatores como geometria, localização, clima e ruído continuam sendo aplicados. Um dos prédios históricos do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília é o ICC, construído em estrutura de pré-moldado, foi analisado de forma analítica e experimental de forma a comparar os resultados com a percepção dos usuários.

Ao longo do trabalho foram abordados os parâmetros e os valores ideais para a acústica de salas de aula. Os dados do resultado acústico foram mapeados em cada tipologia de sala estudada no software EASE.

### **4.1 RESULTADOS ANALÍTICOS DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO, %ALCONS E STI**

#### **4.1.1 Tempo de reverberação**

Em uma primeira análise foram levantadas as características geométricas das tipologias. O volume é um dos dados mais relevantes para avaliação do tempo de reverberação e, portanto, foram destacados na Tabela 8. A partir do volume da sala de aula foram indicados os limites normativos de cada uma das tipologias apresentadas. O tempo de reverberação foi calculado a partir dos coeficientes de absorção dos materiais de revestimento.

Tabela 8 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

Tipologia	Volume (m <sup>3</sup> )	Valor de referência TR ABNT NBR 12179 (s)
1	941,0	0,70
2	175,0	0,60
3	1296,0	0,70
4	1305,0	0,70
5	1505,0	0,70
6	104,7	0,60
7	229,8	0,60
8	59,4	0,60
9	117,1	0,60

A partir dos dados inseridos no software EASE, foram realizados os cálculos do TR em cada tipologia na qual foram geradas as curvas apresentadas na Figura 24.

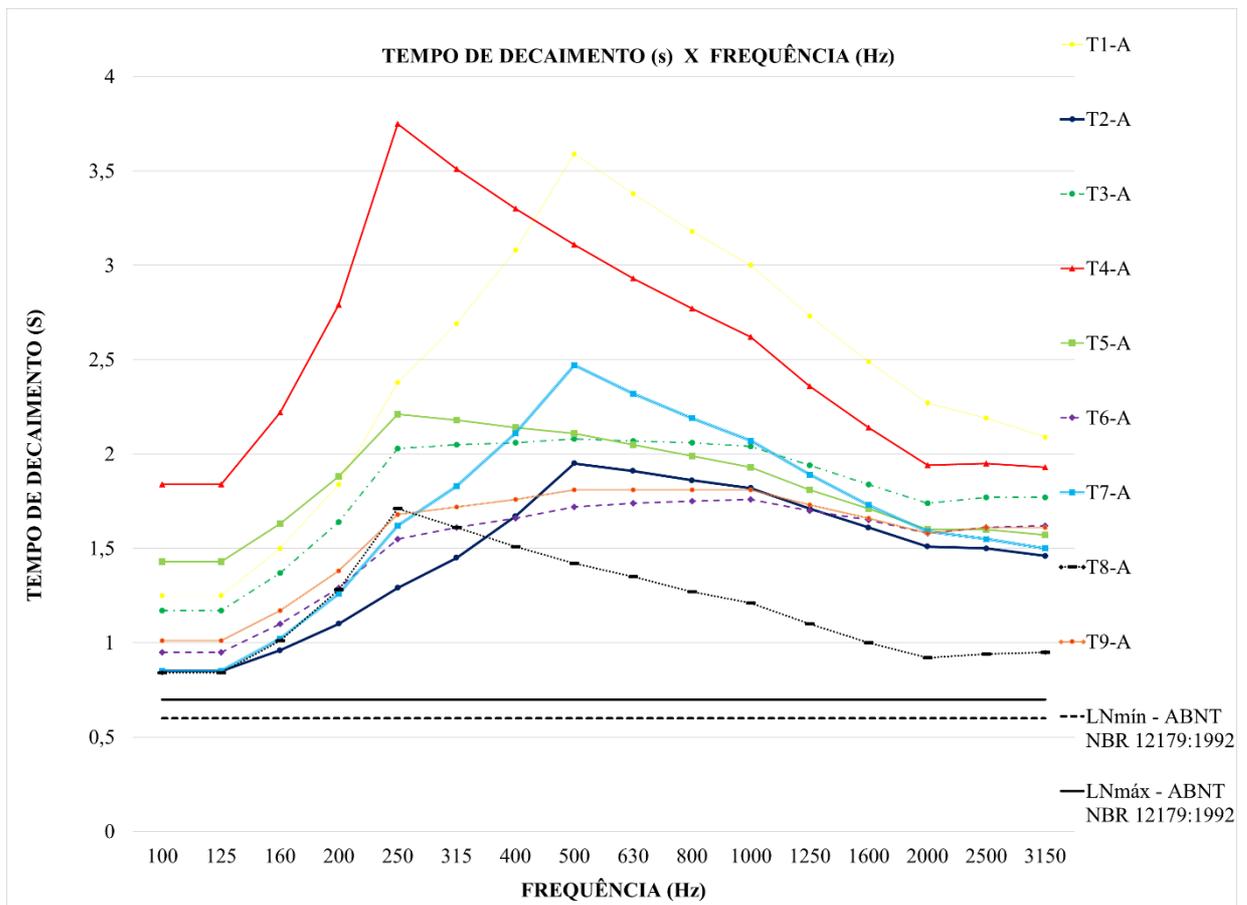


Figura 24 - Resultado do tempo de reverberação analítico

onde:

TN-R

T - Tipologia;

N - Número da tipologia;

R - Resultado Analítico (A);

LN<sub>máx</sub> – Limite superior do tempo de reverberação estabelecido pela ABNT NBR 12179:1992;

LN<sub>mín</sub> – Limite inferior do tempo de reverberação estabelecido pela ABNT NBR 12179:1992.

Pode-se destacar que o comportamento do decaimento em todas as salas seguiu um padrão, variando principalmente devido a geometria arquitetônica.

Os resultados dos cálculos analíticos indicam que em 500 Hz a tipologia que mais se aproximou do valor de referência, com o menor tempo de decaimento, foi de 1,42 segundos na tipologia 8 e o mais distante com maior tempo de decaimento, foi obtido na tipologia 1 com 3,54 segundos.

Portanto, o pior resultado em relação aos limites normativos destacados pode ser devido a geometria das salas. As geometrias das tipologias 1, 4 e 5 são semelhantes a um auditório, os resultados apontam que estão entre as quatro tipologias que apresentaram o maior tempo de reverberação.

#### **4.1.2 Porcentagem de ALCons**

A %ALCons é relativa a porcentagem de perda de consoantes do que está sendo proferido. Nos mapeamentos na qual pode-se observar nas Figura 25 a Figura 33, gerados a partir dos cálculos efetuados no *software* EASE. Nos mapeamentos pode-se analisar como é a distribuição desta porcentagem em todo o espaço de cada sala de aula.

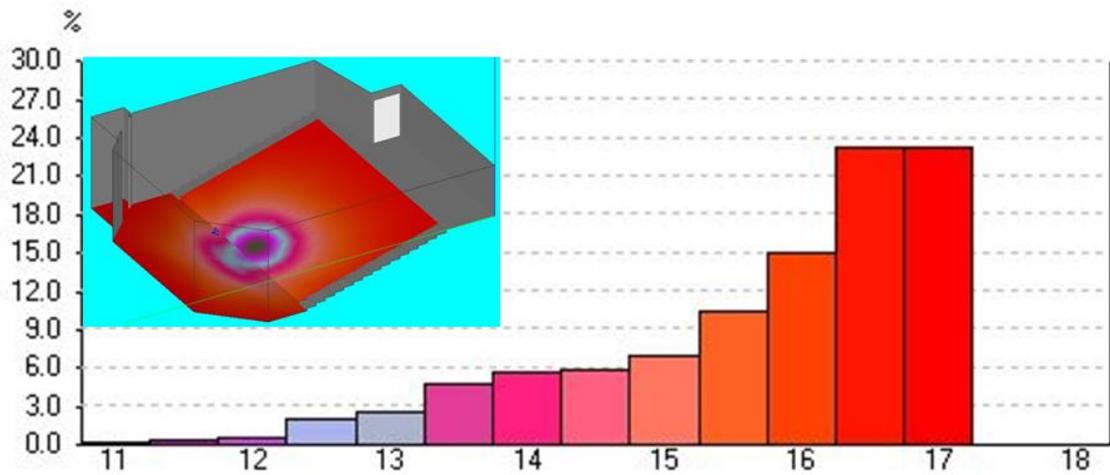


Figura 25 - Distribuição de valores de %ALCons por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 1 - EASE

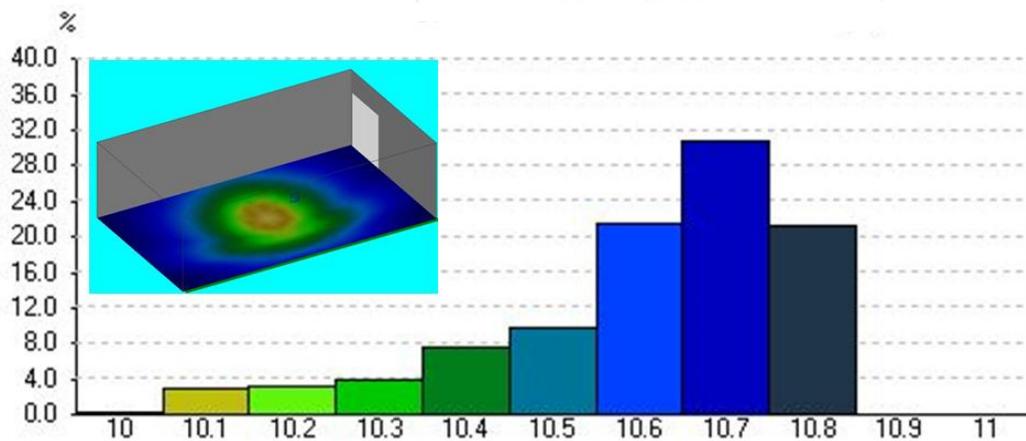


Figura 26 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 2 - EASE

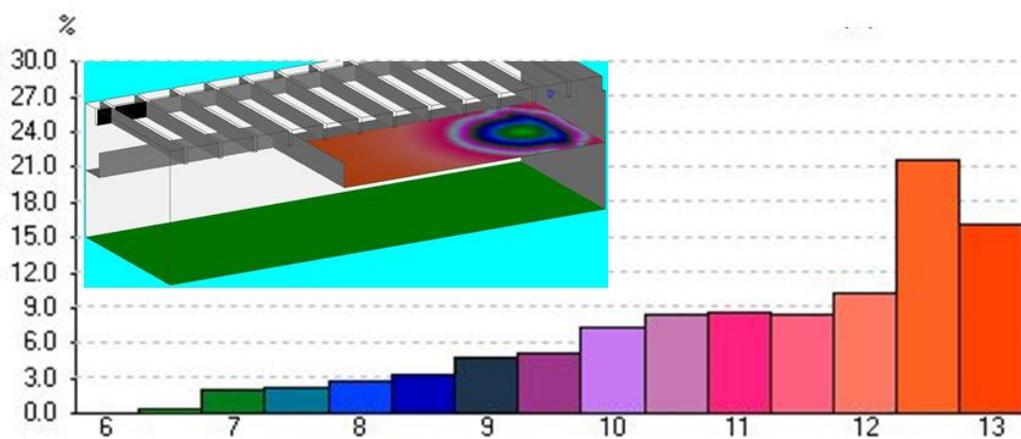


Figura 27 - Distribuição de valores da %ALCons por porcentagem de área do ateliê classificado na tipologia 3 - EASE

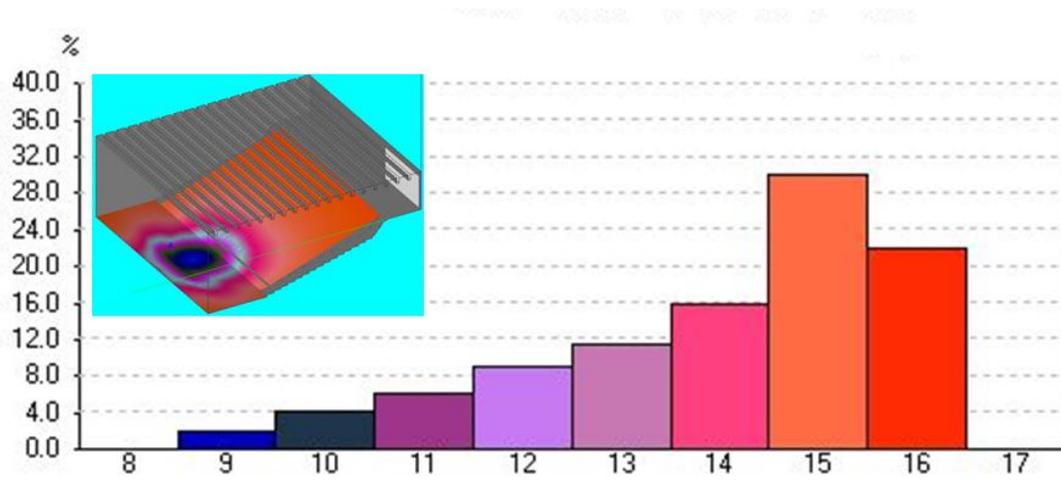


Figura 28 - Distribuição de valores da %ALCons por percentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 4 - EASE

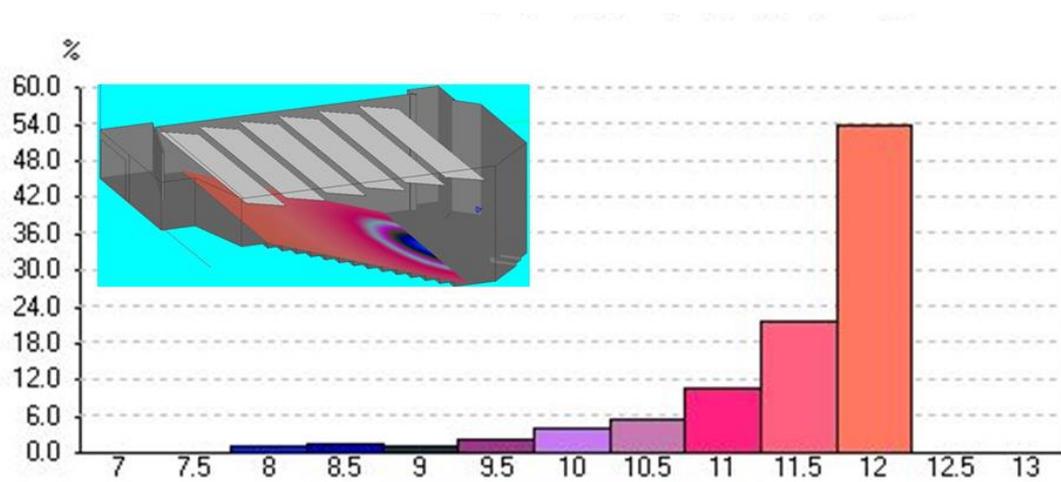


Figura 29 - Distribuição de valores da %ALCons por percentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 5 - EASE

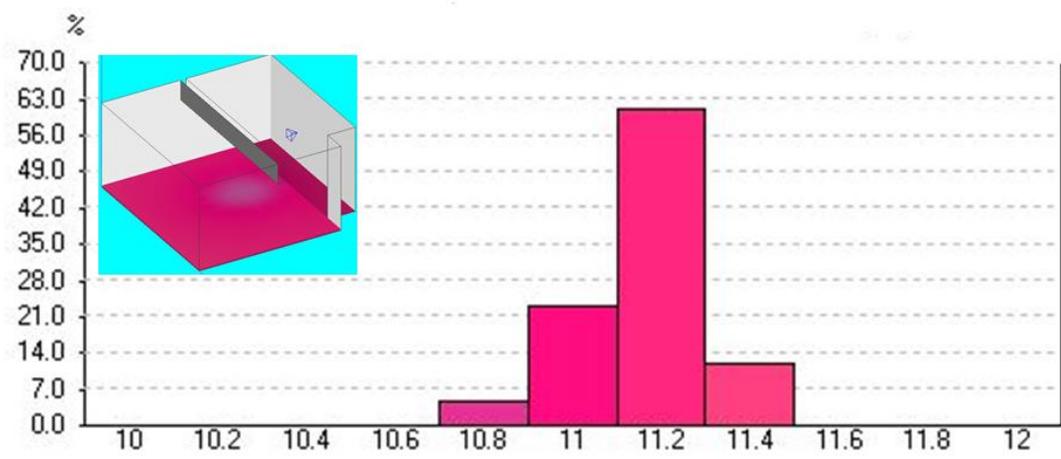


Figura 30 - Distribuição de valores da %ALCons por percentagem de área da sala classificada na tipologia 6 - EASE

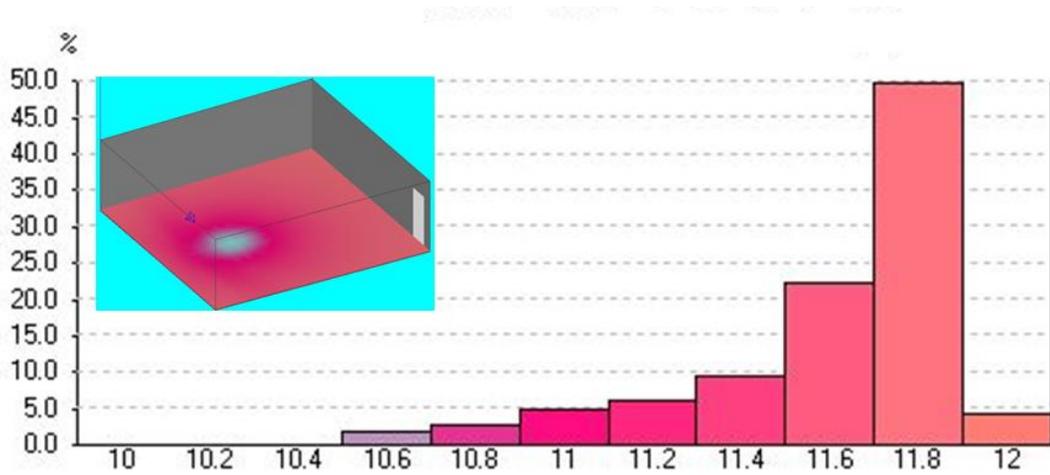


Figura 31 - Distribuição de valores da %ALCons por percentagem de área da sala classificada na tipologia 7 - EASE

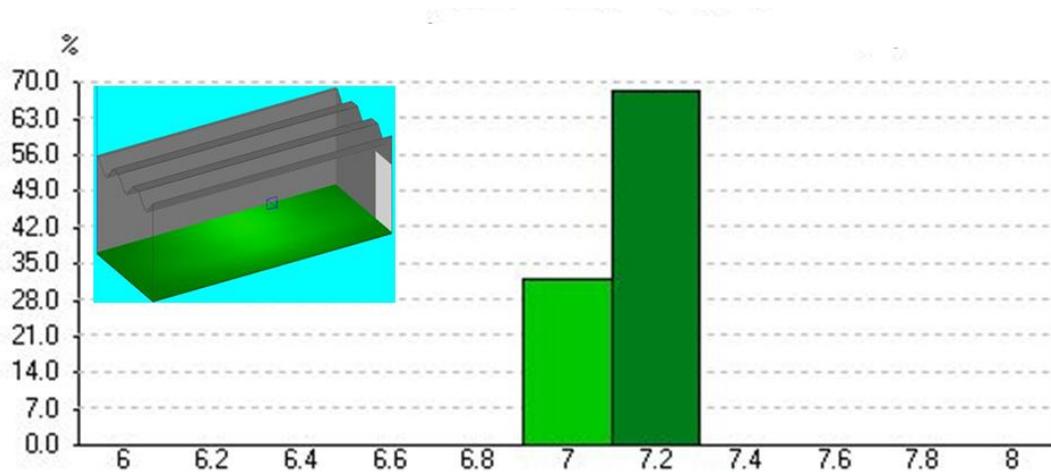


Figura 32 - Distribuição de valores da %ALCons por percentagem de área da sala classificada na tipologia 8 - EASE

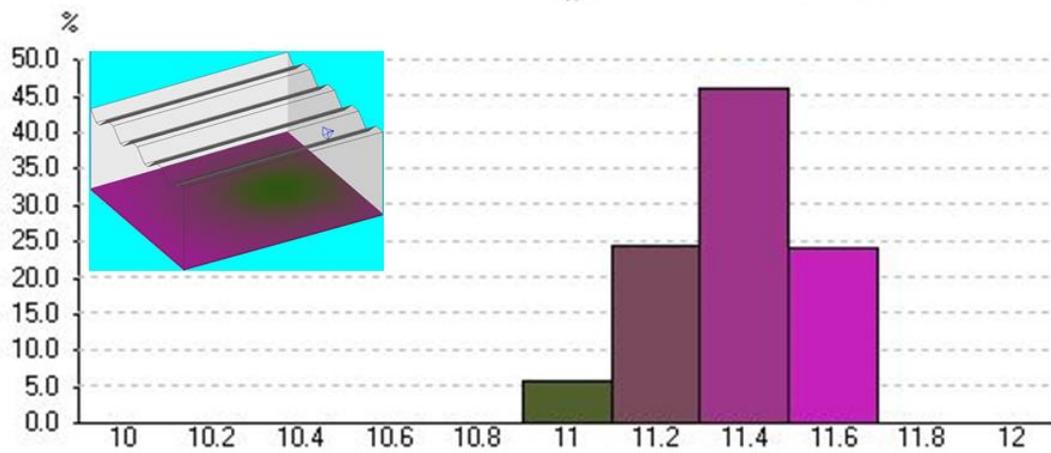


Figura 33 - Distribuição de valores da %ALCons por percentagem de área da sala classificada na tipologia 9 - EASE

A partir da análise dos mapeamentos gerados, pode-se observar que a menor %ALCons obtida para as tipologias estudadas se concentra na área próxima à geração do ruído, que é o local do professor.

