

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**QUALIDADE ACÚSTICA DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES EM  
SANTA CATARINA: AVALIAÇÃO E ELABORAÇÃO DE  
DIRETRIZES PARA PROJETO E IMPLANTAÇÃO**

**Marco Aurélio Faria Losso**

**Florianópolis – Santa Catarina – Brasil  
Março de 2003**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

---

**QUALIDADE ACÚSTICA DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES EM  
SANTA CATARINA: AVALIAÇÃO E ELABORAÇÃO DE  
DIRETRIZES PARA PROJETO E IMPLANTAÇÃO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

**Marco Aurélio Faria Losso**

---

**Florianópolis – Santa Catarina – Brasil  
Março de 2003**

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

Orientadora: Elvira Barros Viveiros da Silva

Defesa: 14/03/2003

Palavras-chave: **acústica de escolas, acústica de edificações escolares, acústica de salas de aula, acústica arquitetônica, acústica.**

# **QUALIDADE ACÚSTICA DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES EM SANTA CATARINA: AVALIAÇÃO E ELABORAÇÃO DE DIRETRIZES PARA PROJETO E IMPLANTAÇÃO**

**Marco Aurélio Faria Losso**

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de:

## **MESTRE EM ENGENHARIA**

Especialidade em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

---

Prof. Elvira Barros Viveiros, Dr. (Orientadora e Mediadora)

---

Prof. Jucilei Cordini, Dr. (Coordenador do Curso)

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Marco A. Nabuco de Araújo, Dr. (INMETRO)

---

Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph.D. (EMC/UFSC)

---

Prof. Arcanjo Lenzi, Ph.D. (EMC/UFSC)

---

Prof. Almir Francisco dos Reis, Dr. (ARQ/UFSC)

*porque aguardava a cidade que tem fundamentos,  
da qual Deus é o arquiteto e edificador.  
(Hebreus 11:10)*

## **DEDICATÓRIA**

- A Deus, por guiar o caminho da minha vida;
- Aos meus pais Miguel D. Losso e Jussara M. T. de Faria;
  - Ao meu irmão Marlus E. F. Losso.

## AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC;
- Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC;
- À professora Elvira B. Viveiros, pela oportunidade e apoio na orientação;
- Aos membros da banca pelas valiosas recomendações e sugestões;
- Aos professores Arcanjo Lenzi, Fernando Barth e Samir Gerges, pelos conselhos durante a pesquisa;
- Ao professor Paulo H. Zannin, e aos colegas mestrandos Fabiano B. Diniz, José A. Ferreira e Clifton R. Giovanini pelo empréstimo da instrumentação;
- À CAPES, pelo apoio financeiro viabilizando esta pesquisa;
- À Secretaria de Estado da Educação e Desporto/SC, ao Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas – DEOH/SC, e a Secretaria de Estado da Administração/SC;
- Ao Laboratório de Conforto Ambiental – LabCon e ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC;
- Ao *International Institute of Noise Control Engineering – I-INCE*;
- À acadêmica e bolsista Thaís Figueiredo, pelo auxílio nos trabalhos;
- Aos amigos que apoiaram e colaboraram durante todo o período;
- A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xix</b>
<b>Capítulo 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Considerações Iniciais.....	1
1.2. Relevância do estudo.....	3
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Geral.....	5
1.3.2. Específicos.....	5
1.4. Metodologia.....	5
1.5. Delimitação do trabalho.....	6
1.6. Estrutura da dissertação.....	6
<b>Capítulo 2 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ACÚSTICA.....</b>	<b>7</b>
2.1. Ruído de fundo.....	8
2.2. Razão sinal/ruído.....	13
2.3. Tempo de reverberação.....	15
2.4. Tempo de decaimento inicial.....	19
2.5. Fração de energia inicial-final.....	20
2.6. Geometria.....	21
2.7. Conclusões.....	25
<b>Capítulo 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
3.1. Introdução.....	27
3.2. Aspectos relacionados aos usuários.....	27
3.2.1. Caráter subjetivo do incômodo acústico.....	27
3.2.2. Efeitos do ruído no sistema auditivo.....	29



3.2.3. Outros efeitos do ruído no organismo .....	30
3.2.4. Influência de aspectos acústicos sobre os alunos .....	31
3.2.5. Influência de aspectos acústicos sobre os professores.....	34
3.2.6. Custo social dos problemas acústicos na escola.....	37
3.3. Fontes sonoras .....	39
3.3.1. Ruído de Tráfego .....	39
3.3.2. Vizinhos.....	43
3.3.3. Áreas esportivas, recreativas e de circulação .....	43
3.3.4. Cantinas, refeitórios, lanchonetes e cozinhas .....	45
3.3.5. Salas adjacentes .....	45
3.3.6. Instalações hidráulicas e sanitárias prediais .....	46
3.3.7. Equipamentos .....	48
3.3.8. Próprios alunos .....	48
3.3.9. Conclusões a respeito das fontes sonoras .....	49
3.4. Aspectos Jurídicos .....	51
<b>Capítulo 4 – LEVANTAMENTOS FÍSICO-CONSTRUTIVOS .....</b>	<b>57</b>
4.1. Abrangência.....	57
4.1.1. Levantamentos através de entrevistas.....	61
4.1.2. Levantamentos físico-construtivos .....	62
4.2. Tipologias construtivas.....	63
4.3. Detalhes construtivos.....	66
4.4. Demais características .....	68
4.5. Conclusões.....	69
<b>Capítulo 5 – QUESTIONÁRIOS .....</b>	<b>71</b>
5.1. Introdução.....	71
5.2. Questionários aplicados aos alunos .....	75
5.3. Questionários aplicados aos professores .....	80
5.4. Conclusões.....	89
<b>Capítulo 6 – MEDIÇÕES ACÚSTICAS .....</b>	<b>92</b>
6.1. Introdução.....	92

6.2. Instrumentação .....	93
6.3. Análises dos resultados.....	95
6.3.1. Escola Dayse Werner Salles .....	95
6.3.2. Escola Edith Gama Ramos .....	100
6.3.3. Escola Lauro Muller .....	104
6.3.4. Escola Antonieta de Barros .....	108
6.3.5. Escola Júlia da Costa Neves .....	112
6.3.6. Avaliações Gerais .....	116
6.4. Conclusões.....	118
<b>Capítulo 7 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>120</b>
7.1. Introdução.....	120
7.2. Sugestões para trabalhos futuros .....	122
7.3. Diretrizes para projeto e implantação .....	122
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>126</b>
APÊNDICE A – Formulário de levantamento de dados das edificações escolares .....	136
APÊNDICE B – Manual de instruções para o diretor .....	137
APÊNDICE C – Questionário aplicado junto aos alunos .....	138
APÊNDICE D – Questionário aplicado junto aos professores .....	139
APÊNDICE E – Escola Dayse Werner Salles.....	140
APÊNDICE F – Escola Edith Gama Ramos .....	142
APÊNDICE G – Escola Lauro Muller .....	144
APÊNDICE H – Escola Antonieta de Barros.....	146
APÊNDICE I – Escola Júlia da Costa Neves .....	148