As tipologias 1, 4 e 5 possuem configuração semelhante a um auditório e são classificadas como anfiteatros. E, neste tipo de geometria, a área de circulação do professor se restringe ao palco. Portanto, os alunos que se sentam na frente possuem menor perda de articulação de consoantes o que está diretamente ligado a inteligibilidade.

Obteve-se menor percentual na tipologia 1, com 11,08% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 17,17% no fundo da sala conforme Figura 25. Na análise da tipologia 4, obteve-se o menor percentual de perda com 8,85% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 16,16% no fundo da sala conforme Figura 28. Na Figura 29 pode-se avaliar a distribuição da %ALCons da tipologia 5, nesta sala obteve-se menor percentual de perda com 7,79% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 12,24% no fundo da sala.

A análise da sala representada na Figura 26 demonstra que o parâmetro %ALCons obtida para a tipologia 2 demonstra maior concentração no centro da sala devido a configuração das carteiras, que estão voltadas para a parede com maior dimensão da sala. No modelo em que estão distribuídas as carteiras, pode-se observar que somente os cantos possuem maior %ALCons. Nesta sala obteve-se o menor percentual de 10,03% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 10,83% nos cantos da sala. A partir destes dados pode-se concluir que a inteligibilidade da sala sofreu variação menor que 1%.

A análise da sala representada na da figura 27 demonstra que o parâmetro %ALCons obtida para a tipologia 3 possui maior concentração na área próxima ao quadro na qual é a posição do professor. A sala é classificada como ateliê, o espaço é amplo e é utilizado pelo curso de Arquitetura e Urbanismo. É importante ressaltar que é uma sala aberta, e que os níveis de ruído gerado no ateliê situado no 1º pavimento, interferem diretamente no espaço abaixo também denominado ateliê, situado logo abaixo da sala estudada. Neste caso obteve-se o menor percentual de perda de 6,67% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 12,93% no fundo aberto.

Já a análise das salas representada na das Figura 29, Figura 30 e Figura 33 demonstram que o parâmetro %ALCons obtidos para as tipologias 6,7 e 9 possuem a distribuição do ruído

de forma mais uniforme na sala, isto deve-se a configuração das cadeiras. Na tipologia 6, obteve-se menor percentual de perda com 10,8% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 11,4% no fundo da sala. A tipologia 7, obteve menor percentual de perda com 10,5% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 11,96% no fundo da sala. Na tipologia 9, obteve-se menor percentual de perda com 10,94% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 11,66% no fundo da sala respectivamente.

A análise da sala representada na da Figura 31, demonstra que o parâmetro %ALCons obtida para a tipologia 8 possui a distribuição do ruído de forma mais uniforme na sala. Isto deve-se a configuração das cadeiras e dimensão da sala. Nesta tipologia, obteve-se menor percentual de perda com 7,0% para a área na frente da fonte e de maior percentual de 7,23% no fundo da sala.

De modo geral a menor perda de articulação de consoantes dá-se na área próxima a fonte sonora que é o local do professor e a maior no fundo e cantos das salas. Na Tabela 9 são apresentados os resultados de %ALCons analíticos em relação a classificação da norma ABNT NBR IEC 60268-16 (2018).

Tabela 9 - Resultado da %ALCons das 9 tipologias em relação a norma ABNT NBR IEC 60268-16

<b>Tipologia</b>	<b>%ALCons mínima analítica</b>	<b>%ALCons máxima analítica</b>	<b>Classificação geral %ALCons ABNT NBR IEC 60268-16</b>
1	11,08	17,17	Regular
2	10,03	10,83	Aceitável
3	6,67	12,93	Aceitável
4	8,85	16,16	Regular
5	7,79	12,24	Aceitável
6	10,80	11,40	Aceitável
7	10,50	11,96	Aceitável
8	7,00	7,23	Aceitável
9	10,94	11,66	Aceitável

A análise da Tabela 9 permite identificar que as tipologias 1 e 4 foram classificadas como regulares para o parâmetro de %ALCons com a maior perda de articulação de consoantes.

As demais tipologias, foram consideradas aceitáveis a face da inteligibilidade a partir do critério de classificação da ABNT NBR IEC 60268-16:2018.

### 4.1.3 STI

O STI também é utilizado para expressar a qualidade de transmissão da fala em relação à inteligibilidade como a %ALCons. No estudo analítico, pode-se avaliar nos mapeamentos a distribuição do STI em todo o espaço das salas de aula semelhante aos mapeamentos de %ALCons.

As Figura 34 a Figura 43 apresentam os resultados obtidos para as tipologias 1 a 9. Nos mapeamentos é possível identificar o local da fonte, local do professor, e a direção da fala.

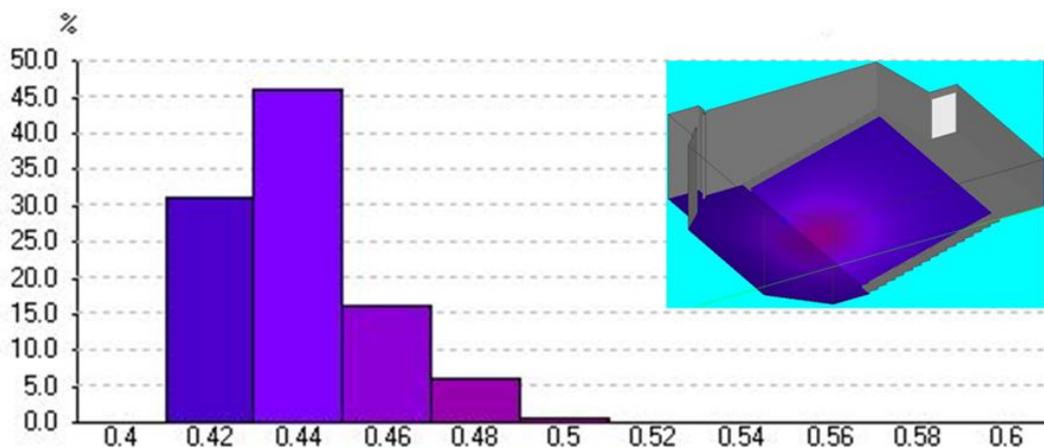


Figura 34 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 1 – EASE

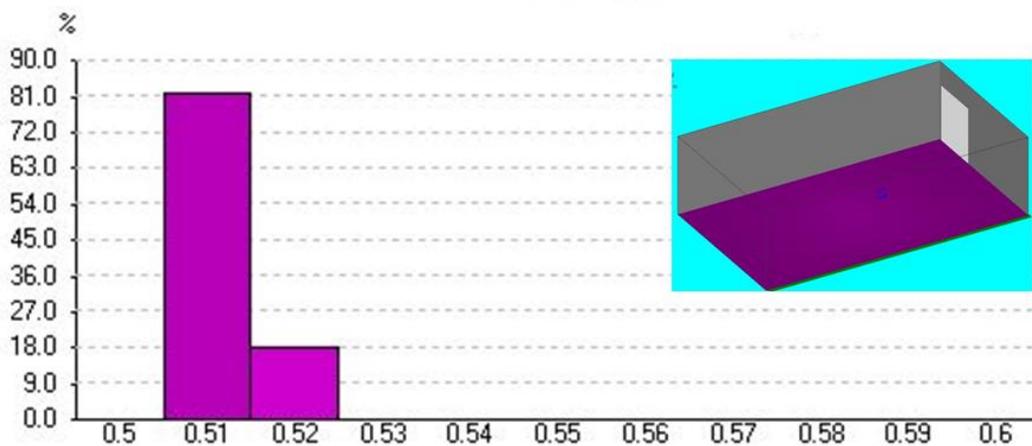


Figura 35 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 2 - EASE

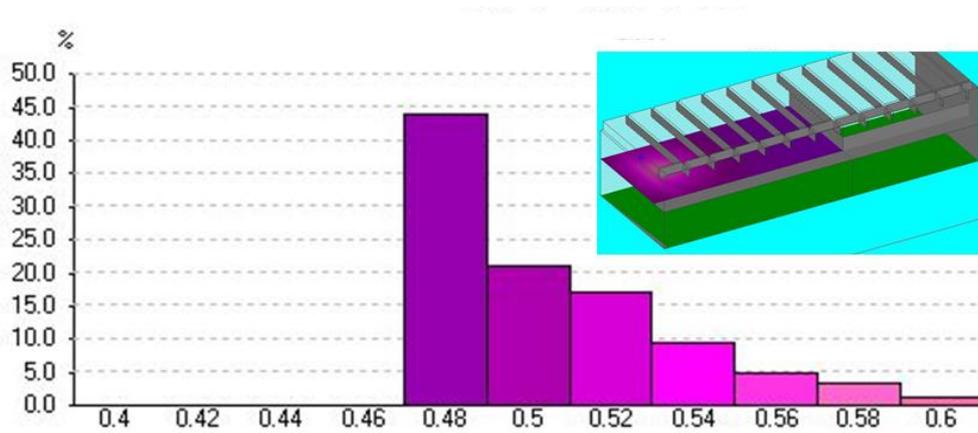


Figura 36 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do ateliê classificado na tipologia 3 - EASE

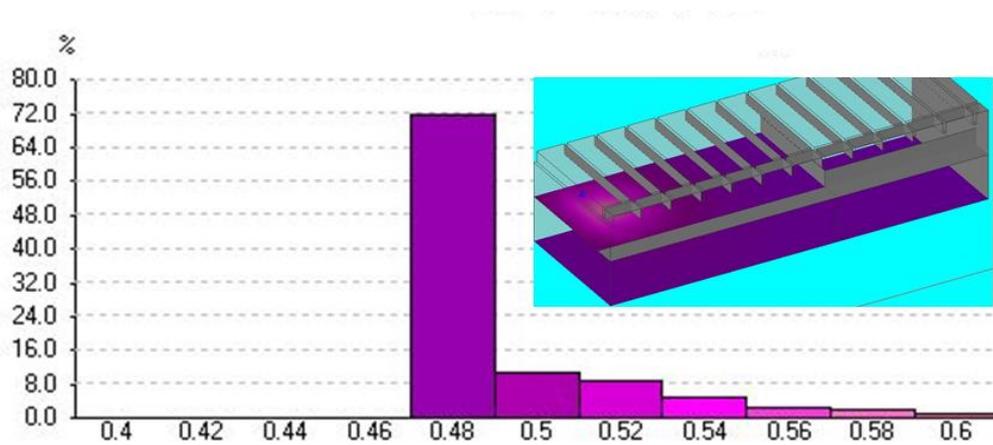


Figura 37 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do ateliê classificado na tipologia 3 e ateliê adjacente no pavimento inferior - EASE

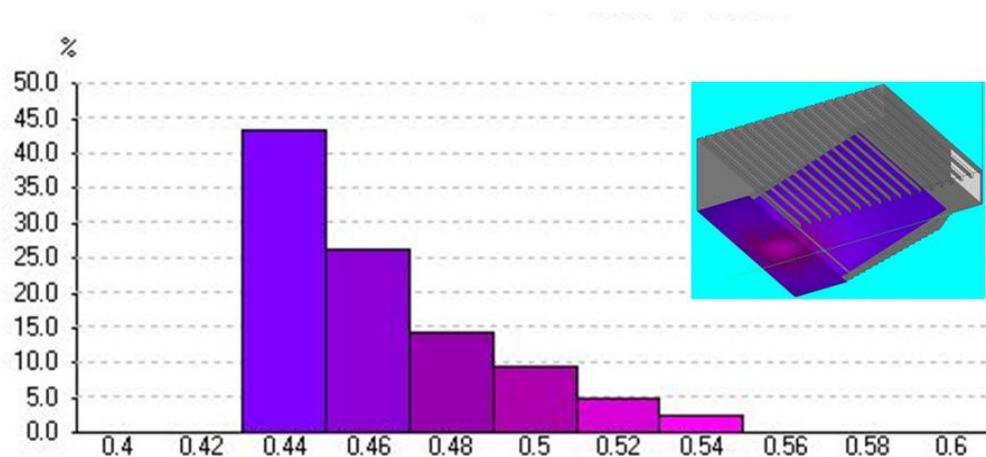


Figura 38 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 4- EASE

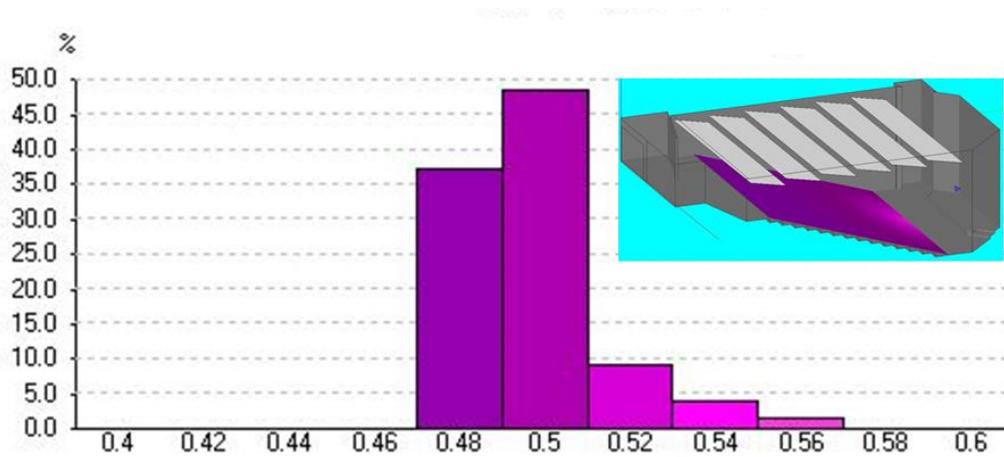


Figura 39 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área do anfiteatro classificado na tipologia 5- EASE

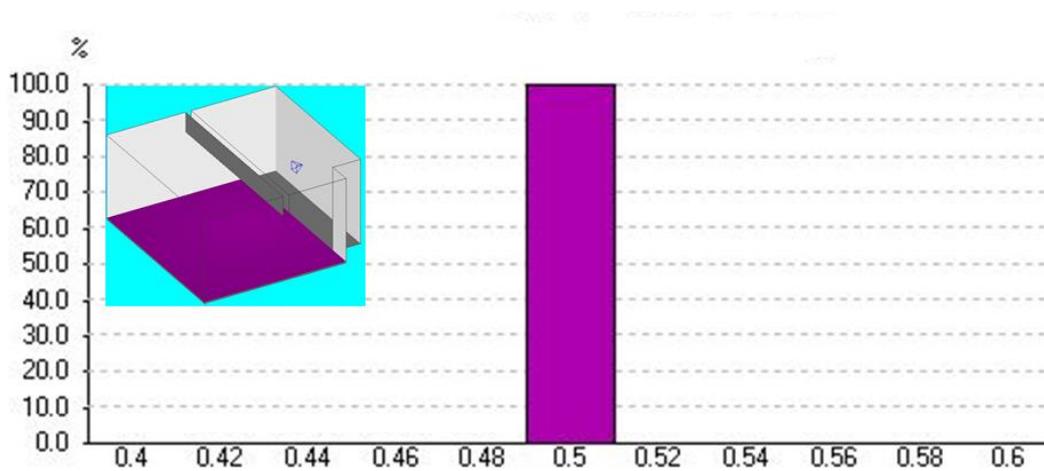


Figura 40 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 6 - EASE

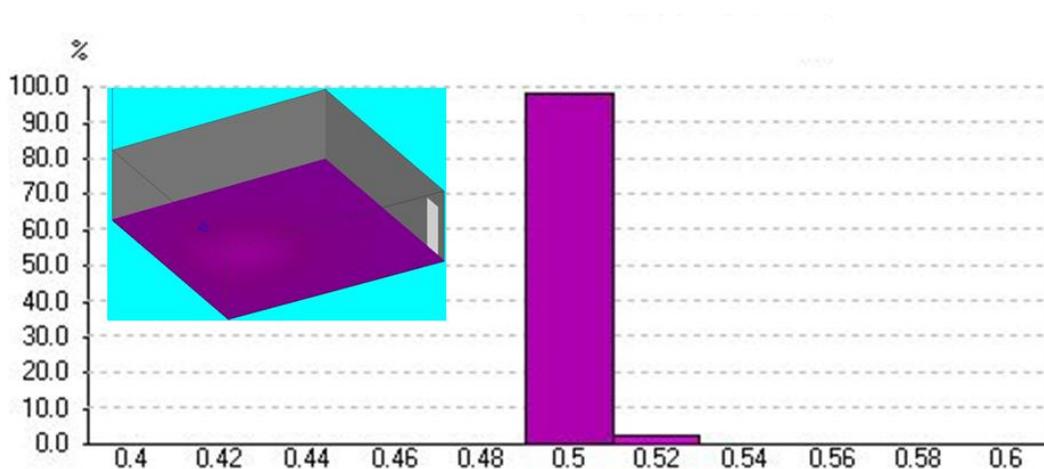


Figura 41 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 7- EASE

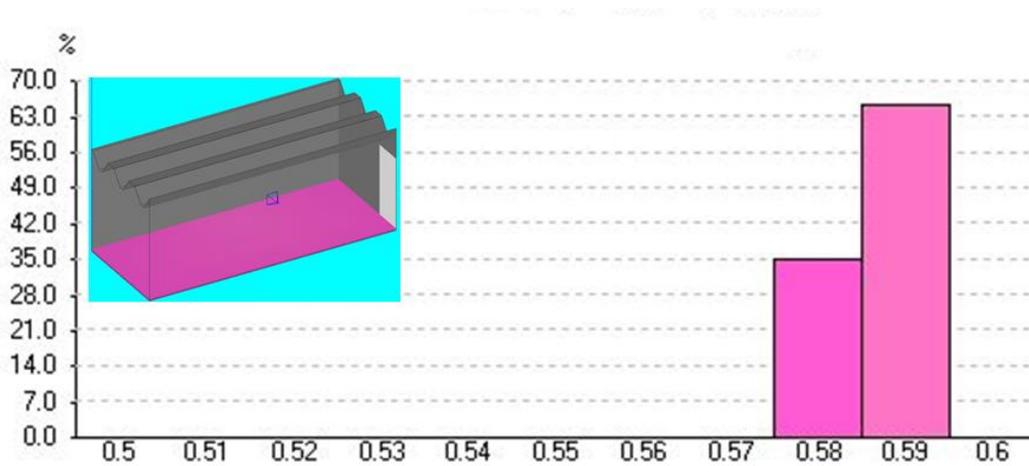


Figura 42 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 8 - EASE

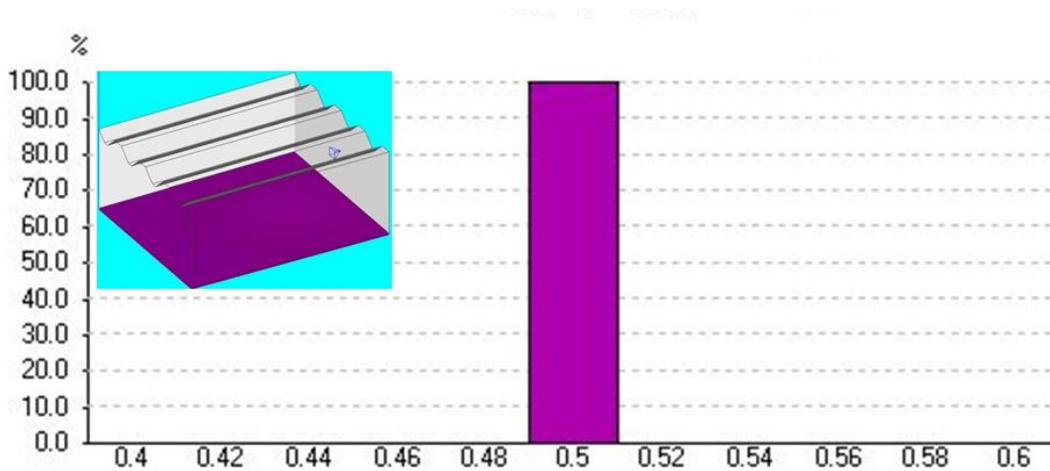


Figura 43 - Distribuição de valores da % de STI por porcentagem de área da sala classificada na tipologia 9 - EASE

Após análise dos mapeamentos, nota-se que a inteligibilidade mesmo sendo calculada de forma analítica, considerando o nível de voz do professor e o ruído de fundo ideal, não atendem aos parâmetros mínimos necessários conforme comprovado por outras pesquisas descritas na revisão bibliográfica.