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Espectro da fala humana a 1 m de distância .....	14
<b>Figura 2</b> – Valores ótimos de inteligibilidade em função da razão S/R e do TR <sub>60</sub> (1 kHz).....	16
<b>Figura 3</b> – a) reflexão sonora em superfície especular, b) reflexão em superfície difusora.....	22
<b>Figura 4</b> – Diferentes casos de reflexão sonora.....	23
<b>Figura 5</b> – Corte exemplar da utilização de placas refletoras em uma sala utilizadas para proporcionar distribuição sonora. ....	24
<b>Figura 6</b> – Corte exemplar de vigas atuando como elementos prejudiciais a distribuição sonora em uma sala. ....	25
<b>Figura 7</b> – Iceberg de Heinrich.....	37
<b>Figura 8</b> – Exemplo genérico de gráfico tempo x NPS típico de um logradouro. ....	40
<b>Figura 9</b> – Espectro do ruído de tráfego à 15m de distância. ....	42
<b>Figura 10</b> – Situação de vazamento sonoro entre ambientes.....	46
<b>Figura 11</b> – Disposições de localização das instalações hidro-sanitárias para uma escola genérica: a) acusticamente desfavorável, b) acusticamente favorável. ....	47
<b>Figura 12</b> – Representação das fontes sonoras em uma escola qualquer. ....	49
<b>Figura 13</b> – Representação das fontes sonoras em uma sala de aula qualquer.....	50
<b>Figura 14</b> – Regiões definidas no município de Florianópolis.....	58
<b>Figura 15</b> – Abrangência do estudo.....	59
<b>Figura 16</b> – Locais para levantamento de dados. ....	61
<b>Figura 17</b> – Exemplo da tipologia de escolas padrão 1.....	64
<b>Figura 18</b> – Exemplo da tipologia de escolas padrão 2.....	65
<b>Figura 19</b> – Exemplo de tipologia de escolas encontradas.....	65
<b>Figura 20</b> – Exemplo de tipologia de escolas encontradas.....	66
<b>Figura 21</b> – Resultados para pergunta: Você consegue ouvir sons ou barulhos de salas vizinhas? .....	76
<b>Figura 22</b> – Resultados para pergunta: Como você considera sua sala de aula?.....	76
<b>Figura 23</b> – Resultados para pergunta: Como você considera sua escola? .....	77
<b>Figura 24</b> – Resultados para pergunta: O barulho que você ouve vem de onde?.....	77
<b>Figura 25</b> – Resultados para pergunta: Você acha que algum local da sala seja muito ou mais barulhento? .....	78

<b>Figura 26</b> – Resultados para pergunta: Quando o professor está falando você consegue entender claramente o que está sendo dito ou o som parece embaralhado?.....	79
<b>Figura 27</b> – Resultados para pergunta: Você tem algum problema auditivo?.....	79
<b>Figura 28</b> – Resultados para pergunta: Na sua opinião o barulho influencia no aproveitamento escolar? .....	80
<b>Figura 29</b> – Resultados para pergunta: O sr(a). consegue ouvir sons ou barulhos de salas vizinhas? .....	81
<b>Figura 30</b> – Resultados para pergunta: Como o sr(a). considera sua sala de aula?.....	81
<b>Figura 31</b> – Resultados para pergunta: Com relação as fontes de ruído, são oriundas de onde? .82	
<b>Figura 32</b> – Resultados para pergunta: Os alunos reclamam que a sala de aula é barulhenta?....	83
<b>Figura 33</b> – Resultados para pergunta: Quando um aluno faz uma pergunta o sr(a). consegue entender claramente o que está sendo dito ou o som parece embaralhado?.....	83
<b>Figura 34</b> – Resultados para pergunta: Existem alunos com deficiências auditivas em suas aulas? .....	84
<b>Figura 35</b> – Resultados para pergunta: Na sua opinião, o ruído influencia no aproveitamento escolar? .....	85
<b>Figura 36</b> – Resultados para pergunta: O sr(a). considera necessário aumentar o tom de voz para lecionar? .....	85
<b>Figura 37</b> – Resultados para pergunta: O sr(a). tem ou já teve problemas vocais em função do uso da voz como professor?.....	86
<b>Figura 38</b> – Resultados para pergunta: Na sua opinião, qual a causa dos seus problemas vocais? .....	86
<b>Figura 39</b> – Resultados para pergunta: O sr(a). já precisou passar por tratamento em função de problemas vocais? .....	87
<b>Figura 40</b> – Resultados para pergunta: Quem financiou o seu tratamento?.....	87
<b>Figura 41</b> – Resultados para pergunta: O sr(a). já precisou pedir licença em função de problemas vocais? .....	88
<b>Figura 42</b> – Resultados para pergunta: Na sua opinião, houve prejuízo para os alunos em função de seu afastamento? .....	88
<b>Figura 43</b> – Resultados para pergunta: Na sua opinião, quem é o maior prejudicado pelos seus problemas vocais? .....	89
<b>Figura 44</b> – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Dayse W. Salles, em diferentes condições de isolamento da sala. ....	96

<b>Figura 45</b> – Valores de TR para cinco pontos medidos da escola Dayse W. Salles.....	97
<b>Figura 46</b> – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Dayse W. Salles.....	98
<b>Figura 47</b> – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1 kHz da escola Dayse W. Salles.....	99
<b>Figura 48</b> – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Edith G. Ramos. ....	100
<b>Figura 49</b> – Valores de TR para cinco pontos medidos da escola Edith G. Ramos.....	101
<b>Figura 50</b> – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Edith G. Ramos.....	102
<b>Figura 51</b> – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1kHz da escola Edith G. Ramos. ....	103
<b>Figura 52</b> – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Lauro Muller, em diferentes condições de isolamento da sala. ....	104
<b>Figura 53</b> – Valores de TR para seis pontos medidos da escola Lauro Muller.....	106
<b>Figura 54</b> – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Lauro Muller.....	107
<b>Figura 55</b> – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1kHz da escola Lauro Muller. ....	107
<b>Figura 56</b> – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Antonieta de Barros, em diferentes condições de isolamento da sala.. ....	108
<b>Figura 57</b> – Valores de TR para quatro pontos medidos da escola Antonieta de Barros.....	110
<b>Figura 58</b> – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Antonieta de Barros.....	111
<b>Figura 59</b> – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1kHz da escola Antonieta de Barros.....	111
<b>Figura 60</b> – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Júlia da Costa Neves, em diferentes condições de isolamento da sala.. ....	112
<b>Figura 61</b> – Valores de TR para cinco pontos medidos da escola Júlia da Costa Neves. ....	114
<b>Figura 62</b> – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Júlia da Costa Neves.....	115
<b>Figura 63</b> – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1kHz da escola Júlia da Costa Neves. ....	115
<b>Figura 64</b> – Valores de ruído de fundo no ponto central da sala, de todas as escolas avaliadas. ....	116
<b>Figura 65</b> – Média dos valores de TR e TDI, para 1 kHz, das escolas avaliadas.....	117
<b>Figura 66</b> – Estimativa do nível de inteligibilidade esperado para sala com melhores condições acústicas.....	118

<b>Figura 67</b> – Planta de locação da escola Dayse Werner Salles. ....	140
<b>Figura 68</b> – Planta baixa com localização dos pontos de medição e corte da sala de aula nº 2. ....	140
<b>Figura 69</b> – Aspecto da sala de aula nº 2. ....	141
<b>Figura 70</b> – Planta de locação da escola Edith Gama Ramos. ....	142
<b>Figura 71</b> – Planta baixa com localização dos pontos de medição da sala de aula nº 113. ....	142
<b>Figura 72</b> – Aspecto da sala de aula nº 113. ....	143
<b>Figura 73</b> – Planta de locação da escola Lauro Muller. ....	144
<b>Figura 74</b> – Planta baixa com localização dos pontos de medição da sala de aula nº 5. ....	144
<b>Figura 75</b> – Aspecto da sala de aula nº 5. ....	145
<b>Figura 76</b> – Planta de locação da escola Antonieta de Barros. ....	146
<b>Figura 77</b> – Planta baixa com localização dos pontos de medição da sala de aula nº 5. ....	146
<b>Figura 78</b> – Aspecto da sala de aula nº 5. ....	147
<b>Figura 79</b> – Planta de locação da escola Júlia da Costa Neves. ....	148
<b>Figura 80</b> – Planta baixa com localização dos pontos de medição da sala de aula nº 9. ....	148
<b>Figura 81</b> – Aspecto da sala de aula nº 9. ....	149

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Valores de ruído de fundo recomendados para salas de aula em diversos países. ....	12
<b>Tabela 2</b> – Valores de isolamento requerido em fachadas para salas de aula na Alemanha. ....	12
<b>Tabela 3</b> – Valores de isolamento requerido entre partições internas em diversos países. ....	13
<b>Tabela 4</b> – Valores de TR <sub>60</sub> recomendados para salas de aula em diferentes países. ....	17
<b>Tabela 5</b> – Escolas analisadas separadas por região. ....	60
<b>Tabela 6</b> – Tipos de pisos encontrados. ....	67
<b>Tabela 7</b> – Tipos de teto e/ou forros encontrados. ....	67
<b>Tabela 8</b> – Tipos de janelas encontradas. ....	68
<b>Tabela 9</b> – Variação no volume das salas. ....	69
<b>Tabela 10</b> – Questionários respondidos por alunos e professores. ....	74
<b>Tabela 11</b> – Escolas selecionadas para medições acústicas. ....	92
<b>Tabela 12</b> – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Dayse W. Salles. ....	96
<b>Tabela 13</b> – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Dayse W. Salles. ....	98
<b>Tabela 14</b> – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Edith G. Ramos. ....	101
<b>Tabela 15</b> – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Edith G. Ramos. ....	102
<b>Tabela 16</b> – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Lauro Muller. ....	105
<b>Tabela 17</b> – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Lauro Muller. ....	106
<b>Tabela 18</b> – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Antonieta de Barros. ....	109
<b>Tabela 19</b> – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Antonieta de Barros. ....	110
<b>Tabela 20</b> – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Júlia da Costa Neves. ....	113
<b>Tabela 21</b> – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Júlia da Costa Neves. ....	114