A compilação dos dados obtidos nos cálculos analíticos pode ser verificada na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados de STI analítico das nove tipologias em relação ao valor de referência da norma ABNT NBR IEC 60268-16

Tipologia	STI Mínimo	STI Máximo	Classificação	Classificação de acordo com a IEC 60268-16
1	0,42	0,5	Regular	0,62
2	0,51	0,52	Aceitável	0,62
3	0,48	0,6	Aceitável	0,62
4	0,44	0,54	Regular	0,62
5	0,44	0,5	Regular	0,62
6	0,5	0,5	Aceitável	0,62
7	0,5	0,52	Aceitável	0,62
8	0,58	0,59	Aceitável	0,62
9	0,5	0,5	Aceitável	0,62

A análise da Tabela 10 permite identificar que as tipologias 1, 4 e 5 são consideradas regulares a face da inteligibilidade, as demais tipologias são consideradas aceitáveis a partir da avaliação do STI em relação ao resultado de forma geral. Porém, quando comparado a classificação D da norma ABNT NBR IEC 60268-16:2018, nenhuma das tipologias atendem ao valor de referência do STI para a classificação de sala de aula. Pode-se destacar, que nos resultados das tipologias, o valor obtido da relação entre o menor STI obtido e o valor normativo é de até 0,68 que está abaixo em 32% do valor necessário para que as salas de aula possuam inteligibilidade adequada de acordo com os valores normativos.

## 4.2 AVALIAÇÃO ACÚSTICA *IN LOCO* DAS SALAS DE AULA

### 4.2.1 Tempo de Reverberação

Para obtenção do tempo de reverberação *in loco*, optou-se por medir o valor de T30, que significa o decaimento de 30 dB do som após cessada a fonte sonora. O valor obtido foi extrapolado para o valor de T60, como é habitualmente realizado em medições do tempo de reverberação.

A norma ISO 3382-2 (2008) permite a utilização de dois métodos diferentes: o ruído interrompido e o método de resposta impulsiva. Optou-se por utilizar o método de ruído interrompido que consiste na interrupção do sinal gerado na caixa de som.

A compilação dos resultados dos dados obtidos *in loco*, são apresentados na Figura 44. Pode-se notar que há uma diferença significativa dos dados analíticos apresentados na Figura 24 que foram calculados a partir das equações descritas na ABNT NBR 12179:1992.

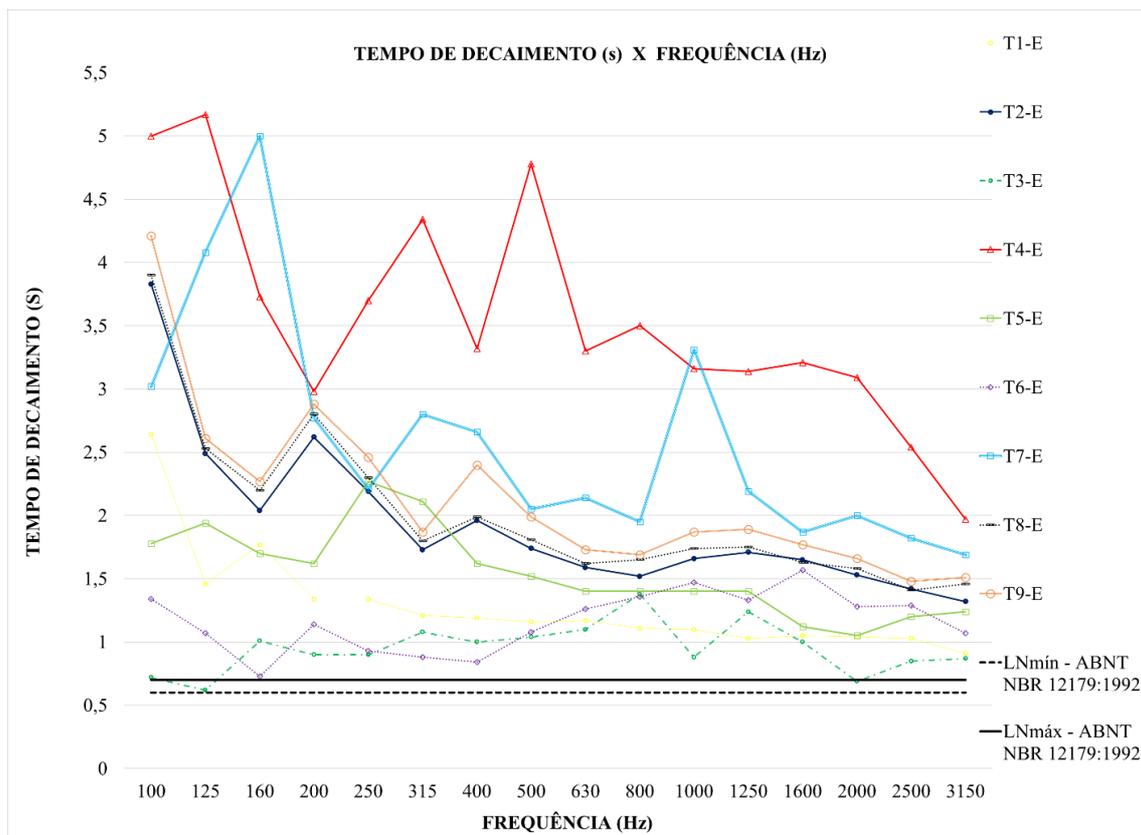


Figura 44 - Resultado do tempo de reverberação *in loco*

onde:

TN-R

T - Tipologia;

N - Número da tipologia;

R - Resultado Experimental (E);

LNmáx – Limite superior do tempo de reverberação estabelecido pela ABNT NBR 12179:1992;

LNmín – Limite inferior do tempo de reverberação estabelecido pela ABNT NBR 12179:1992.

Na análise da Figura 44, o menor tempo de decaimento foi obtido na tipologia 3, que apresentou o resultado mais próximo ao valor normativo, com TR de 1,04 segundos em 500 Hz enquanto a tipologia 4 apresentou o maior decaimento de 4,78 segundos. Com isso, pode-se destacar que a tipologia 4 apresentou um dos maiores tempos de reverberação no cálculo analítico e o maior na verificação *in loco*.

No entanto, para todas as salas e situações analisadas o tempo de reverberação não atende aos valores de referência das normas ABNT NBR 12179:1992 e ANSI S12.60, que é de 0,6 a 0,7 segundos dependendo do volume da sala estudada.

### 4.3 COMPARAÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO ANALÍTICO E EXPERIMENTAL

A seguir serão expostos os resultados encontrados do tempo de TR calculados de forma analítica e *in loco*. As curvas são apresentadas na Figura 45.

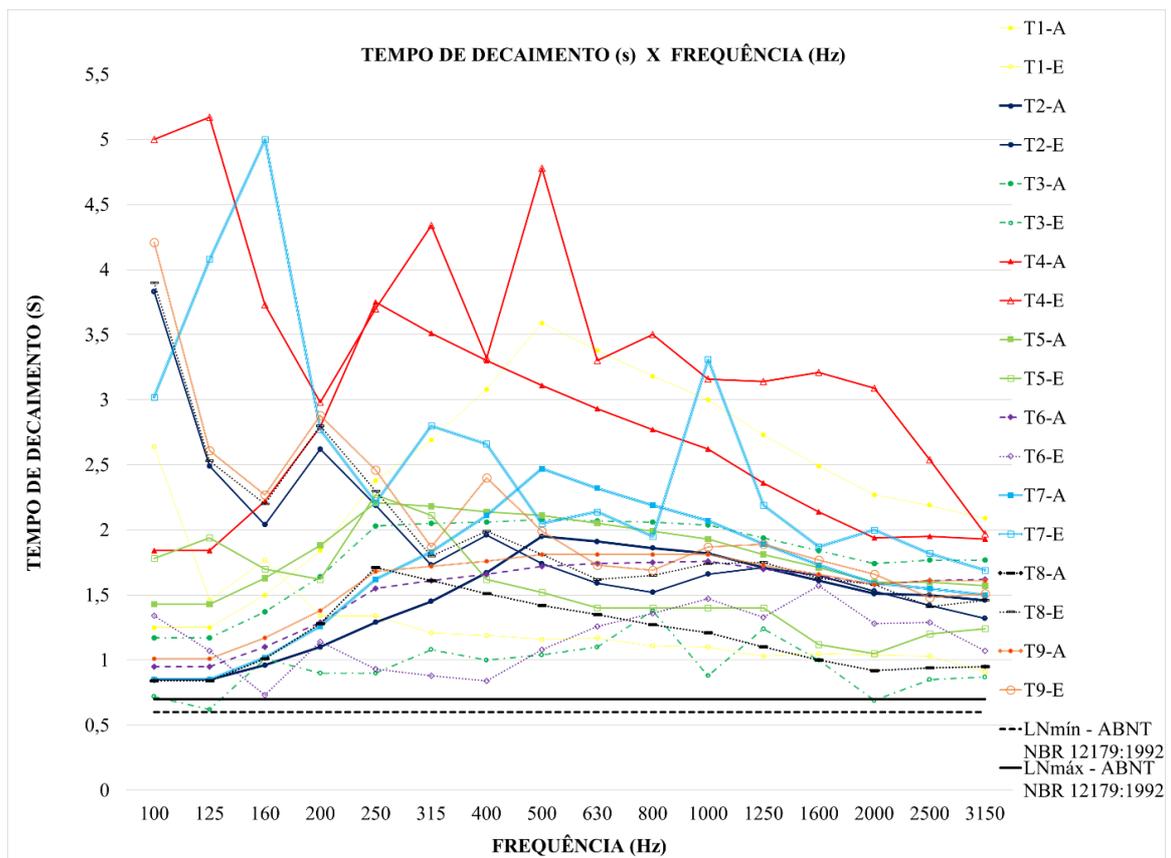


Figura 45 - Comparação dos resultados do TR obtido *in loco* e calculado de forma analítica

onde:

TN-R

T - Tipologia;  
 N - Número da tipologia;  
 R - Resultado Analítico (A) e Resultado Experimental (E);  
 LNmáx – Limite superior do tempo de reverberação estabelecido pela ABNT NBR 12179:1992;  
 LNmín – Limite inferior do tempo de reverberação estabelecido pela ABNT NBR 12179:1992.

Mediante a análise dos valores da Figura 45, evidencia-se que o intervalo de valores ótimos referenciados está relacionado com a necessidade de se ter baixos valores de reverberação, com o intuito de não prolongar o ruído nas salas de aula. Pode-se observar que, todas as tipologias estão acima dos valores recomendados, tanto na avaliação analítica quanto na avaliação experimental.

Vale ressaltar que mesmo que a inteligibilidade esteja classificada com aceitável o tempo de reverberação está muito acima do limite normativo conforme destacado na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados do TR analítico e experimental das nove tipologias em relação ao valor de referência ABNT NBR 12179:1992

Tipologia	TN-A	TN-E	LNmáx	TN-A / LNmáx	TN-E / LNmáx
1	3,59	1,16	0,7	5,13	1,66
2	1,95	1,74	0,6	3,25	2,90
3	2,08	1,04	0,6	3,47	1,73
4	3,11	4,78	0,7	4,44	6,83
5	3,11	1,52	0,7	4,44	2,17
6	3,11	1,08	0,6	5,18	1,80
7	3,11	2,05	0,6	5,18	3,42
8	3,11	1,81	0,6	5,18	3,02
9	3,11	1,99	0,6	5,18	3,32

Na análise da Tabela 11, pode-se ressaltar que os valores obtidos da relação entre o valor normativo e os resultados analíticos e experimentais. Quanto maior for o valor pior é o resultado acústico em relação ao valor normativo. Após análise dos dados obtivemos a relação de 5,18 nos cálculos analíticos e de até 6,83 nos resultados experimentais. Os valores obtidos demonstram que estão muito acima do valor normativo e as relações obtidas devem ser  $\leq 1$ .

Com isso, resalta-se que o tempo de reverberação não está adequado para as atividades em que as salas se destinam que é o ensino-aprendizagem.

## 4.4 AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DO USUÁRIO

### 4.4.1 Aplicação do questionário

Para avaliação da percepção dos alunos, foi aplicado um questionário aos presentes e os dados foram verificados por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. Participaram da pesquisa 275 alunos, dos quais 125 se enquadravam no turno diurno e 150 no turno noturno, 160 eram mulheres e 115 eram homens. Vale ressaltar, que as conclusões foram retiradas da amostra coletada nos questionários e que, para conclusões mais precisas, seria necessário um estudo mais aprofundado.

Para avaliação estatística das respostas dadas pelos participantes da pesquisa, em cada pergunta do questionário, foi realizada a análise de frequência das respostas de forma geral, separadas por turno (diurno e noturno) e separadas por sexo (masculino e feminino).

A distribuição das respostas de cada pergunta foi comparada por turno e por sexo por meio do teste U de Mann-Whitney de amostras independentes. Adotou-se como nível de significância estatística para determinação de diferenças na distribuição das respostas  $p \leq 0,05$ . A análise das variáveis do presente estudo foi realizada no software estatístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS, versão 21).

A distribuição de frequência de respostas da Pergunta 1 “Onde você se senta habitualmente nas aulas?” é apresentada na Figura 46.

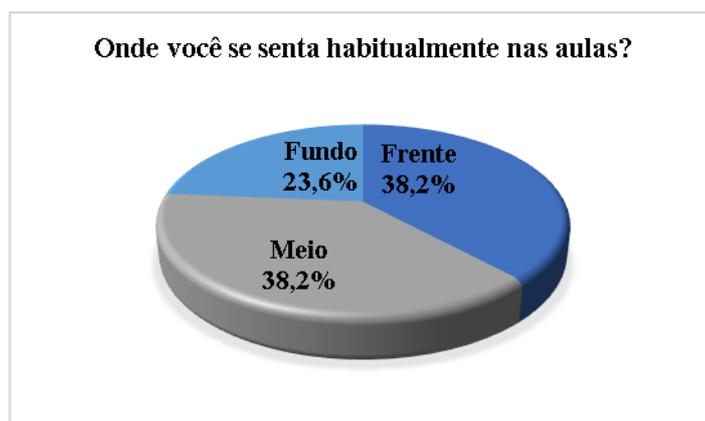


Figura 46 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 1 considerando toda a amostra

Afirmaram sentar na frente 105 alunos (38,2%), enquanto 105 alunos (38,2%) afirmaram sentar no meio e 65 alunos (23,6%) afirmaram sentar no fundo.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 1 é apresentada na Figura 47.

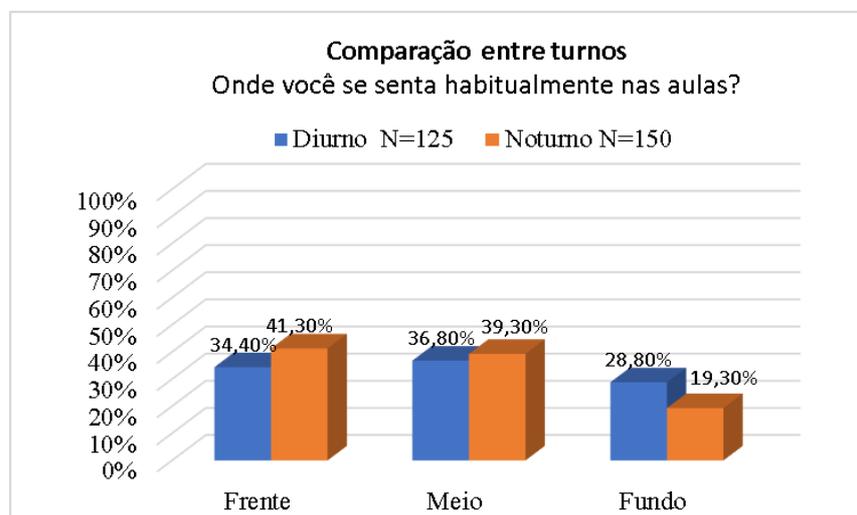


Figura 47 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 1 considerando o turno

Não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney  $U = 8.330,00$ ;  $p = 0,089$ ). No turno diurno, 43 alunos (34,4%) afirmaram sentar na frente, 46 alunos (36,8%) afirmaram sentar no meio e 36 alunos (28,8%) afirmaram sentar no fundo. No turno noturno, 62 alunos (41,3%) afirmaram sentar na frente, 59 alunos (39,3%) afirmaram sentar no meio e 29 alunos (19,3%) afirmaram sentar no fundo.

Pode-se salientar que como não houve diferença significativa entre os turnos, a amostra está bem distribuída, o que é necessário para o conhecimento do comportamento dos alunos nos dois turnos.

A distribuição de frequência de respostas entre sexos da Pergunta 1 é apresentada na Figura 47.

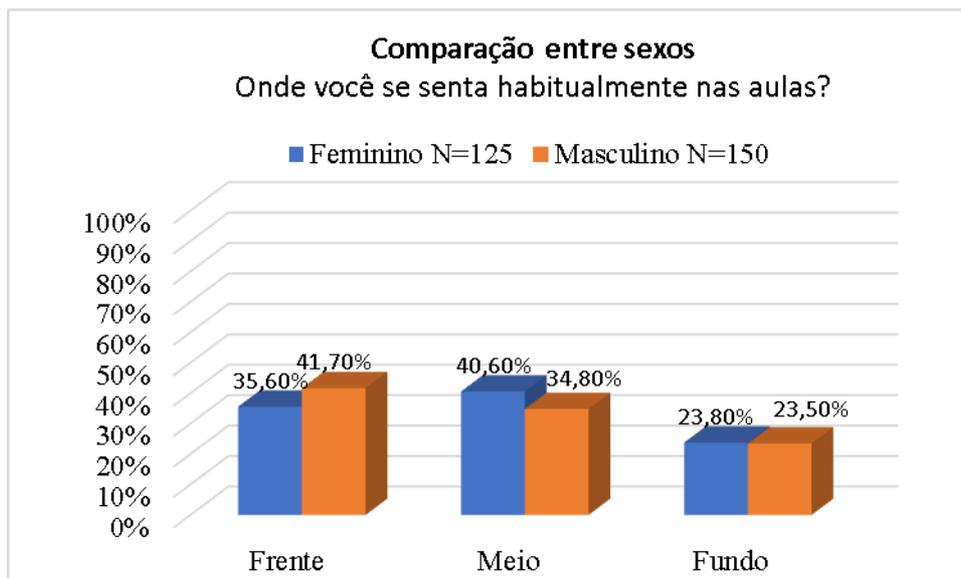


Figura 48 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 1 considerando o sexo

Também não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney U = 9.645,00,0; p = 0,465). No sexo feminino, 57 alunos (35,6%) afirmaram sentar na frente, 65 alunos (40,6%) afirmaram sentar no meio e 38 alunos (23,8%) afirmaram sentar no fundo. No sexo masculino, 48 alunos (41,7%) afirmaram sentar na frente, 40 alunos (34,8%) afirmaram sentar no meio e 27 alunos (23,5%) afirmaram sentar no fundo.

A análise da frequência de respostas da Pergunta 2 (Como você considera o ruído fora da sala) está exposta na Figura 49.



Figura 49 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 2 considerando toda a amostra

Afirmaram ficar sem mudança 33 alunos (12%), enquanto 177 alunos (64,4%) afirmaram ficar um pouco mais silencioso e 65 alunos (23,6%) afirmaram ficar muito mais silencioso. Pode-se ressaltar que de acordo com as respostas o ruído fora da sala de aula interfere nas atividades dentro da sala de aula, e com isso, o espaço deveria ser mais silencioso.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 2 é apresentada na Figura 50.