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	- American National Standards Institute
APO	- Avaliação Pós-Ocupação
ASA	- Acoustical Society of America
ASHA	- American Speech-Language-Hearing Association
BB	- Building Bulletin
BS	- British Standards
C <sub>50</sub>	- Fração de Energia Inicial-Final
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
dB	- Decibel
dB(A)	- Decibel ponderado com a escala “A”
DEOH/SC	- Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas de Santa Catarina
DIN	- Deutsches Institut für Normung
EEB	- Escola de Ensino Básico
EEF	- Escola de Ensino Fundamental
EEM	- Escola de Ensino Médio
FLORAM	- Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis
FUNDACENTRO	- Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
Hz	- Hertz
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I-INCE	- International Institute of Noise Control Engineering
ISO	- International Standardization for Organization
L <sub>dn</sub>	- Nível de Pressão Sonora “Diurno-Noturno”
L <sub>eq</sub>	- Nível de Pressão Sonora Equivalente
L <sub>eq(A)</sub>	- Nível de Pressão Sonora Equivalente ponderado com a escala “A”
NBR	- Norma Brasileira Registrada
NPS	- Nível de Pressão Sonora
NR	- Norma Regulamentadora
OMS	- Organização Mundial da Saúde
RF	- Ruído de Fundo



R' <sub>w</sub>	- Índice de Redução Sonora Aparente
SCBR	- Swedish Council for Building Research
S/R	- Razão Sinal/Ruído
TDI	- Tempo de Decaimento Inicial
TR	- Tempo de Reverberação
TR <sub>60</sub>	- Tempo de Reverberação

## RESUMO

A poluição sonora nas regiões urbanas é cada vez mais um problema de grande magnitude. Fontes diversas e, principalmente, aquelas oriundas do tráfego de veículos automotores, são causadoras de níveis de ruído elevados. Por outro lado, as edificações de maneira geral são construídas sem oferecer adequada proteção ao ruído intrusivo. O mesmo pode-se dizer das partições internas. No caso específico de edificações escolares, a qualidade acústica é um item pouco considerado por arquitetos e engenheiros no projeto, apesar da fundamental importância em função do tipo de atividade desenvolvida nesses ambientes. Elevados níveis de ruído e/ou condições de reverberação inadequadas desfavorecem o processo de aprendizagem chegando, até, a contribuir para um baixo aproveitamento por parte dos alunos. Em relação aos professores, também, o não atendimento de critérios de conforto acústico faz com que tenha de haver esforço vocal excessivo, mesmo que esse não vá garantir uma melhor inteligibilidade. Paralelamente, a questão normativa sobre o tema está muito aquém do desejado, não existindo recomendações adequadas em nível nacional. A situação requer a necessidade urgente do estabelecimento de parâmetros mínimos de aceitabilidade de edificações escolares.

Este trabalho apresenta uma avaliação da situação das escolas públicas estaduais de ensino fundamental em Santa Catarina, a fim de se produzirem diretrizes projetuais que contemplem os aspectos acústicos nas novas edificações escolares. Esta avaliação foi feita de três formas: a) levantamentos construtivos das edificações; b) questionários aplicados junto aos usuários das escolas e, por fim; c) medições dos parâmetros acústicos: ruído de fundo, tempo de reverberação e tempo de decaimento inicial.