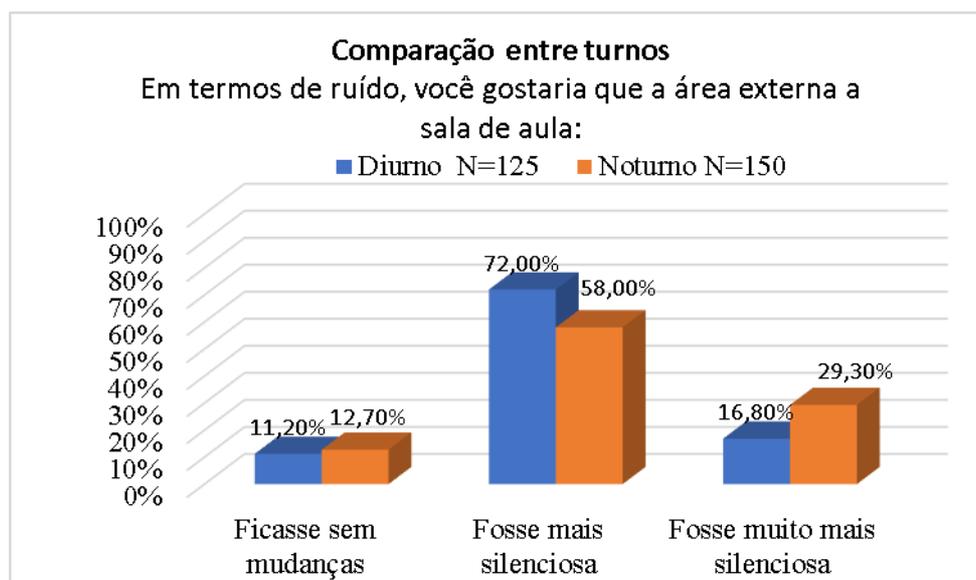


Figura 50 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 2 considerando o turno

Não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney U = 10.304,00; p = 0,095). No turno diurno, 14 alunos (11,2%) afirmaram ficar sem mudança, 90 alunos (72%) afirmaram ficar um pouco mais silencioso e 21 alunos (16,8%) afirmaram ficar muito mais silencioso. No turno noturno, 19 alunos (12,7%) afirmaram ficar sem mudança, 87 alunos (58%) afirmaram ficar um pouco mais silencioso e 44 alunos (29,3%) afirmaram ficar muito mais silencioso.

Neste resultado, pode-se destacar que mais de 29% dos alunos do turno noturno gostariam que a área externa da sala de aula fosse muito mais silenciosa enquanto que para este parâmetro no turno diurno é de apenas 16,8%. Este dado pode ser validado a partir das observações in loco, na qual durante a entrega dos questionários, foi possível presenciar aglomerações em frente as salas de aula provenientes a festas nos corredores.

A distribuição de frequência de respostas entre sexos da Pergunta 2 é apresentada na Figura 51.

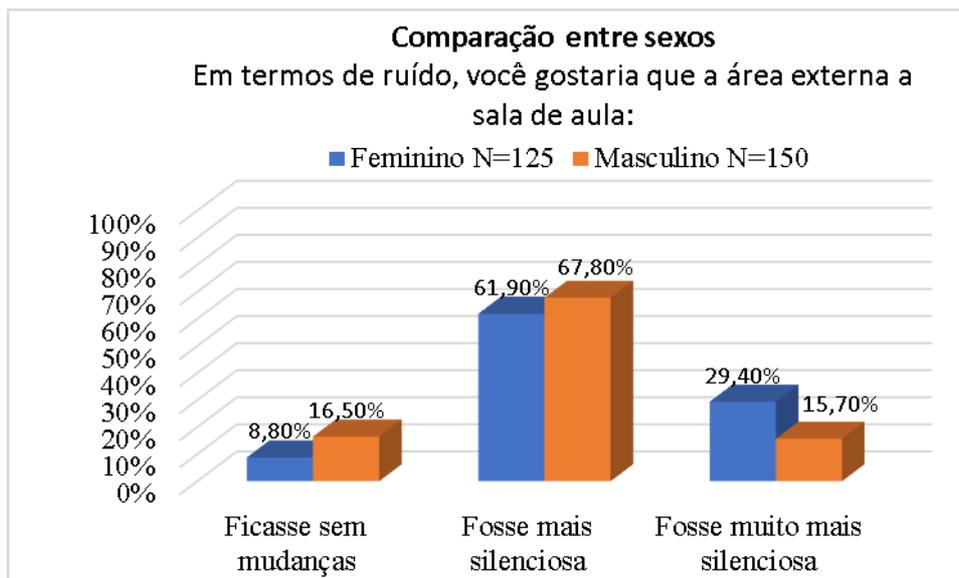


Figura 51 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 2 considerando o sexo

Entretanto, houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney U = 10.857,00; p = 0,003). No sexo feminino, 14 alunos (8,8%) afirmaram ficar sem mudança, 99 alunos (61,9%) afirmaram ficar um pouco mais silencioso e 47 alunos (29,4%) afirmaram ficar muito mais silencioso. Já no sexo masculino, 19 alunos (16,5%) afirmaram ficar sem mudança, 78 alunos (67,8%) afirmaram ficar um pouco mais silencioso e 18 alunos (15,7%) afirmaram ficar muito mais silencioso.

Na análise entre sexos, pode-se destacar que o sexo feminino gostaria que a área externa fosse muito mais silenciosa em um número duas vezes maior que o sexo masculino.

A análise de frequência de respostas da Pergunta 3 (Como você considera o ruído na sala de aula) está exposta na Figura 52.



Figura 52 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 3 considerando toda a amostra

Afirmaram ficar sem mudança 57 alunos (20,7%), enquanto 163 alunos (59,3%) afirmaram ser um pouco mais silenciosa e 55 alunos (20%) afirmaram ser muito mais silenciosa.

A análise da Figura 52, permite identificar que mais da metade dos alunos gostariam que a sala fosse um pouco mais silenciosa. Este resultado pode indicar a influência tanto do ruído interno quanto do ruído externo conforme indicado na Figura 49, em que 64,4% dos alunos gostariam que a área externa fosse um pouco mais silenciosa.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 3 é apresentada na Figura 53.

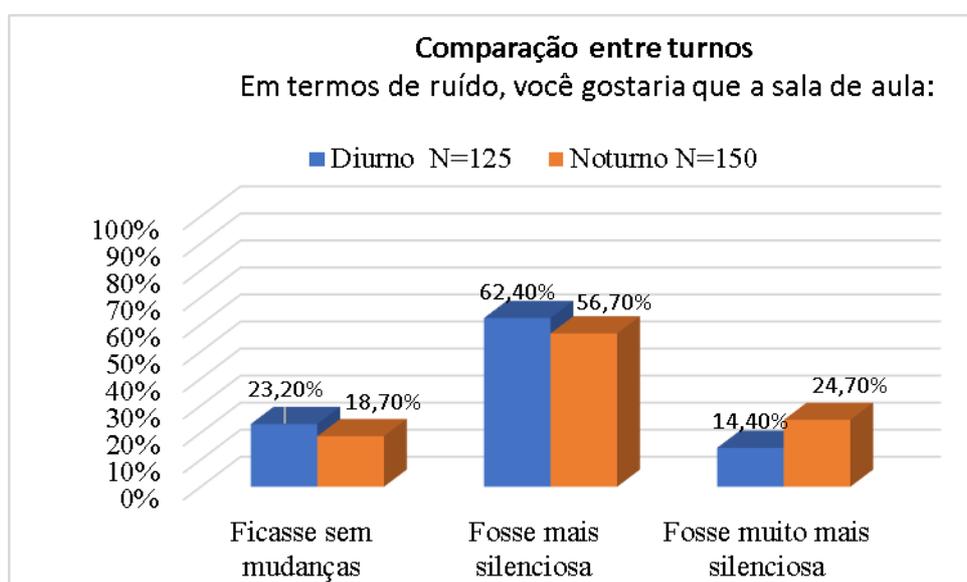


Figura 53 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 3 considerando o turno

Não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney U = 10.478,00; p = 0,056). No turno diurno, 29 alunos (23,2%) afirmaram ficar sem mudança, 78 alunos (62,4%) afirmaram ser um pouco mais silenciosa e 18 alunos (14,4%) afirmaram ser muito mais silenciosa. No turno noturno, 28 alunos (18,7%) afirmaram ficar sem mudança, 85 alunos (56,7%) afirmaram ser um pouco mais silenciosa e 37 alunos (24,7%) afirmaram ser muito mais silenciosa.

Na análise da Figura 53, pode-se ressaltar assim como na Pergunta 2, os resultados apontam que o turno noturno gostaria em maior porcentagem que o local fosse muito mais silencioso, tanto para dentro da sala de aula como fora..

A distribuição de frequência de respostas entre sexos da Pergunta 3 é apresentada na Figura 54.

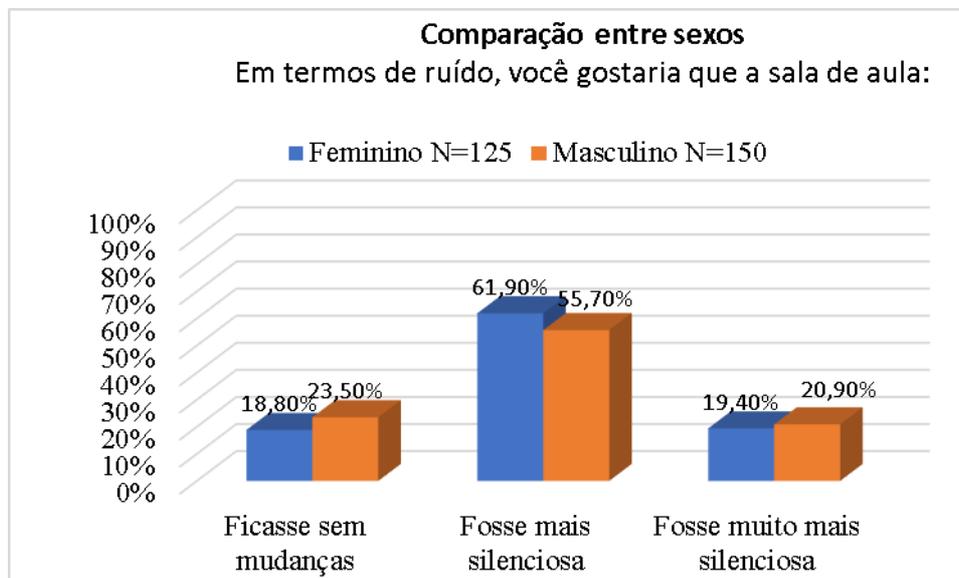


Figura 54 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 3 considerando o sexo

Quando o resultado é avaliado entre sexos, também não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney U = 10.478,00; p = 0,056). No sexo feminino, 30 alunos (18,8%) afirmaram ficar sem mudança, 99 alunos (61,9%) afirmaram ser um pouco mais silenciosa e 31 alunos (19,4%) afirmaram ser muito mais silenciosa. No sexo masculino, 27 alunos (23,5%) afirmaram ficar sem mudança, 64 alunos (55,7%) afirmaram ser um pouco mais silenciosa e 24 alunos (20,9%) afirmaram ser muito mais silenciosa.

A análise de frequência de respostas da Pergunta 4 (O som ecoa demasiadamente na sala) está exposta na Figura 55.



Figura 55 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 4 considerando toda a amostra. Afirmaram que sim 78 alunos (28,4%), enquanto 141 alunos (51,3%) afirmaram que não e 56 alunos (20,4%) não souberam responder.

O resultado da distribuição das respostas pode estar ligado ao local em que o aluno senta na sala de aula, 38,2 % sentam no fundo da sala. O resultado pode estar ligado aos 28,4% dos alunos afirmam que o som ecoa demasiadamente.

Pode-se ressaltar que 20,4% dos alunos não ter o conhecimento do que é o som ecoar dentro da sala também é um fator que deve ser melhor estudado. Durante a aplicação do questionário foi realizado uma explicação do termo para aqueles que não compreenderam a resposta, e mesmo assim, houve um alto índice da não compreensão do termo.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 4 é apresentada na Figura 56.

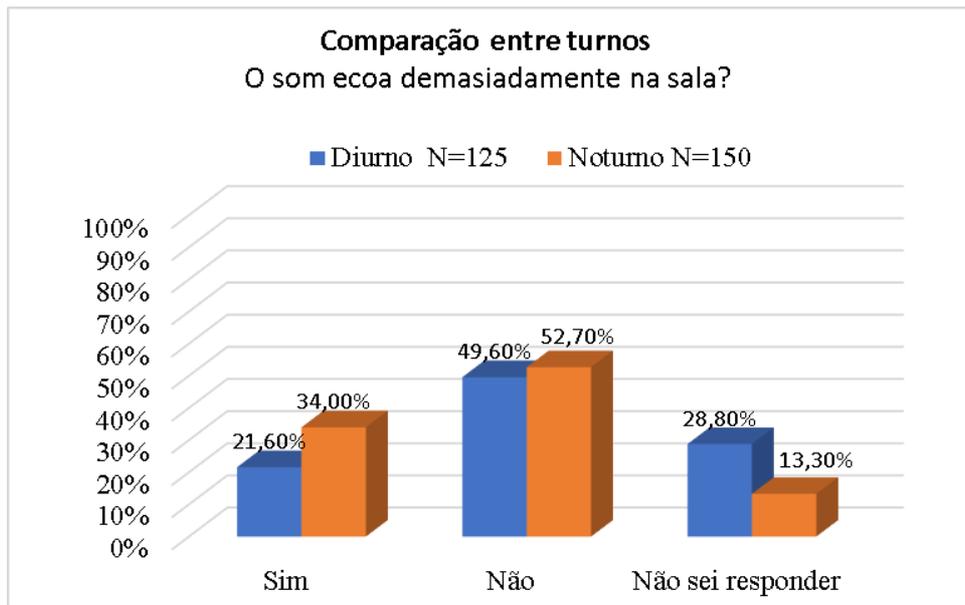


Figura 56 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 4 considerando o turno

Houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney  $U = 7.410,00$ ;  $p = 0,001$ ). No turno diurno, 27 alunos (21,6%) afirmaram que sim, 62 alunos (49,6%) afirmaram que não, e 36 alunos (28,8%) não souberam responder. No turno noturno, 51 alunos (34%) afirmaram que sim, 79 alunos (52,7%) afirmaram que não, e 20 alunos (13,3%) não souberam responder.

A diferença significativa pode estar relacionada a dinâmica da sala de aula na qual o turno noturno considera que o ruído ecoa mais que o turno diurno. Outro fator que pode estar relacionado ao resultado é o nível de ruído de fundo.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 4 é apresentada na Figura 57.

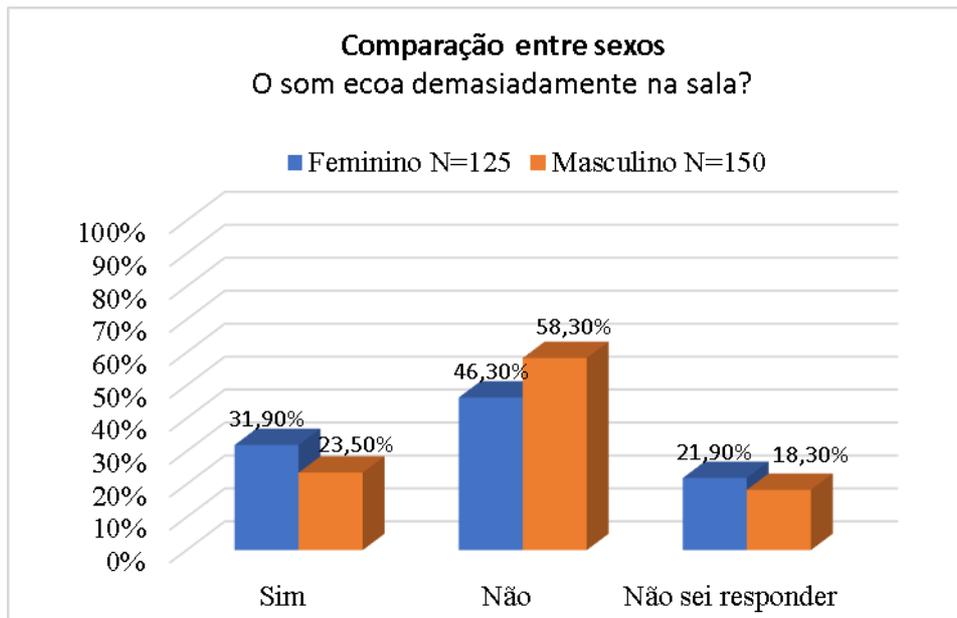


Figura 57 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 4 considerando o sexo

Por outro lado, não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney U = 9.439,00; p = 0,676). No sexo feminino, 51 alunos (31,9%) afirmaram que sim, 74 alunos (46,3%) afirmaram que não, e 35 alunos (21,9%) não souberam responder. No sexo masculino, 27 alunos (23,5%) afirmaram que sim, 67 alunos (58,3%) afirmaram que não, e 21 alunos (18,3%) não souberam responder.

A análise de frequência de respostas da Pergunta 5 (O ruído na sala de aula te impede de ouvir bem o professor) está exposta na Figura 58.

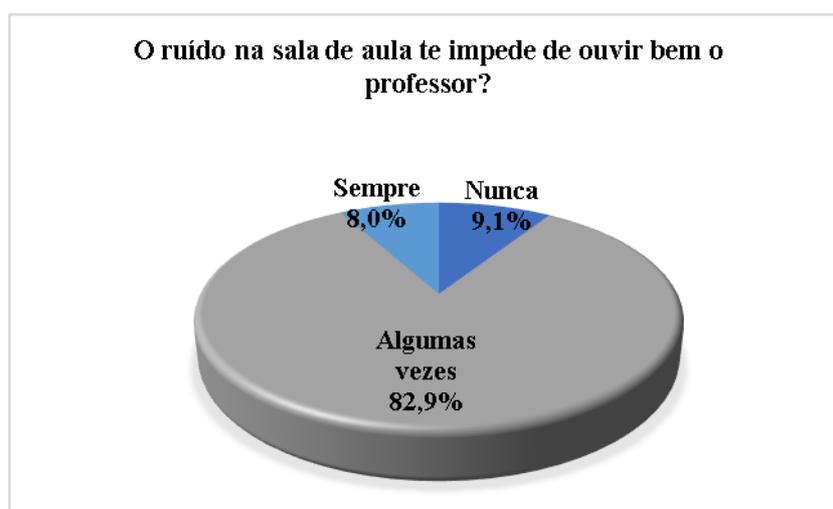


Figura 58 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 5 considerando toda a amostra

De acordo com a análise da Figura 58, 25 alunos (9,1%) afirmaram que o ruído nunca o impede de ouvir bem o professor, enquanto 228 alunos (82,9%) afirmaram algumas vezes impedir e 22 alunos (8,0%) afirmaram que sempre o ruído impede de ouvir bem o professor.

A porcentagem de alunos que algumas vezes não houve bem o professor pode estar diretamente ligada a inteligibilidade das salas. A frequência de respostas sendo 82,9% afirmando que em algum momento o ruído impede a comunicação comprova que o STI não está adequado tanto na percepção dos alunos quanto nos cálculos analíticos realizados para a %ALCons e TR a partir dos valores de referência das normas ABNT NBR IEC 60268-16:2018 e ABNT NBR 12179:1992. Este dado também está diretamente ligado ao eco existente na sala de aula. Porém, na análise da Figura 55, pode-se destacar que mais da metade dos alunos não consideram que o som ecoa demasiadamente na sala.

O resultado indica que, provavelmente, apenas quem senta na frente consegue entender bem que se restringe a 9,1% dos alunos. Nos mapeamentos do STI, o fator pode ser visualizado em todas as tipologias que estão apresentados na Figura 34 a Figura 43.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 5 é apresentada na Figura 59.

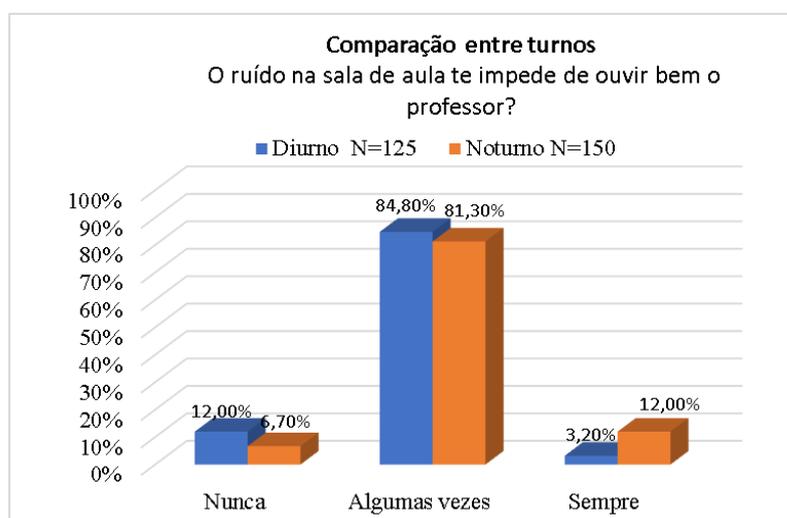


Figura 59 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 5 considerando o turno

Houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney  $U = 10.585,00$ ;  $p = 0,005$ ). No turno diurno, 15 alunos (12%) afirmaram nunca impedir, 106 alunos (84,8%) afirmaram algumas vezes impedir e 4 alunos (3,2%) afirmaram sempre impedir. No turno noturno, 10 alunos (6,7%) afirmaram nunca impedir, 122 alunos (81,3%) afirmaram algumas vezes impedir e 18 alunos (12%) afirmaram sempre impedir.

A distribuição de frequência de respostas entre sexos da Pergunta 5 é apresentada na Figura 60.

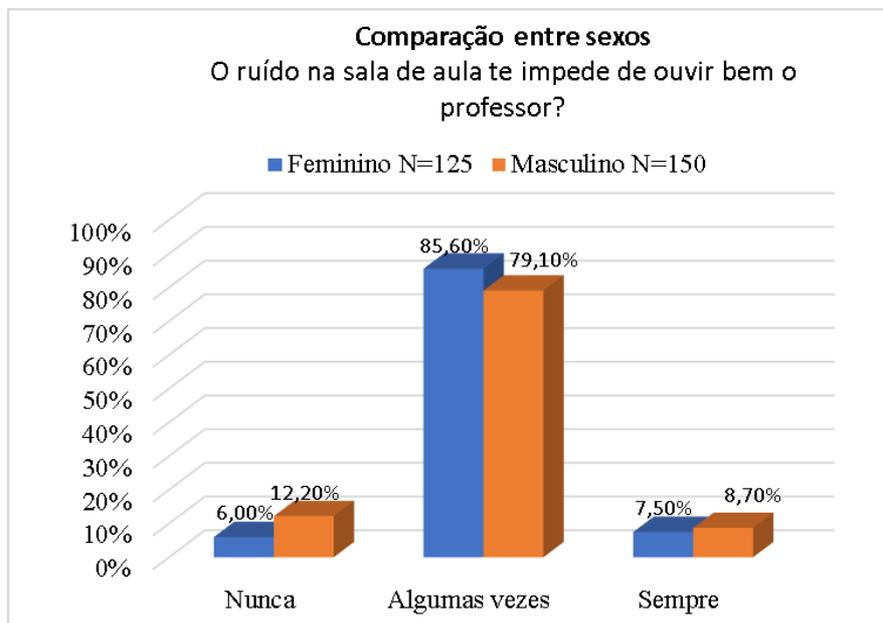


Figura 60 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 5 considerando o sexo

Por outro lado, não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney U = 9.548,00; p = 0,413). No sexo feminino, 11 alunos (6%) afirmaram nunca impedir, 137 alunos (85,6%) afirmaram algumas vezes impedir e 12 alunos (7,5%) afirmaram sempre impedir. No sexo masculino, 14 alunos (12,2%) afirmaram nunca impedir, 91 alunos (79,1%) afirmaram algumas vezes impedir e 10 alunos (8,7%) afirmaram sempre impedir.

A análise da frequência de respostas da Pergunta 6 (Quando você não está ouvindo bem seu professor/professora devido ao ruído na sala de aula, qual sua atitude) está exposta na Figura 61.

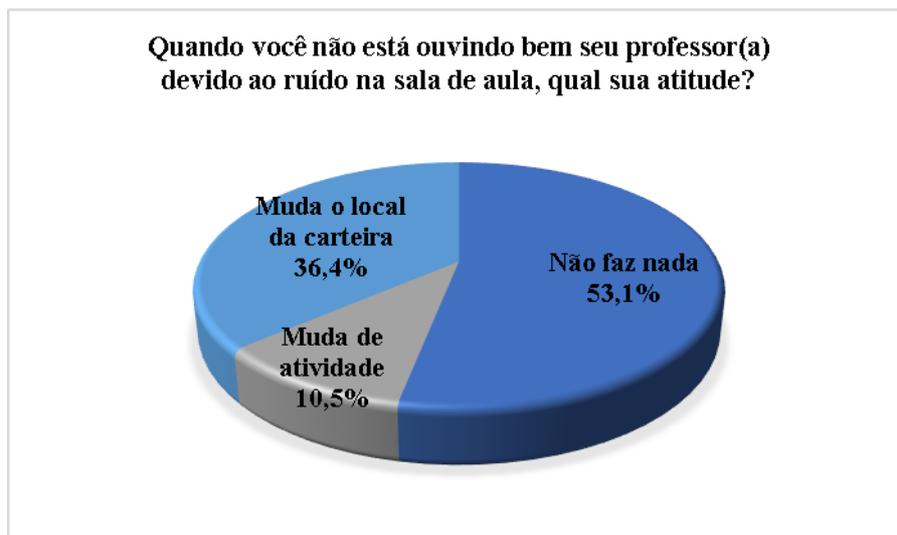


Figura 61 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 6 considerando toda a amostra. Afirmaram não fazer nada, 146 alunos (53,1%), enquanto 29 alunos (10,5%) afirmaram mudar de atividade e 100 alunos (36,4%) afirmaram mudar o local da carteira.

De acordo com a análise da Figura 61, pode-se destacar que mais da metade dos alunos após não ouvir bem o professor não tomam nenhuma atitude. Com isso, o resultado pode estar ligado o mal desempenho dos alunos.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 6 é apresentada na Figura 62.

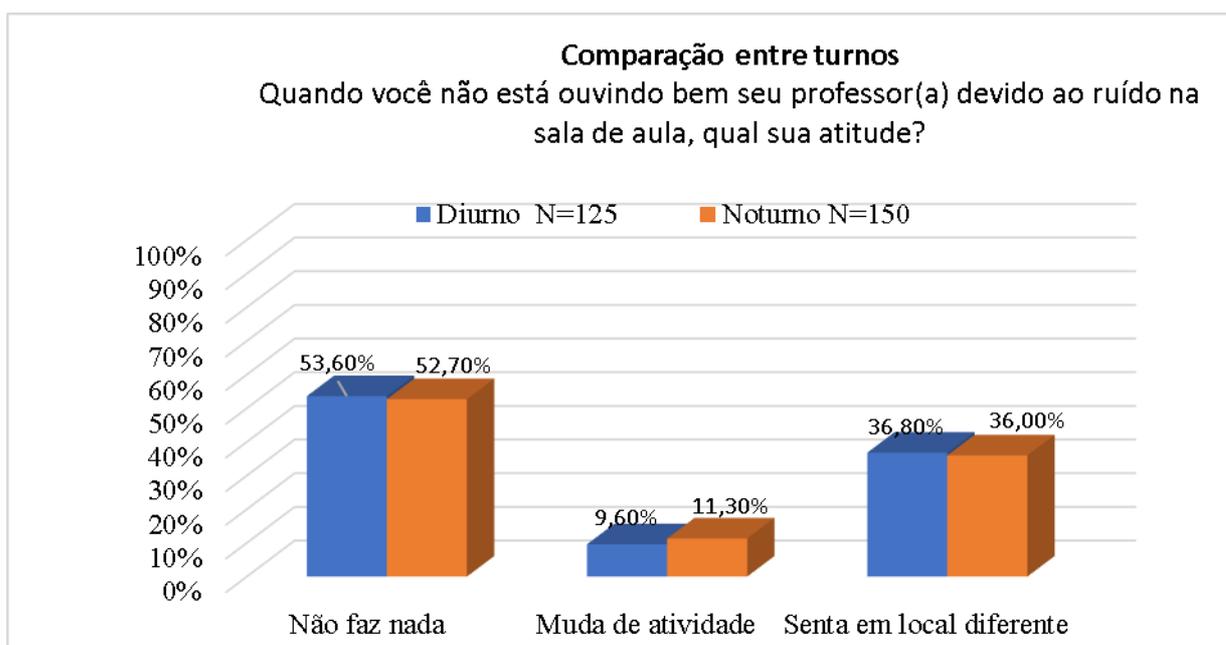


Figura 62 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 6 considerando o turno

Não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney U = 9.395,00; p = 0,972). No turno diurno, 67 alunos (53,6%) afirmaram não fazer nada, 12 alunos (9,6%) afirmaram mudar de atividade e 46 alunos (36,8%) afirmaram mudar o local da carteira. No turno noturno, 79 alunos (52,7%) afirmaram não fazer nada, 17 alunos (11,3%) afirmaram mudar de atividade e 54 alunos (36%) afirmaram mudar o local da carteira.

A distribuição de frequência de respostas entre sexos da Pergunta 6 é apresentada na Figura 63.

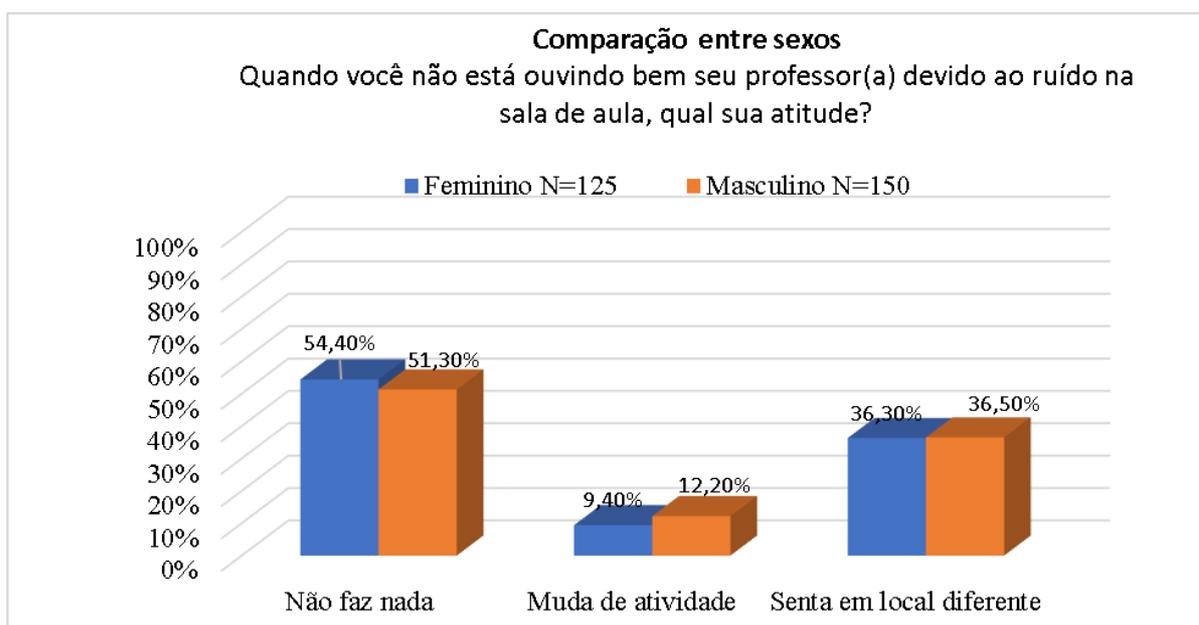


Figura 63 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 6 considerando o sexo

Da mesma forma, não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney U = 9.008,50; p = 0,742). No sexo feminino, 87 alunos (54,4%) afirmaram não fazer nada, 15 alunos (9,4%) afirmaram mudar de atividade e 58 alunos (36,3%) afirmaram mudar o local da carteira. No sexo masculino, 59 alunos (51,3%) afirmaram não fazer nada, 14 alunos (12,2%) afirmaram mudar de atividade e 42 alunos (36,5%) afirmaram mudar o local da carteira.

A análise da frequência de respostas da Pergunta 7 (Você já se sentiu prejudicado em seu aprendizado e suas notas devido à interferência dos ruídos durante a aula) está exposta na Figura 64.

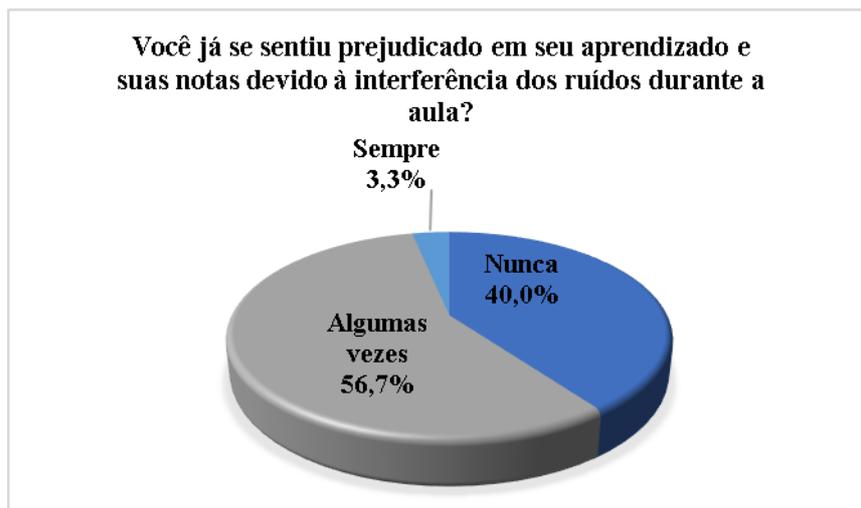


Figura 64 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 7 considerando toda a amostra. Afirmaram nunca terem se sentido prejudicados 110 alunos (40%), enquanto 156 alunos (56,7%) afirmaram terem se sentido prejudicados algumas vezes e 9 alunos (3,3%) afirmaram sempre se sentirem prejudicados.

De acordo com a análise da Figura 64, conforme destacado na Figura 61, 53,1% não tomam nenhuma atitude para melhorar o entendimento e 56,7% dos alunos se sentem prejudicados algumas vezes devido ao ruído.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 7 é apresentada na Figura 65.

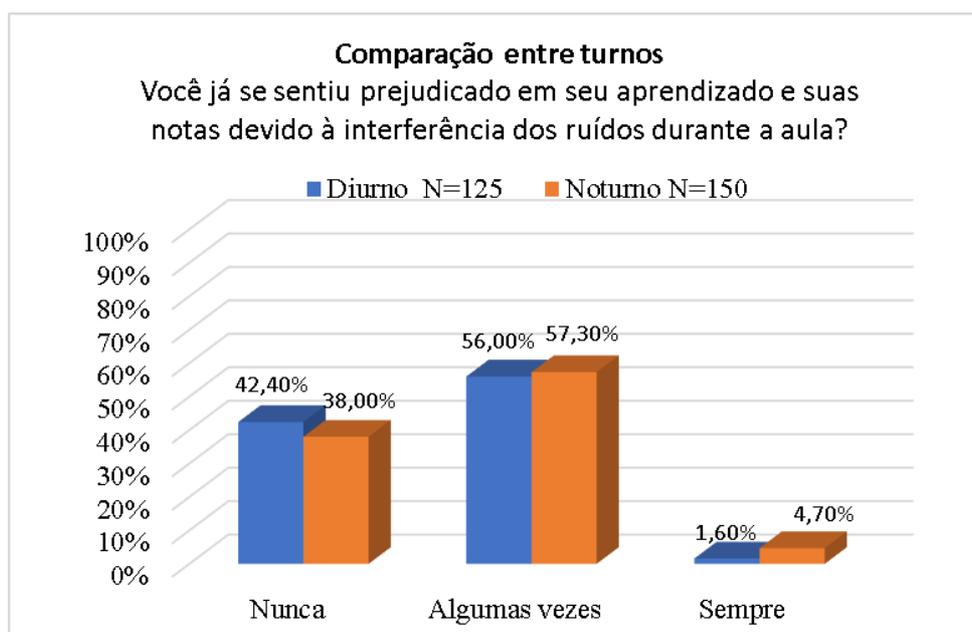


Figura 65 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 7 considerando o turno.

Não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney U = 9.946,50; p = 0,316). No turno diurno, 53 alunos (42,4%) afirmaram nunca terem se sentido prejudicados, 70 alunos (56%) afirmaram terem se sentido prejudicados algumas vezes e 2 alunos (1,6%) afirmaram sempre se sentirem prejudicados. No turno noturno, 57 alunos (38%) afirmaram nunca terem se sentido prejudicados, 86 alunos (57,3%) afirmaram terem se sentido prejudicados algumas vezes e 7 alunos (4,7%) afirmaram sempre se sentirem prejudicados.

A distribuição de frequência de respostas entre sexos da Pergunta 7 é apresentada na Figura 47.

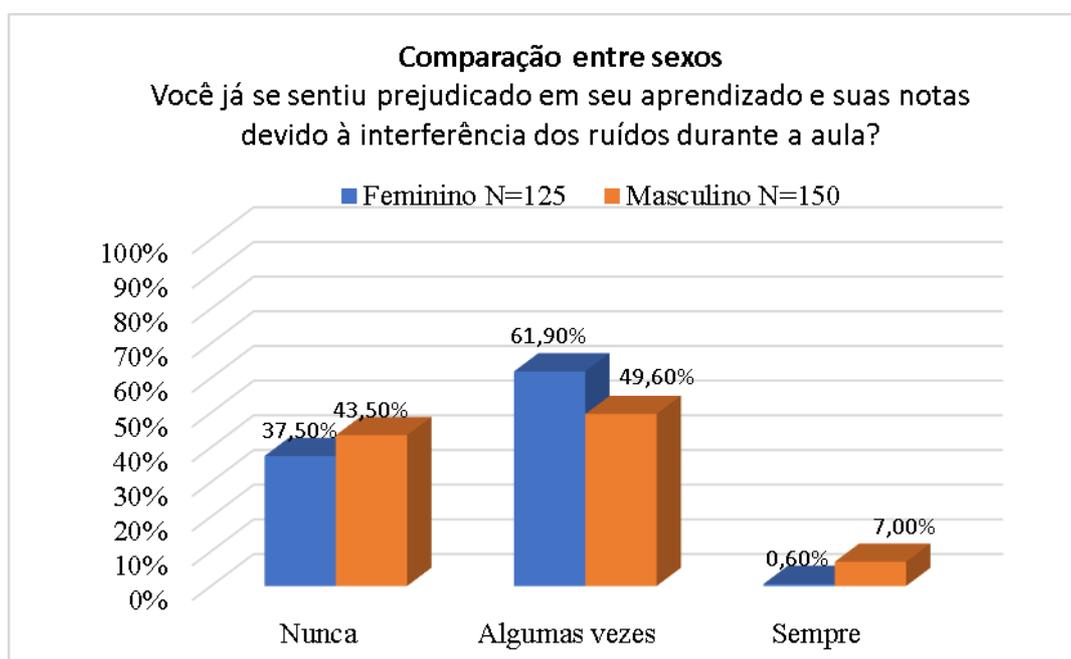


Figura 66 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 7 considerando o sexo

Da mesma forma, não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney U = 9.382,50; p = 747). No sexo feminino, 60 alunos (37,5%) afirmaram nunca terem se sentido prejudicados, 99 alunos (61,9%) afirmaram terem se sentido prejudicados algumas vezes e 1 indivíduo (0,6%) afirmou sempre se sentir prejudicado. No sexo masculino, 50 alunos (43,5%) afirmaram nunca terem se sentido prejudicados, 57 alunos (49,6%) afirmaram terem se sentido prejudicados algumas vezes e 8 alunos (7%) afirmaram sempre se sentirem prejudicados.

A análise da frequência de respostas da Pergunta 8 (O ruído na sala de aula impede que o professor ouça bem os alunos) está exposta na Figura 67.

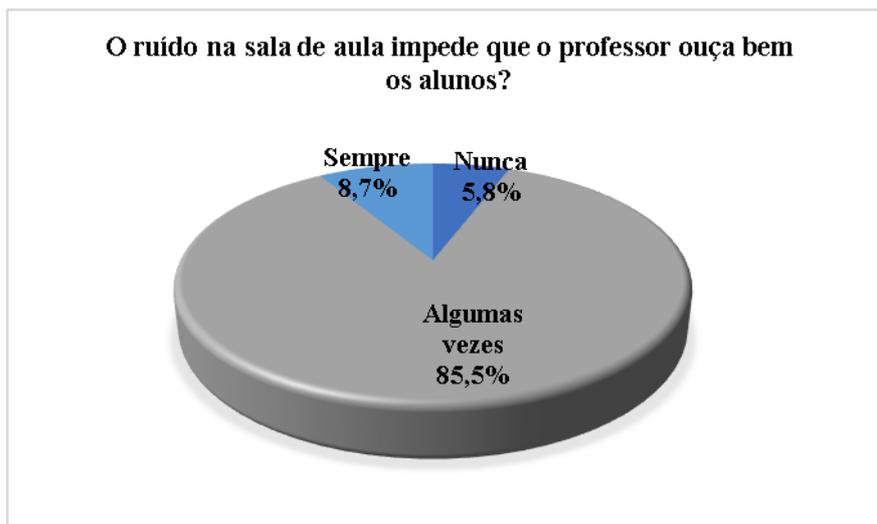


Figura 67 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 8 considerando toda a amostra. Afirmaram nunca impedir, 16 alunos (5,8%), enquanto 235 alunos (85,5%) afirmaram algumas vezes impedir e 24 alunos (8,7%) afirmaram sempre impedir.