Os resultados demonstram a precária situação em que as escolas se encontram, já que existem graves problemas acústicos decorrentes de mal planejamento tipológico ou mesmo pela utilização de materiais inadequados. Os questionários demonstram que usuários têm a percepção de que a situação não é a adequada e, por fim, os níveis de ruído de fundo, os tempos de reverberação e os tempos de decaimento inicial estão acima dos valores aceitáveis, produzindo um nível de inteligibilidade que não passa de 88 % na melhor condição analisada.

## ***ABSTRACT***

Noise pollution in cities has been an increasing problem. Several sources of noise, especially those from traffic, are rising constantly. On the other hand, buildings are not built to protect intrusive noise. The same could be said about internal partitions and walls. Specifically in Brazil, architects and engineers responsible for the school designs do not take into account the sound quality of educational buildings. Considering the kind of activity performed, it is important to have an adequate ambient or the consequence can be low student performances and a decrease of learning abilities. As far as the teachers are concerned, high noise levels make them raise their voices, even if this attitude does not guarantee better listening conditions. Also, the normalization is far away from the ideal as there are no major recommendations for the acoustics of educational buildings. There is an urgent need for creating minimum standards for those buildings.

This study presents the evaluation of public state schools in the state of Santa Catarina, southern Brazil, aiming to give basis to projective and constructive directives for the design of new schools, in order to achieve good acoustical quality. This evaluation comprehends three parts: a) a survey of the characteristics of the school buildings; b) questionnaires applied to the users of the school and; c) measurements of acoustical parameters such as background sound level, reverberation time and early decay time.

The results show that the situation is far from the ideal, since there are many acoustical problems, originating from bad building planning and design or the use of inadequate materials. The questionnaires show that the users have the perception that the situation is not good, and finally, the noise levels, the reverberation times and the early decay times are above the recommended, conducting to an intelligibility level maximum of 88 %, in the best condition analyzed.

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações Iniciais

A escola, seja ela de qual nível for, é a instituição que tem por objetivo o ensino de crianças, jovens e até mesmo adultos. É inegável que exerce importante papel no desenvolvimento dos indivíduos e também da coletividade.

As edificações que abrigam as escolas, devem então, ser capazes de produzir condições propícias ao desenvolvimento adequado das atividades de seus usuários, satisfazendo diferentes necessidades ambientais, isto é: proteção frente às diferentes condições climáticas, sejam elas temperatura, vento e umidade; garantia de qualidade acústica, proteção de ruídos intrusivos, inteligibilidade do professor pelos alunos e vice-versa; garantia de condições ideais de visão e iluminação, natural ou artificial; proteção contra poluição e qualidade interna do ar; estabilidade estrutural da edificação, salubridade e higiene, segurança, conforto e outros.

Nestas edificações é de suma importância que suas dependências estejam dentro de patamares admissíveis de níveis de ruídos e sons. A atividade principal desenvolvida é o ensino-aprendizado nas mais diferentes faixas etárias e nos mais diferentes campos do conhecimento. Portanto, é evidente a necessidade de existirem condições satisfatórias nas quais o aluno possa ser incentivado a aprender, sendo o espaço arquitetônico, construído ou não, fundamental para tais condições. A cultura brasileira de maneira geral, até então não se preocupava com estas questões, porém a crescente e atual busca por melhores espaços está fazendo com que se exijam locais mais adequados aos fins que se destinam.

Por outro lado, o problema da poluição sonora nas regiões urbanas brasileiras vem adquirindo grandes proporções. Fontes sonoras de diversas naturezas estão gerando um maior nível de ruído, contribuindo para a depreciação ambiental nos espaços públicos e particulares, com conseqüente decréscimo da qualidade de vida das pessoas. A configuração morfológica das cidades, fruto do desenvolvimento pela qual a sociedade passou ao longo dos séculos, possui muitas características que são herança de épocas passadas, onde existiam diferentes necessidades e tinham a razão de ser por motivos não mais existentes. Entretanto, é exatamente no espaço

público que está uma das principais fontes de poluição sonora no mundo moderno, o ruído de tráfego.

Acrescente-se a isto outras fontes produtoras de ruídos, tais como as utilizadas em propaganda, que utilizam potentes caixas acústicas na divulgação de seus produtos (ofertas em lojas, caminhão de gás ou festas populares). Estes são elementos recorrentes nas cidades brasileiras, sendo que outros países com legislações mais avançadas a respeito já proibem tais práticas. Dados da Secretaria do Meio Ambiente do Rio de Janeiro, relatados por BATISTA e SLAMA [1], mostram que a poluição sonora é disparada a campeã de infrações registradas pela instituição no período 1994-1996, chegando no último ano a somar mais do que todas as outras infrações juntas. Em Florianópolis, há vários casos de reclamações na Fundação Municipal do Meio Ambiente – FLORAM, que indicam uma situação similar. Este fato já é bastante comum na maioria das cidades catarinenses.

As edificações no Brasil, na sua grande maioria não são construídas adequadamente em se tratando da proteção ao ruído intrusivo. Existe negligência por parte dos incorporadores e construtores. MACHADO [2] afirma que incorporadores de edifícios e construtores de estabelecimentos ou de residências vizinhas de notórias fontes de poluição sonora têm co-responsabilidade de empregar materiais e sistemas de vedação à entrada som. Essa responsabilidade é marcante quando as fontes de emissão de ruído são anteriores à construção.

Atualmente a realidade evidencia a depreciação da qualidade de ensino, principalmente nas instituições públicas, sejam elas federais, estaduais ou municipais, em consequência de diferentes motivos, quais sejam, o pouco investimento nas instalações físicas e infra-estrutura, na qualificação do corpo docente, na implantação de metodologias pedagógicas adequadas e eficientes, na aquisição de materiais ou na manutenção em geral. Dentre os fatores que colaboram para a depreciação, está a qualidade acústica das edificações, aspecto que vem sofrendo descaso há muito tempo. As edificações não evitam a propagação dos sons nem mesmo internamente e não levam em consideração a qualidade acústica interna das salas de aula. Uma acústica ruim dificulta a inteligibilidade de alunos e professores e ocasiona condições pobres de ensino.

Dentre os envolvidos, os alunos certamente são os mais prejudicados, pois as condições acústicas não satisfatórias só tem a prejudicar a qualidade do ensino. Diversos estudos comprovam a importância de aspectos acústicos para possibilitar um melhor aproveitamento acadêmico dos alunos. Os professores, que passam grandes períodos nas instalações escolares, passam a ser vítimas de espaços pouco qualificados e inadequados ao desempenho de suas atividades profissionais. Estes locais podem ser a causa de importantes distúrbios, doenças vocais e até mesmo auditivas, trazendo prejuízos a saúde dos mesmos e colaborando para afastamentos e pedidos de licenças.

## **1.2. Relevância do estudo**

Dados do Censo Nacional de 2000 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE [3] mostram que Santa Catarina é um estado com aproximadamente 5.356.000 habitantes. O mesmo censo mostra que no Brasil, 30% da população está em idade escolar (0-14 anos). Segundo dados do Censo Escolar de Santa Catarina [4] neste estado existem 1.696.665 alunos matriculados em escolas em todos os níveis e modalidades onde 50,8% estão matriculados em escolas estaduais. Isso corresponde a 863.582 alunos. Frente a números tão elevados, torna-se extremamente necessário que o Estado ofereça espaços adequados à educação.

Ao mesmo tempo que considera-se uma demanda tão grande, confronta-se com uma realidade muito pouco adequada em se tratando das edificações escolares. Sem entrar no mérito de outros aspectos, os aspectos acústicos devem possuir tratamento especial para possibilitar condições propícias ao uso da edificação. Infelizmente, a acústica não tem encontrado amparo nem mesmo junto aos projetistas das edificações, pois estes raramente a consideram no projeto, cabendo, então, ações corretivas posteriores, que sempre são de custos mais elevados [5] e de solução mais complexa.

No Brasil, onde a legislação sobre a acústica das edificações é bastante inexpressiva, o melhor passo a ser dado na direção da conscientização dessa importância é pela qualificação dos espaços como um todo. A falta de leis federais, estaduais e municipais que estipulem condições mínimas, contribui para a perpetuação desta situação, pois não há obrigações legais para o cumprimento das normas técnicas, que além de serem pouco eficazes passam a ser meramente ilustrativas.