Assim como destacado na Figura 58, 82,9% dos alunos consideram que em algumas vezes o ruído impede de ouvir bem o professor e de acordo com a Figura 67, 85,5% dos alunos consideram que o professor em algumas vezes também impede de ouvir bem os alunos. Com a análise destes dados pode-se destacar que a comunicação entre aluno e professor é prejudicada devido as condições acústicas das salas de aula.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 8 é apresentada na Figura 68.

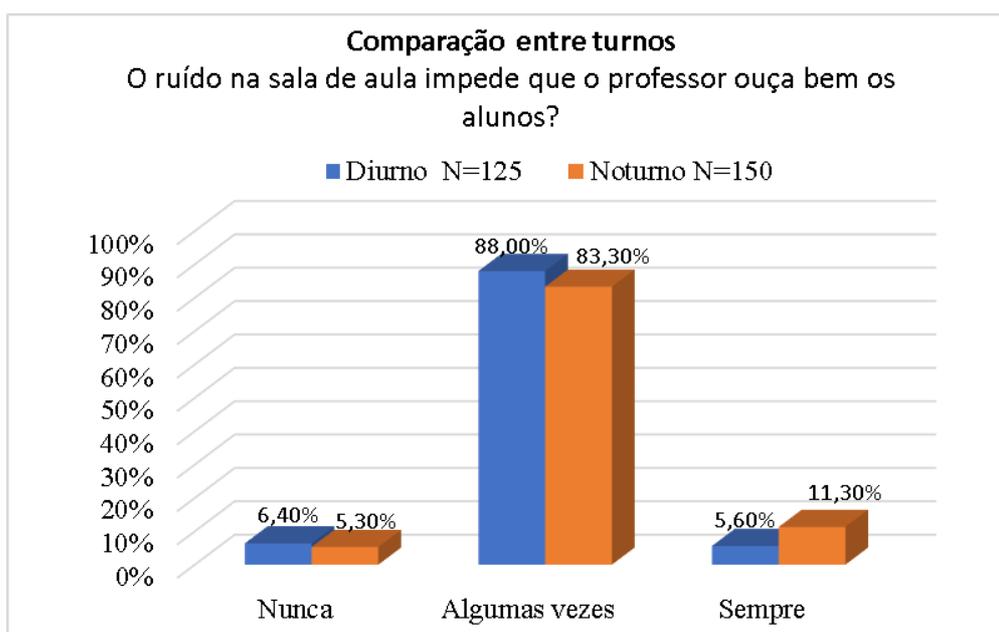


Figura 68 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 8 considerando o turno

Não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney  $U = 9.972,50$ ;  $p = 0,137$ ). No turno diurno, 8 alunos (6,4%) afirmaram nunca impedir, 110 alunos (88%) afirmaram algumas vezes impedir e 7 alunos (5,6%) afirmaram sempre impedir. No turno noturno, 8 alunos (5,3%) afirmaram sempre impedir, 125 alunos (83,3%) afirmaram algumas vezes impedir e 17 alunos (11,3%) afirmaram nunca impedir.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 8 é apresentada na Figura 69.

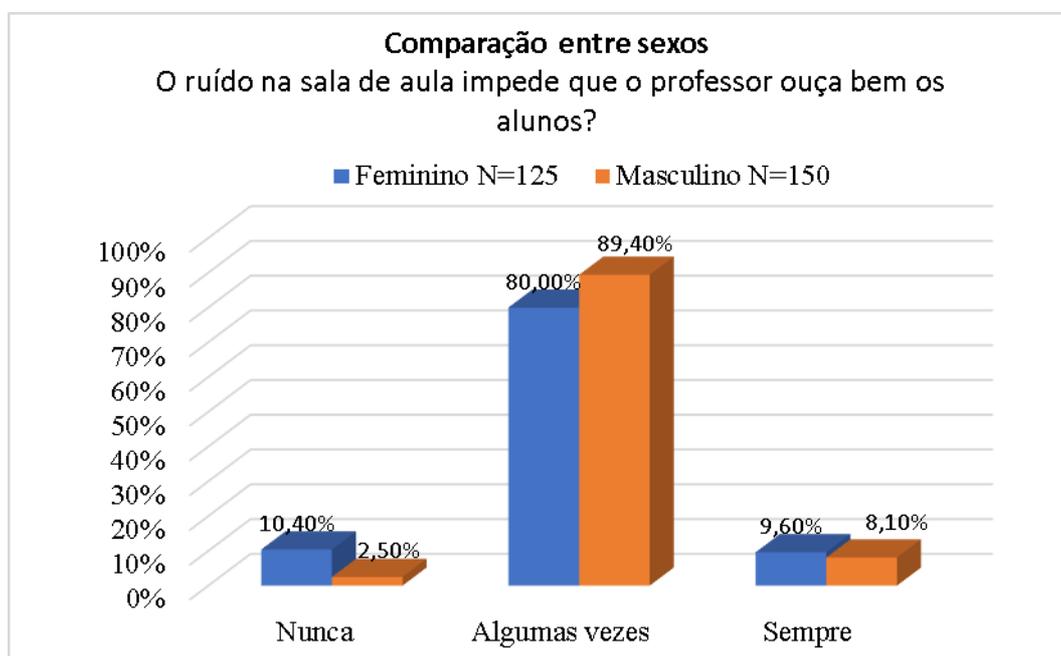


Figura 69 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 8 considerando o sexo

Da mesma forma, não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney  $U = 9.741,50$ ;  $p = 0,174$ ). No sexo feminino, 12 alunos (10,4%) afirmaram nunca impedir, 92 alunos (80%) afirmaram algumas vezes impedir e 11 alunos (9,6%) afirmaram sempre impedir. No sexo masculino, 4 alunos (2,5%) afirmaram nunca impedir, 143 alunos (89,4%) afirmaram algumas vezes impedir e 13 alunos (8,1%) afirmaram sempre impedir.

A análise da frequência de respostas da Pergunta 9 (De que maneira este ruído chega na sala de aula) está exposta na Figura 70.



Figura 70 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 9 considerando toda a amostra. Afirmaram chegar pela porta ou janela, 207 alunos (75,3%), enquanto 6 alunos (2,2%) afirmaram chegar pelo teto e 62 alunos (22,5%) afirmaram chegar pelas paredes.

A análise da Figura 70, permite identificar que o ponto de fuga do ruído nas salas de aula deve-se as esquadrias.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 9 é apresentada na Figura 71.

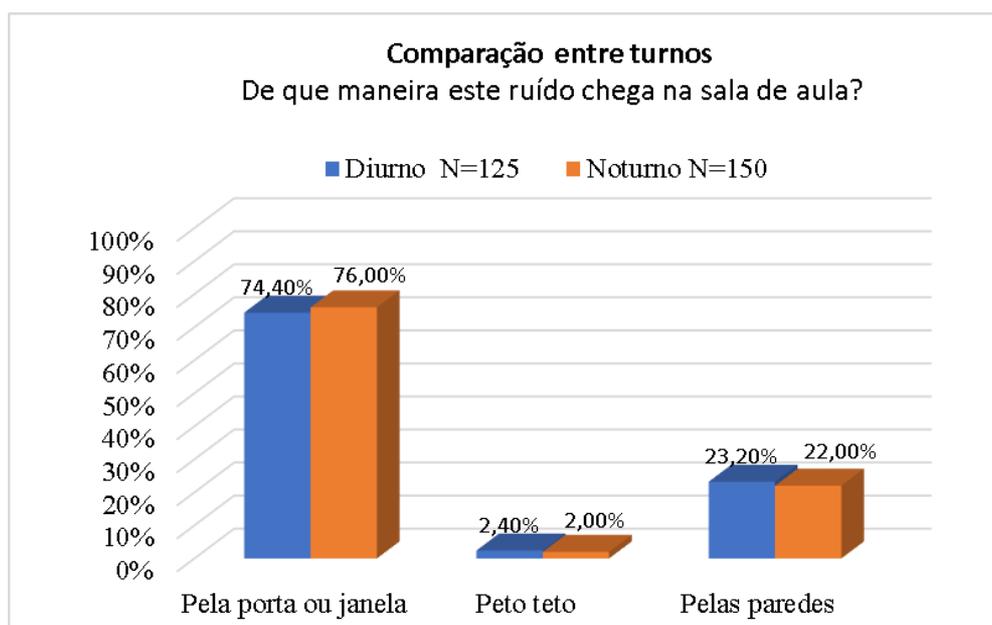


Figura 71 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 9 considerando o turno

Não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney U = 9.231,00; p = 0,770). No turno diurno, 93 alunos (74,4%) afirmaram chegar pela porta ou janela, 3 alunos (2,4%) afirmaram chegar pelo teto e 29 alunos (23,2%) afirmaram chegar pelas paredes. No turno noturno, 114 alunos (76%) afirmaram chegar pela porta ou janela, 3 alunos (2%) afirmaram chegar pelo teto e 33 alunos (22%) afirmaram chegar pelas paredes.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 9 é apresentada na Figura 72.

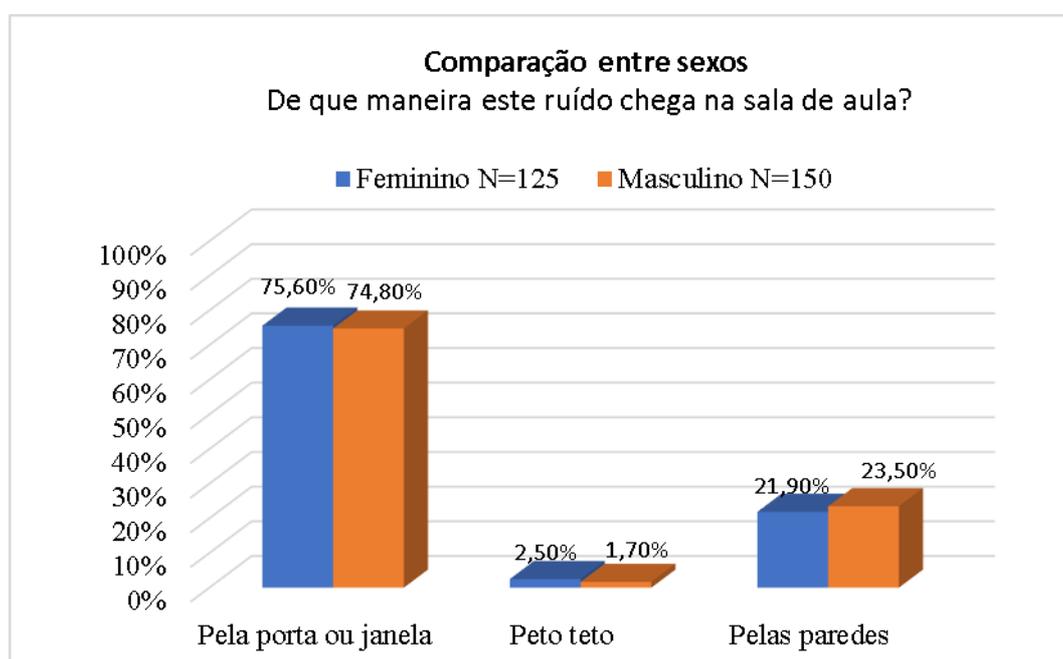


Figura 72 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 9 considerando o sexo

Da mesma forma, não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney U = 9.103,50; p = 0,843). No sexo feminino, 121 alunos (75,6%) afirmaram chegar pela porta ou janela, 4 alunos (2,5%) afirmaram chegar pelo teto e 35 alunos (21,9%) afirmaram chegar pelas paredes. No sexo masculino, 86 alunos (74,8%) afirmaram chegar pela porta ou janela, 2 alunos (1,7%) afirmaram chegar pelo teto e 27 alunos (23,5%) afirmaram chegar pelas paredes.

A análise da frequência de respostas da Pergunta 10 (Qual a frequência deste ruído) está exposta na Figura 73.

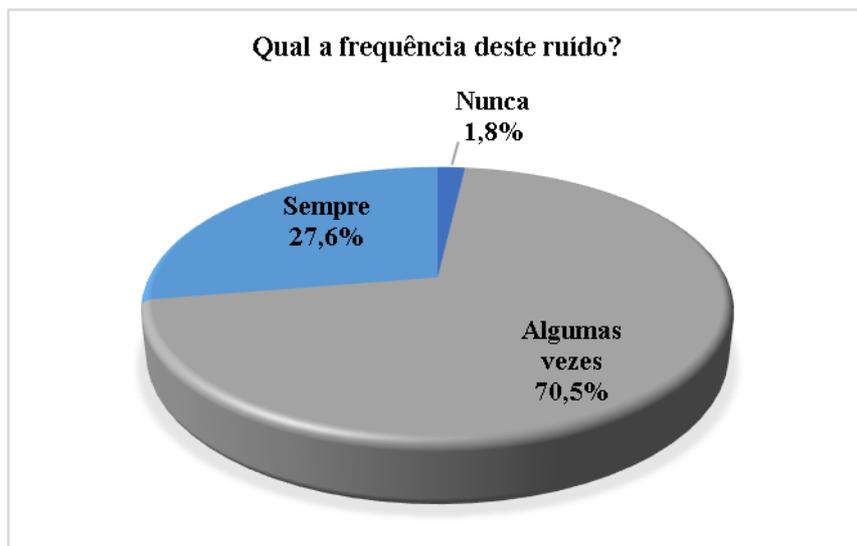


Figura 73 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 10 considerando toda a amostra. Afiraram nunca haver ruído, 5 alunos (1,8%), enquanto 194 alunos (70,5%) afirmaram algumas vezes haver ruído e 76 alunos (27,6%) afirmaram sempre haver ruído.

A análise da Figura 73 permite identificar que o ruído externo que chega as salas de aula pelas portas e janelas representam 70,5% da frequência de resposta que algumas vezes chega a sala de aula.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 10 é apresentada na Figura 74.

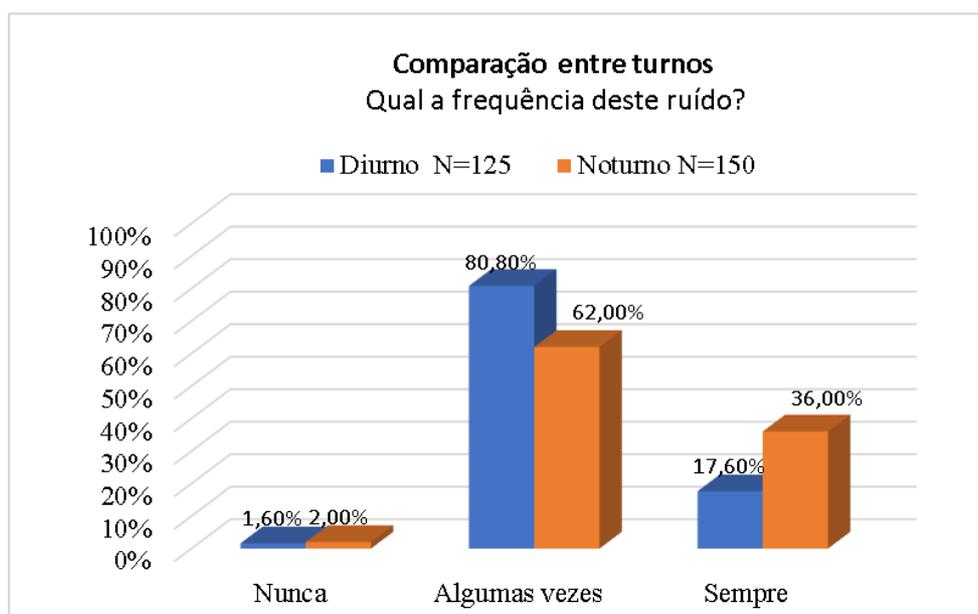


Figura 74 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 10 considerando o turno

Houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os turnos (Mann-Whitney  $U = 11.041,50$ ;  $p = 0,001$ ). No turno diurno, 2 alunos (1,6%) afirmaram nunca haver ruído, 101 alunos (80,8%) afirmaram algumas vezes haver ruído e 22 alunos (17,6%) afirmaram sempre haver ruído. No turno noturno, 3 alunos (2%) afirmaram nunca haver ruído, 93 alunos (62%) afirmaram algumas vezes haver ruído e 54 alunos (36%) afirmaram sempre haver ruído.

De acordo com a distribuição das respostas o turno noturno afirma em maior porcentagem que o ruído externo é sempre frequente. Este dado pode ser reafirmado pelo levantamento de campo, que no momento da distribuição dos questionários, foram presenciados ruídos provenientes de aglomerações em frente as salas por alunos que não estavam frequentando as aulas.

A distribuição de frequência de respostas entre turnos da Pergunta 10 é apresentada na Figura 75.

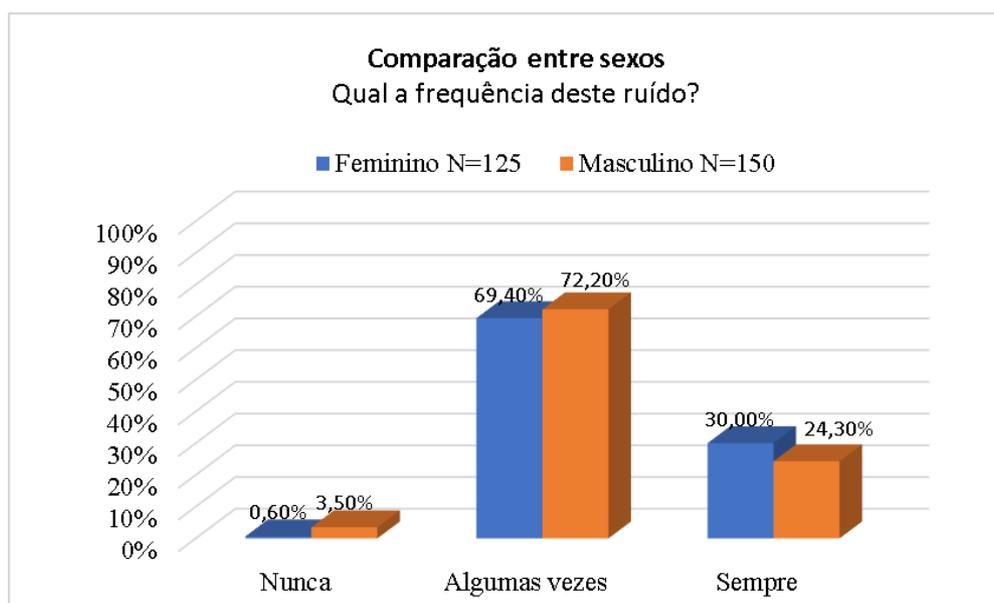


Figura 75 - Análise de frequência de respostas da Pergunta 10 considerando o sexo

Por outro lado, não houve diferença significativa de distribuição das respostas entre os sexos (Mann-Whitney  $U = 9.900,50$ ;  $p = 0,174$ ). No sexo feminino, 1 indivíduo (0,6%) afirmou nunca haver ruído, 111 alunos (69,4) afirmaram algumas vezes haver ruído e 48 alunos (30%) afirmaram sempre haver ruído. No sexo masculino, 4 alunos (3,5%) afirmaram nunca haver ruído, 83 alunos (72,2%) afirmaram algumas vezes haver ruído e 28 alunos (24,3%) afirmaram sempre haver ruído.

## **5 DIRETRIZES PARA O CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DAS SALAS DE AULA ESTUDADAS**

Estudar em um ambiente confortável aumenta a produtividade e o aprendizado do aluno. Assim, uma opção de intervenção é a troca do forro quando existente ou instalação de material acústico com maior coeficiente de absorção.

Existem vários materiais para se ter um bom condicionamento acústico do som, entre eles, materiais sustentáveis, que em sua fabricação utilizam materiais reciclados e que são recicláveis. A instalação destes tipos de materiais combina baixo custo, preocupação ambiental e com baixos índices de resíduos de construção.

No decorrer do processo de pesquisa, verificou-se que seriam indispensáveis modificações relacionadas a outros setores além do setor de projeto de arquitetura, para o resultado em alcançar espaços educacionais mais qualificados.

Nas operações de recuperação e modernização de espaços escolares existentes, a primeira medida que precisa ser determinada é a comunicação entre as áreas envolvidas com o ambiente escolar: escritório de projetos, departamento pedagógico, setor de manutenção de limpeza e obras.

Enfatiza-se aqui, a importância de o foco do projeto estar no usuário, para que sejam reconhecidas suas necessidades, opiniões e expectativas para o espaço de sala de aula.

É necessário que medidas sejam tomadas e, para nortear as modificações necessárias é preciso seguir algumas diretrizes como:

- a) Melhorar a qualidade acústica das salas de aula, em que a modificação dos revestimentos existentes por materiais mais porosos, mitigar o tempo de reverberação e conseqüentemente melhoram a inteligibilidade;
- b) Tomar medidas que visem diminuir o ruído externo a sala de aula, como restringir atividades nos corredores que não estão ligadas as aulas ministradas nas salas adjacentes.

Estas atitudes irão garantir que o processo ensino e aprendizagem ocorram com a qualidade mínima necessária, para que a informação a ser transmitida não chegue com erros e com isso seja transmitida de forma incorreta.

Foi realizado um estudo analítico novamente dos parâmetros de %ALCons, STI e TR de modo a verificar o nível de desempenho acústico das tipologias estudadas após a instalação de um material com alto coeficiente de absorção.

Existem uma gama de materiais acústicos que podem ser utilizados com diferentes características. Na Figura 76 são apresentados os coeficientes de absorção por frequência de quatro materiais diferentes.

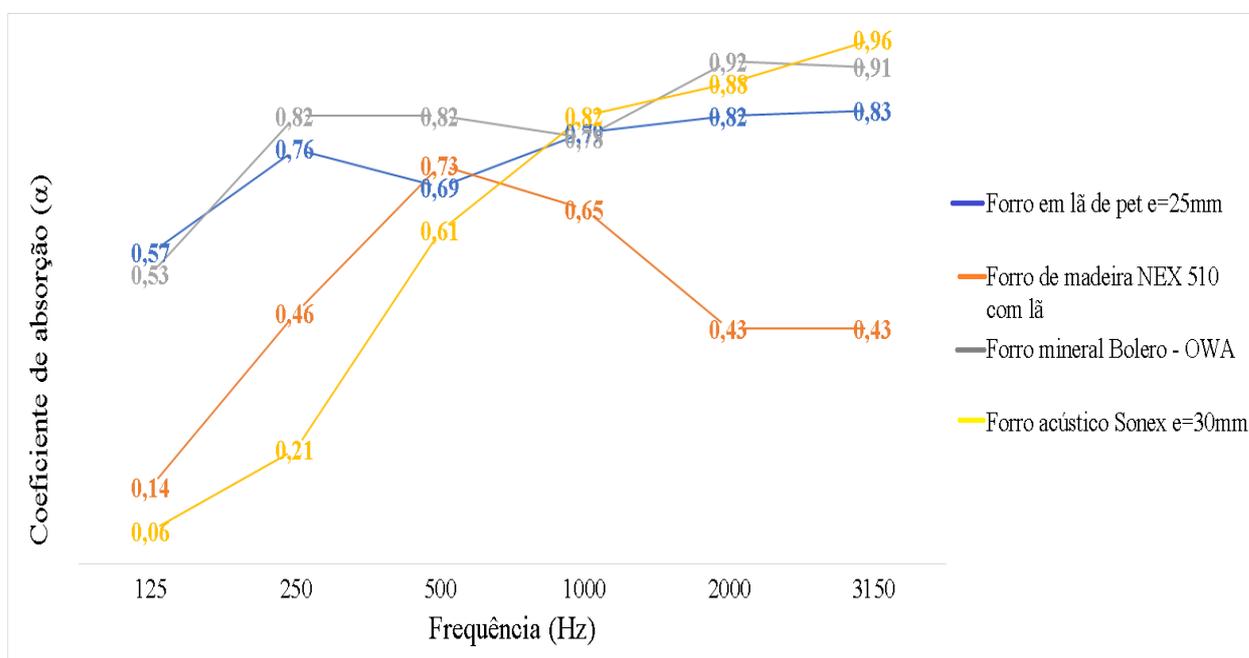


Figura 76 - Curva de absorção de forros acústicos

Após análise das curvas apresentadas o material mediano é o forro em lã de PET. O material é a favor do meio ambiente em que na sua composição utiliza frascos plásticos que são descartados frequentemente natureza. Entre suas características, a resistência a microrganismos, fácil aplicabilidade, inquebrável e assim reduzindo as perdas nas obras, e por fim, ótimo coeficiente de absorção sonora, em função da porosidade da lã, a onda sonora que entra em contato com o material é rapidamente absorvida.

Para avaliação da aplicação do forro acústico, em todas as nove salas estudadas foram realizadas a divisão do forro em três partes, sendo que, na primeira tentativa foi utilizando 1/3 da área do forro com a aplicação do material acústico, a segunda 2/3 de aplicação de material e a terceira substituindo todo o forro pelo material acústico conforme Figura 77. Primeiramente foi aplicado o material acústico no fundo da sala na qual é o local que apresentou o pior resultado.

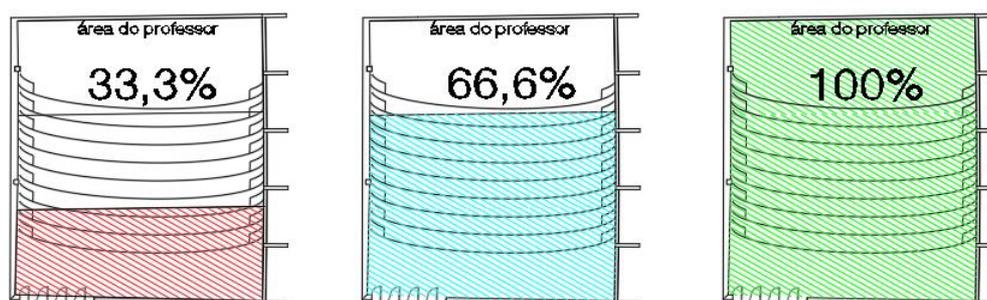


Figura 77 – Exemplo da distribuição de área de forro para aplicação do material acústico

O material foi inserido nas modelagens para o cálculo analítico da %ALCons, STI e TR, sendo instalado em todo o forro das salas das tipologias estudadas. O material utilizado nos cálculos possui coeficiente de absorção  $\alpha_w=0,80$  de acordo com a curva apresentada na Figura 77 na qual apresentou melhor resultado dentre outros materiais disponíveis no mercado.

Após aplicação do material acústico conforme já descrito realizados novamente os cálculos para obtenção do TR analítico. Os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados do TR analítico em 500 Hz das nove tipologias antes e após aplicação de material acústico

Tipologia	TR ATUAL	TR COM TRATAMENTO DE 33,3% DA ÁREA DO FORRO	TR COM TRATAMENTO DE 66,6% DA ÁREA DO FORRO	TR COM TRATAMENTO DE 100% DA ÁREA DO FORRO	LN <sub>máx</sub>
1	3,59	1,8	0,93	0,76	0,7
2	1,95	0,94	0,73	0,48	0,6
3	2,08	1,56	1,02	0,59	0,7
4	3,11	1,58	0,8	0,8	0,7
5	2,11	1,47	1,12	0,9	0,7
6	1,72	0,78	0,59	0,49	0,6
7	2,47	1,05	0,66	0,51	0,6
8	1,42	0,69	0,44	0,34	0,6
9	1,81	0,76	0,54	0,42	0,6

Considerando os valores de referência, com a aplicação do forro acústico em 33,3% do forro nenhuma das tipologias atingiram o valor necessário. Quando aplicado 66,6% de material acústico apenas três tipologias atendem ao valor normativo, e, quando aplicado em todo o forro as tipologias 1, 4 e 5 ainda não atendem ao valor normativo. Este resultado pode estar ligado a geometria das salas que são os anfiteatros.

Porém, vale ressaltar que houve uma diminuição significativa de 3,59 segundos para 0,76 segundos na tipologia 1.

Também foi avaliado o resultado da %ALCons de acordo com a distribuição do forro acústico na qual os resultados foram compilados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados da %ALCons analítico das nove tipologias, antes e após aplicação de material acústico, em relação a classificação da ABNT NBR IEC 60268-16

Tipologia	SEM TRATAMENTO		TRATAMENTO DE 33,3% DA ÁREA DO FORRO		TRATAMENTO DE 66,6% DA ÁREA DO FORRO		TRATAMENTO DE 100% DA ÁREA DO FORRO	
	%ALCons Máx	Classificação	%ALCons Máx	Classificação	%ALCons Máx	Classificação	%ALCons Máx	Classificação
1	0,42	Regular	0,54	Aceitável	0,66	Bom	0,7	Bom
2	0,51	Aceitável	0,66	Bom	0,71	Bom	0,78	Excelente
3	0,48	Aceitável	0,54	Aceitável	0,64	Bom	0,68	Bom
4	0,44	Regular	0,56	Aceitável	0,64	Bom	0,7	Bom
5	0,44	Aceitável	0,56	Aceitável	0,62	Bom	0,66	Bom
6	0,5	Aceitável	0,67	Bom	0,73	Bom	0,77	Excelente
7	0,5	Aceitável	0,65	Bom	0,74	Bom	0,78	Excelente
8	0,58	Aceitável	0,72	Bom	0,8	Excelente	0,84	Excelente
9	0,5	Aceitável	0,68	Bom	0,75	Excelente	0,8	Excelente

Após aplicação do material acústico em todo o forro da sala pode-se verificar que houve uma redução significativa da perda de consoantes. Com isso, a inteligibilidade de acordo com a classificação geral passou de aceitável para excelente em cinco tipologias. E nas outras quatro passou de regular para bom.

Também foi avaliado o resultado do STI de acordo com a distribuição do forro acústico na qual os resultados foram compilados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados de STI analítico das nove tipologias, antes e após aplicação do material acústico, em relação ao valor de referência da norma ABNT NBR IEC 60268-16

<b>Tipologia</b>	<b>STI Mín atual</b>	<b>STI Mín com tratamento de 33,3% da área do forro</b>	<b>STI Mín com tratamento de 66,6% da área do forro</b>	<b>STI Mín com tratamento de 100% da área do forro</b>	<b>Valor normativo IEC 60268-16</b>
1	0,42	0,54	0,66	0,7	0,62
2	0,51	0,66	0,71	0,78	0,62
3	0,48	0,54	0,64	0,68	0,62
4	0,44	0,56	0,64	0,7	0,62
5	0,44	0,56	0,62	0,66	0,62
6	0,5	0,67	0,73	0,77	0,62
7	0,5	0,65	0,74	0,78	0,62
8	0,58	0,72	0,8	0,84	0,62
9	0,5	0,68	0,75	0,8	0,62

A análise da Tabela 14 permite identificar que, a adição do forro acústico em lã de PET em apenas 33,3% da área do forro já soluciona o déficit do STI em cinco tipologias. Para as tipologias 1, 3, 4 e 5 a área necessária para atendimento aos valores normativos é de 66,6%. Na avaliação da aplicação do forro acústico em 100% da área do forro obtemos o melhor resultado, porém gera um custo excessivo sem necessidade conforme calculado.

Com o estudo realizado foi possível indicar a variação da utilização do forro acústico e garantir uma solução efetiva que contribua tanto acusticamente quanto ambientalmente.

## **6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as condições acústicas em que se encontram as salas de aula do Instituto Central de Ciências que é principal edifício do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília e avaliar a percepção dos alunos. Os resultados apresentados restringem-se a avaliação de 9 tipologias de sala de aula existentes no ICC.

Foi realizada a comparação de dados calculados analiticamente e obtidos de forma experimental. As duas análises possuem imprecisões que podem estar relacionados aos dados de entrada da análise ou características da fonte sonora utilizada durante as medições, representadas em ambos os modelos pelo nível de potência sonora.

Os resultados analíticos foram calculados utilizando o software EASE na qual é uma ferramenta que baseia os seus cálculos nas normas descritas no presente estudo.

Para calibração dos dados de entrada, utilizou-se os níveis de ruído para a voz do professor seguindo as orientações da ABNT NBR ABNT NBR IEC 60268-16:2018, sendo que, a fonte foi posicionada a 1,60 m do piso e a configuração dos níveis sonoros foram compatíveis a voz humana masculina em tom normal.

É importante pensar no conforto sonoro do ambiente em relação ao espaço físico de cada sala. Elementos como acústica, distribuição das carteiras em sala de aula, corredores, biblioteca, restaurante e outros fatores são relevantes para formação do aluno. Os fatores externos podem contribuir ou retardar o processo de ensino-aprendizagem, dependendo da natureza de cada elemento. Com isso, a arquitetura do espaço é fundamental para garantir o desempenho mínimo necessário para suprir as necessidades dos alunos.

Os resultados analíticos mostraram em geral, um desempenho inadequado a atividade principal realizada, o ensino-aprendizagem. Os softwares foram importantes na avaliação realizada pois o conhecimento de variáveis como TR, %ALCons e STI, podem ser muito invasivas e assim interferindo no cronograma das aulas. Portanto, os dados de entrada como o nível de voz do professor e nível do ruído de fundo, foram calibrados de acordo com as condições ideais para o espaço na qual foi modelado de acordo com o existente. Esta

configuração nos permite avaliar somente a arquitetura existente, e com isso, definir os pontos necessários para melhoria do conforto acústico.

Nos resultados experimentais, buscou-se aferir o tempo de reverberação com as condições ideais de ruído de fundo. Portanto, os ensaios foram realizados durante o final de semana com as salas mobiliadas e sem a presença de alunos. A mesma condição dos cálculos analíticos.

Após análise dos fatores relacionados ao conforto acústico necessário, a premissa de modificação foi interferir o mínimo possível na arquitetura existente. A instalação de um material que não agrida o meio ambiente e gera uma pequena alteração do espaço existente é a modificação do forro de todas as salas.

Com relação ao tempo de reverberação o valor de referência é de 0,6 segundos e 0,7 segundos dependendo do volume da sala, dados aos altos tempos de decaimento das salas, o valor em 500 Hz chegou a 3,54 segundos no cálculo analítico e de 4,78 segundos no resultado experimental. Pode-se dizer que a inteligibilidade das salas está totalmente prejudicada.

No caso da proposta, foi inserido o forro acústico que apresentou a curva de absorção que melhor se adequava as necessidades existentes. O forro fabricado a partir de garrafas PET, que além de ser composto por material reciclado corrigiu o tempo de reverberação das salas de forma satisfatória. Portanto, para atender as recomendações normativas apenas esta intervenção de forma parcial no forro foi suficiente para adequação das salas na maioria das tipologias.

Para realização da classificação a respeito da inteligibilidade, foi utilizado o parâmetro do STI. Após aplicação do material acústico houve uma melhora significativa em relação aos valores de referência que passaram a atender utilizando até 66,6% de material acústico no forro.

Para realização também da classificação a respeito da inteligibilidade, foi utilizado o parâmetro %ALCons que é a perda de articulação de consoantes. Neste levantamento, após a intervenção, também em 66,6% de área aplicada com forro acústico todas as tipologias passaram a atender a classificação bom ou superior.

Por fim, buscou-se avaliar a percepção dos alunos. Nesta análise, o foco principal estava no indivíduo e a forma como se relaciona com o ruído.

A análise estatística do questionário demonstra que os alunos do sexo feminino da amostra participaram em maior número. De acordo com os resultados não houve diferença significativa na questão 1 em que a Pergunta se refere onde o aluno se senta habitualmente nas salas. Com isso pode-se afirmar que a amostra é homogênea e a avaliação das demais questões compreenderam todo o espaço da sala.

Na Pergunta 6 “Quando você não está ouvindo bem o(a) professor(a), devido ao ruído da sala de aula, qual sua atitude?”, um dos alunos que participou da pesquisa no turno diurno apontou uma outra resposta que não estava nas alternativas. O aluno respondeu que “pede para o professor falar mais alto”.

Outra pergunta que houve resposta fora das alternativas foi no turno noturno. A Pergunta 9 “De que maneira este o ruído chega na sala de aula?”, houve sete alunos que responderam que o ruído é proveniente do “ranger das carteiras”. O mobiliário é fixo sendo que somente o acento se movimenta, como as carteiras são antigas o movimento causa um ruído de rangido. ‘

Também no turno noturno, houve a resposta para esta mesma pergunta apontando “festas nos corredores”, na qual três alunos responderam de forma discursiva.

Após as análises, torna-se evidente a necessidade de um trabalho conjunto entre profissionais da área de projeto e execução para a diminuição do impacto do ruído diante a aprendizagem. A solução a longo prazo é a conscientização dos alunos para os malefícios causados pela poluição sonora, de forma que os próprios alunos mudem de comportamento dentro do seu meio de ensino, prevenindo assim os danos causados pelo ruído. Em conjunto com a mudança de hábitos é necessário a intervenção no espaço físico.

Na análise dos dados coletados a partir da aplicação do questionário, foi possível concluir que mesmo com as condições aceitáveis nos parâmetros de %ALCons e STI, os alunos em responderam que se sentem prejudicados pelo não entendimento do que está sendo proferido pelo professor. O mesmo acontece quando o professor não entende o que os alunos questionam. O resultado pode estar relacionado ao tempo de reverberação que em todas as tipologias estão acima do valor de referência.

## **6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A aplicação das sugestões para projetos poderá ser ponto de partida aos profissionais que projetam os ambientes educacionais, devendo-se avaliar cada caso para implantação do material acústico sugerido.

Para futuras pesquisas nesta área, principalmente em ambientes universitários, recomenda-se a medição do conforto acústico durante a utilização das salas para verificar se as condições de ruído de fundo estão sendo atendidas conforme já realizadas em pesquisas de outros estados.

Como se coletaram os dados somente no final de semana, a coleta deverá ser feita de forma a facilitar a elaboração de diretrizes para obtenção do conforto acústico durante a utilização.

Mais estudos como este devem ser realizados não só para evitar que os alunos danifiquem seu nível de audição e aprendizagem, mas também para melhorar o conhecimento profissional dos ambientes de ensino.

É importante também, verificar o custo do benefício e o investimento financeiro necessário para adequação das salas de aula. Esta análise deve focar principalmente na satisfação dos alunos no contexto do conforto acústico.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, J; M; F; M. **Caracterização do conforto acústico em escolas**. Dissertação de mestrado. Universidade do Porto, FEUP, 2009.

ANSI S12.60 – **Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools**. Acoustic Society of America, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.152 - Níveis de ruído para conforto acústico - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.179 - Tratamento acústico em recintos fechados - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60268-16 - International Standard: Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index**. Suíça, 2018.

Building Regulations 2000 – **Building Bulletin 93 – Acoustic Design for Schools**, London, 2003.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Editora: Edições 70. Lisboa, 1977.

BENTLER, R. A. **List equivalency and test-retest reliability of the speech in noise test**. Volume 9, n. 2, p. 84-100. USA, 2000.

BISTAFA, S.; BRADLEY, J. **Reverberation Time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics**. Journal of the Acoustical Society of America, 107 (2), 861-874. USA, 2000.

BRANDÃO, E. **Acústica de salas: projeto e modelagem**. Editora: Blucher. São Paulo, 2016.

BRUEL & KJAER. **Measurements in Building Acoustics**. Disponível em: <https://www.bksv.com/en/products>. Acesso em: 05/04/2017.

BUSS, P. M; FILHO, A. P. **A Saúde e seus determinantes sociais**. PHYSIS: Revista de Saúde Coletiva, 2007.

CARRIÓN, I. A. **Diseño acústico de espacios arquitectónicos**. Editora: AlfaOmega. Barcelona, 2001.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. 2.ed. Editora:Thesaurus. Brasília, 2010.

CEDOC - **Centro de Documentação da UnB** – Documentos e Fotografias. Disponível em: <http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/244/lele-e-o-star-system-high-techaobra-de-lele-318126-1.aspx>. Acesso em:06/05/2017.

CHOAS, M. L. L.; ROSA, A.N.C.S.; MARQUES, M.L.; ROIG, H.L. **Arquitetura da informação para integração de dados alfanuméricos e espaciais para apoio a tomada de decisão**. Universidade de Brasília – UnB Instituto de Geociências. Brasília, 2010.

CHOI,S.; GUERIN, D. A.; KIM, H.-Y.; BRIGHAM, J. K.; BAUER, T. **Indoor environmental quality of classrooms and student outcomes: A path analysis approach**. Journal of Learning Spaces, 2014.

CUTIVA, L. C; BURDORF, A. **Effects of noise and acoustics in schools on vocal health in teachers**. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25599754>. Acesso em :10/05/2017. Netherlands, 2015.

DREOSSI, R.C.F; MOMENSOHN-SANTOS, T.M. **A interferência do ruído na aprendizagem**. Disponível em: [http://bib.pucminas.br/arquivos/310000/312800/25\\_312889.htm](http://bib.pucminas.br/arquivos/310000/312800/25_312889.htm). Acesso em: 20/05/2017. São Paulo, 2004.

DREOSSI, R.C.F; MOMENSOHN-SANTOS, T. **O ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura**. Pro-Fono R Atual Cient, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pfono/v17n2/v17n2a13.pdf.pdf>. Acesso em: 30/05/2017. São Paulo, 2005

EKERMAN, Sergio Kopinski. **Um quebra-cabeça chamado Lelé**. *Arquitextos*, São Paulo, ano 06, n. 064.03, Vitruvius. Disponível em: <http://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.064/423>. Acesso em :06/05/2017. 2005.

ENIZ, A. O. **Poluição Sonora em escolas do Distrito Federal**. Dissertação de mestrado - Universidade Católica de Brasília, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental. Brasília, 2004.

ENIZ, A; GARAVELLI, S. L. **A contaminação acústica de ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal**. *Holos Environment*, 2007.

EVEREST, F. A. **The Master Handbook of Acoustics**. New York: McGraw-Hill, 2001.

FERNANDES, J. **Inteligibilidade Acústica da Linguagem**. XIX Encontro da SOBRAC 2000 UFMG –Belo Horizonte. São Paulo, 2000.

FERREIRA, B. J **Análise de níveis sonoros em salas de aula**. Dissertação de Mestrado. Coimbra, 2010.

FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

FLICK, U.W.E. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução Joice Elias Costa. 3ª. Editora: Artmed. Porto Alegre, 2009.

GONÇALVES, V. S. B; SILVA, L.S.S; SILVA, L.B; COUTINHO, A. S. **Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores**. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010365132009000300005&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010365132009000300005&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em :15/05/2017. 2009.

GUCKELBERGER, D. A. **New Standard for Acoustics in Classroom**. *Engineers Newsletter*, v. 32, n. 1, 2003.

GUIDALLI, R.; ROCHA, C. **Diretrizes para o projeto de salas de aula em universidades visando o bem-estar do usuário.** Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis, 2012.

GUIDINI, R.F; BERTONCELLO. F; ZANCHETTA. S; DRAGONE. M.L.S. **Correlações entre ruído ambiental em sala de aula e voz do professor.** Revista Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-80342012000400006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-80342012000400006). Acesso em :20/05/2017. 2012.

ISO 3382-2:2008 - Acoustics – **Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.**

JESPER, K; PERSSON, R; SOREN PETER, L; HITOMI, S; PER MOBERG. **Effects of classroom acoustics and self-reported noise exposure on teacher's well-being'**. Volume 45. 2013.

KLATTE,M; LACHMANN, T; MEIS, M. **Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting.** **Noise Health.** Disponível em: [https://www.sowi.uni-kl.de/fileadmin/frueh/publications/Noise\\_Health\\_2010.pdf](https://www.sowi.uni-kl.de/fileadmin/frueh/publications/Noise_Health_2010.pdf). Acesso em :28/05/2017. 2010.

ANDRADE, L; L, MELO, C; E; L. **Histórico do concreto em Brasília. Uma visão sobre a estrutura de obras em concreto armado na Capital.** Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.161/4913>. 2013.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K., Labaki, L.C., Pina S.M.G. e Bertolli, S.R. **A Visualização do Conforto Ambiental no Projeto Arquitetônico.** Anais do VII Encontro de Tecnologia do Ambiente Construído e Qualidade no Processo Construtivo, 27-30 de abril, Florianópolis, 1998.

LOSSO, M. A. F. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - PGCC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

MEYER SOUND LABORATORIES. **Speech intelligibility of the faculty assembly hall** Meyer Sound Laboratories. Speech Intelligibility Papers Sections 1, 2, 3 and 4, 1998.

OLIVEIRA, Ana Luiza Alves de. **Avaliação das condições de desempenho acústico, lumínico e térmico em edificações de porte monumental: um estudo de caso da Biblioteca Central e do Restaurante Universitário da Universidade de Brasília.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

PEUTZ, V. **Articulation loss of consonants as criterion for speech transmission in a room.** Journal of the Audio Engineering Society, 19 (11):915-919, 1971.

ROMANO, C. D. C; ALVES, L. A; SILVA, L. A. D; MARZIALE, M. H. P; ROBAZZI, M. L. D. C. C. **Alterações vocais decorrentes do trabalho em professores: uma revisão de literatura.** Journal of Nursing UFPE. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/revistaenfermagem/index.php/revista/article/viewArticle/18>. Acesso em :15/05/2017. 2009.

SABINE, W. C. **Collected papers on acoustics.** Cambridge: Havard University. Disponível em: <https://archive.org/details/collectedpaperso00sabi>. Acesso em: 20/06/2017.1992.

SEETHA, P; KARMEGAM, K; ISMAIL, M.Y; SAPUAN, S.M; ISMAIL, N; TAMIL MOLI, L. **Effects to teaching environment of noise level in school classrooms.** Journal of Scientific & Industrial Research, 2008.

SILVA, C. M. F. **O tempo de reverberação e a inteligibilidade da palavra-Caso de Estudo: Salas de aula da FEUP.** Dissertação de mestrado no Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2013.

URÍA, M. G. T. **Avaliação Acústica de salas de aula em escolas públicas na cidade de Belém-Pará: uma proposição de projeto acústico.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Pará. Pará, 2005.

ZANIN, P.H.T.; et al. **Noise mapping of an educational environment.** Canadian Acoustics, v. 41, n. 1, p. 35-41, 2013.

ZWIRTES, D.P.Z. **Avaliação do desempenho acústico de salas de aula: Estudo de caso nas escolas estaduais do Paraná.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: [http:// http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/5955](http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/5955). Acesso em :30/05/2017. Curitiba, 2006.

WHO. **Noise Environmental Health Criteria Document n. 12.** Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc012.htm> Acesso em: 26 fev. 2019. 1980.

## APÊNDICE A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA IH/UnB

UNB - INSTITUTO DE  
CIÊNCIAS HUMANAS E  
SOCIAIS DA UNIVERSIDADE



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO DAS SALAS DE AULA DO INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS

**Pesquisador:** CLARICE CAVALCANTE DAGA

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 85565718.9.0000.5540

**Instituição Proponente:**

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 2.669.340

#### Apresentação do Projeto:

Trata-se de um estudo de caso que visa comparar e avaliar a acústica de dez salas de aula diferentes no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, visando levantamento das condições atuais das salas de aula. O critério

adotado, para a escolha das salas, foi a seleção por tipologia arquitetônica, características geométricas e revestimentos das superfícies das salas de aula. Os dados para estudo do espaço serão obtidos por meio de ensaios experimentais, nas quais serão efetuadas medições do Tempo de Reverberação, Ruído de Fundo, Relação Sinal-Ruído e Análise da Intelligibilidade da Fala, para obtenção dos dados analíticos somente serão realizados cálculos para obtenção do Tempo de Reverberação e Intelligibilidade da Fala. A fase de pesquisa relevante para este comitê refere-se ao levantamento da percepção do usuário, para a qual será aplicado um questionário.

#### Objetivo da Pesquisa:

O objetivo relevante para o presente comitê refere-se ao levantamento da percepção do nível de ruído de diferentes salas de aula do Darcy Ribeiro, por parte dos usuários, por meio de um questionário. Pode ser relevante, ainda, obter permissão para medir nível de ruído de fundo, etc., durante as aulas, se isso for feito, já que se trata de uma intrusão na rotina da aula e é preciso deixar claro que não está sendo avaliada, investigada nem gravada a aula e sim aspectos do

**Endereço:** CAMPUS UNIVERSITÁRIO DARCY RIBEIRO - FACULDADE DE DIREITO - SALA BT 03/1 (Ao lado da Direção)  
**Bairro:** ASA NORTE **CEP:** 70.910-900  
**UF:** DF **Município:** BRASÍLIA  
**Telefone:** (61)3107-1592 **E-mail:** cep\_chs@unb.br

Continuação do Parecer: 2.689.340

ambiente acústico

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Um risco pequeno seria atrapalhar o andamento das aulas, o que pode ser resolvido por meio do TCLE e da apresentação da pesquisa aos envolvidos

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa se propõe a investigar um importante aspecto das salas de aula do ICC, que é seu conforto acústico, de forma multidimensional e incluindo a percepção dos usuários.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Os documentos complementares solicitados foram incluídos/adequados.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Os documentos pendentes foram incluídos e o cronograma foi ajustado. O Projeto pode ser aprovado.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1050200.pdf	10/05/2018 15:10:32		Aceito
Outros	carta_de_encaminhamento_Daga.pdf	10/05/2018 15:09:36	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Aceito
Cronograma	Cronograma_Daga.pdf	10/05/2018 15:08:50	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto_Daga.pdf	16/03/2018 09:03:24	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Aceito
Outros	Instrumento_de_coleta_de_dados_Daga.pdf	16/03/2018 09:02:15	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Aceito
Outros	termo_de_responsabilidade_pelo_uso_de_documentos_Daga.pdf	23/02/2018 19:27:58	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Aceito
Outros	carta_de_encaminhamento_2_Daga.pdf	23/02/2018 19:27:03	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Aceito
Declaração de Instituição e	carta_de_aceite_Institucional_Daga.pdf	23/02/2018 19:24:53	CLARICE CAVALCANTE	Aceito

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO DARCY RIBEIRO - FACULDADE DE DIREITO - SALA BT 03/1 (Ao lado da Direção)  
Bairro: ASA NORTE CEP: 70.910-000  
UF: DF Município: BRASÍLIA  
Telefone: (61)3107-1552 E-mail: cep\_chs@unb.br

UNB - INSTITUTO DE  
CIÊNCIAS HUMANAS E  
SOCIAIS DA UNIVERSIDADE



Continuação do Parecer: 2.689.340

Infraestrutura	carta_de_aceite_Institucional_Daga.pdf	23/02/2018 19:24:53	DAGA	Acelto
Outros	Lattes_Melo.pdf	07/12/2017 15:29:30	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Acelto
Outros	Lattes_Daga.pdf	07/12/2017 15:29:14	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Acelto
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Daga.pdf	07/12/2017 15:20:08	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Acelto
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Daga.pdf	07/12/2017 15:19:48	CLARICE CAVALCANTE DAGA	Acelto

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

BRASILIA, 22 de Maio de 2018

---

Assinado por:  
Érica Quinaglia Silva  
(Coordenador)

Endereço: CAMPUS UNIVERSITÁRIO DARCY RIBEIRO - FACULDADE DE DIREITO - SALA BT 03/1 (Ao lado da Direção)  
Bairro: ASA NORTE CEP: 70.910-900  
UF: DF Município: BRASILIA  
Telefone: (61)3107-1502 E-mail: cep\_chs@unb.br

## APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

Convidamos o(a) Senhor(a) a participar voluntariamente do projeto de pesquisa **AValiação DO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTES DE ENSINO E APRENDIZAGEM: ESTUDO DE CASO DAS SALAS DE AULA DO INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS**, sob a responsabilidade da pesquisadora Clarice Cavalcante Daga. O projeto **consiste em realizar uma pesquisa de opinião aos alunos do Instituto central de ciências da Universidade de Brasília**.

O objetivo desta pesquisa é avaliar as condições atuais de desempenho acústico das salas de aula do Instituto Central de Ciências (ICC) da Universidade de Brasília, com foco no indivíduo e na arquitetura.

O(a) senhor(a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá sendo mantido o mais rigoroso sigilo pela omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo(a).

A sua participação se dará por meio de **resposta de questionário, que pode ser aplicado na sala de aula em data combinada antecipadamente com o professor responsável ou fora da sala de aula**, com um tempo estimado de **10 minutos em uma única etapa** para sua realização.

Se você aceitar participar, estará contribuindo para **o conhecimento da situação acústica das salas de aula o que irá contribuir em intervenções futuras para melhoria do local de estudo**.

O(a) Senhor(a) pode se recusar a responder (ou participar de qualquer procedimento) qualquer questão que lhe traga constrangimento, podendo desistir de participar da pesquisa em qualquer momento sem nenhum prejuízo para o(a) senhor(a). Sua participação é voluntária, isto é, não há pagamento por sua colaboração.

Caso haja algum dano direto ou indireto decorrente de sua participação na pesquisa, você deverá buscar ser indenizado, obedecendo-se as disposições legais vigentes no Brasil.

Os resultados da pesquisa serão divulgados na **Universidade de Brasília** podendo ser publicados posteriormente. Os dados e materiais serão utilizados somente para esta pesquisa e ficarão sob a guarda do pesquisador por um período de cinco anos, após isso serão destruídos.

Se o(a) Senhor(a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor telefone para: **Clarice Cavalcante Daga**, na **Universidade de Brasília** no telefone **61-995567274** ou no e-mail [engclaricedaga@gmail.com](mailto:engclaricedaga@gmail.com).

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais da Universidade de Brasília. O CEP é composto por profissionais de diferentes áreas cuja função é defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. As dúvidas com relação à assinatura do TCLE ou os direitos do participante da pesquisa podem ser esclarecidos pelo e-mail [cep\\_ih@unb.br](mailto:cep_ih@unb.br). O CEP/IH se localiza na Faculdade de Direito, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, Asa Norte.

Caso concorde em participar, pedimos que assine este documento que foi elaborado em duas vias, uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o Senhor(a).

---

Assinatura

---

Pesquisador Responsável  
Clarice Cavalcante Daga

Brasília, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

## APÊNDICE C – DADOS DE LEVANTAMENTO *IN LOCO*

A tabela utilizada para o levantamento de informações é importante afim de padronizar os dados coletados.

PLANILHA DE COLETA DE DADOS	
Identificação: Tipologia 1	Classificação: Anfiteatro
Horário das medidas <i>in loco</i> : 8 h	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
Memorial descritivo dos materiais da sala: Piso: pintura epóxi Teto: laje pintada e forro mineral Parede: alvenaria pintada Portas: madeira	
Croqui da sala de objeto de pesquisa: Volume: 941,36 m <sup>3</sup> Mobiliário existente na sala: mesas de madeira e cadeiras de plástico	

PLANILHA DE COLETA DE DADOS	
Identificação: Tipologia 2	Classificação: Sala
Horário das medidas <i>in loco</i> : 8h20min	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
Memorial descritivo dos materiais da sala: Piso: concreto polido Teto: forro de gesso Parede: alvenaria pintada Portas: madeira Janelas: vidro	
Croqui das salas de objeto de pesquisa: Volume: 175,5 m <sup>3</sup> Mobiliário existente na sala: carteiras estofadas	

<b>PLANILHA DE COLETA DE DADOS</b>	
Identificação: Tipologia 3	Classificação: Ateliê
Horário das medidas <i>in loco</i> : 8h40min	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
<p>Memorial descritivo dos materiais da sala:  Piso: concreto polido  Teto: laje aparente  Parede: divisória de madeira, alvenaria e vão aberto  Janelas: vidro</p>	
<p>Croqui das salas de objeto de pesquisa:  Volume: 332,94m<sup>3</sup>  Mobiliário existente na sala: mesas e cadeiras de madeira</p>	

<b>PLANILHA DE COLETA DE DADOS</b>	
Identificação: Tipologia 4	Classificação: Anfiteatro
Horário das medidas <i>in loco</i> : 9h00min	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
<p>Memorial descritivo dos materiais da sala:  Piso: concreto polido  Teto: laje pintada  Parede: alvenaria pintada  Portas: madeira</p>	
<p>Croqui das salas de objeto de pesquisa:  Volume: 1305,08m<sup>3</sup>  Mobiliário existente na sala: carteiras de plástico</p>	

<b>PLANILHA DE COLETA DE DADOS</b>	
Identificação: Tipologia 5	Classificação: Anfiteatro
Horário das medidas <i>in loco</i> : 9h20min	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
<p>Memorial descritivo dos materiais da sala:  Piso: pintura epóxi  Teto: laje aparente e painéis de madeira suspensos  Parede: alvenaria pintada e lambri de madeira  Portas: madeira</p>	
<p>Croqui das salas de objeto de pesquisa:  Volume: 1505,01m<sup>3</sup>  Mobiliário existente na sala: carteiras de plástico</p>	

<b>PLANILHA DE COLETA DE DADOS</b>	
Identificação: Tipologia 6	Classificação: Sala
Horário das medidas <i>in loco</i> : 9h55min	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
<p>Memorial descritivo dos materiais da sala:  Piso: concreto polido  Teto: laje aparente  Parede: divisória de madeira  Janelas: vidro</p>	
<p>Croqui das salas de objeto de pesquisa:  Volume: 104,77m<sup>3</sup>  Mobiliário existente na sala: carteiras de plástico</p>	

**PLANILHA DE COLETA DE DADOS**

Identificação: Tipologia 7	Classificação: Sala
Horário das medidas <i>in loco</i> : 10h30min	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
<p>Memorial descritivo dos materiais da sala:                  Piso: concreto polido                  Teto: forro em gesso acartonado                  Parede: alvenaria pintada                  Portas: madeira</p>	
<p>Croqui das salas de objeto de pesquisa:                  Volume: 229,82m<sup>3</sup>                  Mobiliário existente na sala: carteiras de plástico</p>	

Identificação: Tipologia 8	Classificação: Sala
Horário das medidas <i>in loco</i> : 11h10min	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
<p>Memorial descritivo dos materiais da sala:                  Piso: concreto polido                  Teto: laje pintada                  Parede: alvenaria pintada                  Portas: madeira</p>	
<p>Croqui das salas de objeto de pesquisa:                  Volume: 59,43m<sup>3</sup>                  Mobiliário existente na sala: carteiras de plástico</p>	

Identificação: Tipologia 9	Classificação: Sala
Horário das medidas <i>in loco</i> : 11h40min	Data das medidas <i>in loco</i> : 24/09/2018
<p>Memorial descritivo dos materiais da sala:</p> <p>Piso: concreto polido</p> <p>Teto: laje pintada</p> <p>Parede: divisória de madeira</p> <p>Portas: madeira</p> <p>Janelas: vidro</p>	
<p>Croqui das salas de objeto de pesquisa:</p> <p>Volume: 117,18m<sup>3</sup></p> <p>Mobiliário existente na sala: carteiras de plástico</p>	

## APÊNDICE D -QUESTIONÁRIO APLICADO AOS USUÁRIOS

### QUESTIONÁRIO

Este questionário é parte de uma dissertação de mestrado em desenvolvimento junto ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Queremos sua opinião sobre o conforto acústico das salas de aula em relação ao ruído e suas reações em relação a ele.

NOME: \_\_\_\_\_

( ) Estou de acordo com TCLE apresentado pela pesquisadora.

TURNO: MATUTINO/VESPERTINO ( ) NOTURNO ( )

SEXO: FEMININO ( ) MASCULINO ( )

- 1- Onde você se senta habitualmente nas aulas?  
( ) Frente ( ) Meio ( ) Fundo
- 2- Em termos de ruído, você gostaria que a área externa a sala de aula:  
( ) Ficasse sem mudança ( ) Fosse mais silenciosa ( ) Fosse muito mais silenciosa
- 3- Em termos de ruído, você gostaria que a sala de aula:  
( ) Ficasse sem mudanças ( ) Fosse mais silenciosa ( ) Fosse muito mais silenciosa
- 4- O som ecoa demasiadamente na sala de aula?  
( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei responder
- 5- O ruído na sala de aula te impede de ouvir bem o professor?  
( ) Nunca ( ) Algumas vezes ( ) Sempre
- 6- Quando você não está ouvindo bem o(a) professor(a), devido ao ruído da sala de aula, qual sua atitude?  
( ) Não faz nada ( ) Muda de atividade ( ) Senta em local diferente
- 7- Você já se sentiu prejudicado em seu aprendizado e em suas notas devido à interferência do ruído durante a aula?  
( ) Nunca ( ) Algumas vezes ( ) Sempre
- 8- O ruído na sala de aula impede que o(a) professor(a) ouça bem os alunos?  
( ) Nunca ( ) Algumas vezes ( ) Sempre
- 9- De que maneira este o ruído chega na sala de aula?  
( ) a.Pela porta ou janela ( ) b.Pelo teto ( ) c.Pelas paredes
- 10- Qual a frequência do ruído externo a sala de aula?  
( ) Nunca ( ) Algumas vezes ( ) Sempre