Assim, é necessário atuar-se em duas frentes, uma onde se controla o ruído diretamente na sua fonte, e outra onde procura-se intervir na trajetória antes que ele chegue as pessoas. Certamente esforços individuais pouco podem mudar com relação a primeira alternativa, pois é necessária a intervenção do Governo Federal e diversos setores da sociedade. Neste sentido, a Lei 6.938/81 [6] determina diretrizes bastante abrangentes para a questão da poluição sonora. Dentre elas está a que estipula que os Estados são responsáveis pela elaboração e implementação de normas suplementares àquelas estipuladas pelo Conselho Nacional do Meio ambiente – CONAMA. Então, evidencia-se que os Estados devem produzir os conhecimentos necessários para controle da poluição sonora e produzir os meios que possibilitem o cumprimento das normas, não apenas por obrigação, mas também, por trazer benefício para a população.

Qualquer ação no sentido de se estabelecer padrões, decretos e legislações necessita de amparo científico e tecnológico, caso contrário pode ser facilmente contestado. Existe a necessidade de se pautar com exatidão os objetivos, as necessidades e as formas de controle para um efetivo sucesso na aplicação da mesma. Esta base de dados é inexistente atualmente e necessita de investigação aprimorada.

Nesse mesmo sentido, o *International Institute of Noise Control Engineering- TC#4- Noise and Reverberation Control for Schoolrooms*, comitê científico internacional dedicado a investigação da acústica de escolas em nível internacional, está se organizando, produzindo estudos e fixando critérios e condições mínimas da aceitabilidade das edificações escolares com relação a aspectos acústicos, tendo em vista as diferentes tipologias, condições climáticas, culturais e vernaculares em diversos países. O trabalho resultante desta dissertação vai ao encontro desse esforço internacional, inclusive colaborando para tal, pois inclui o Brasil neste comitê científico.

Em termos práticos, manifestou interesse expresso através da disponibilização das escolas para avaliação e no reconhecimento do valor estudo para a Secretaria de Estado da Educação, o Diretor Geral do Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas do Estado de Santa Catarina.

Por fim, cabe lembrar que a sociedade está cada vez mais ciente do problema e anseia por uma melhor qualidade de seus espaços construídos ou não, e também de suas instituições, principalmente aquelas governamentais. Assim, este trabalho procura atender a diversos aspectos, sem esquecer do objetivo principal a que se destina a arquitetura: os usuários.

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Geral

- Elaborar conjunto de diretrizes relacionadas às questões acústicas para projeto e construção de escolas estaduais catarinenses.

### 1.3.2. Específicos

- Investigar a realidade das escolas estaduais do município de Florianópolis, com relação a aspectos acústico-arquitetônicos para caracterização do conforto acústico;
- Produzir base técnica para, juntamente com outros estudos, subsidiar a produção de legislação ambiental acústica;
- Prover com base de dados brasileiros o *I-INCE International Institute of Noise Control Engineering, TC#4- Noise and Reverberation Control for Schoolrooms*, comitê científico internacional dedicado a investigação da acústica de escolas em nível internacional.

## 1.4. Metodologia

Consiste em avaliar as condições atuais das escolas e seus usuários, para em seguida propor as ações projetuais necessárias para as novas edificações. Estas avaliações serão elaboradas através de entrevistas, levantamentos físico-construtivos das edificações, questionários aplicados junto aos usuários das escolas, alunos e professores e, por fim, através de medições acústicas.

Os levantamentos objetivam avaliar as condições atuais das edificações escolares, as entrevistas e os questionários procuram investigar a problemática subjetivamente do ponto de vista dos usuários, e as medições acústicas visam determinar objetivamente o ruído de fundo ( $L_{eq}$  e  $NPS_{máx}$ ), o tempo de reverberação (TR) e o tempo de decaimento inicial (TDI) das salas de aula. Complementarmente, será feita uma estimativa do nível de inteligibilidade através da correlação dos valores de ruído de fundo, da razão sinal/ruído e do tempo de reverberação.



O trabalho não tem o objetivo de estudar ações corretivas nas edificações já construídas e em uso, portanto, a avaliação e as propostas serão feitas considerando as novas edificações escolares que venham a ser construídas.

### **1.5. Delimitação do trabalho**

O objeto de estudo serão as escolas públicas estaduais catarinenses, mais especificamente aquelas localizadas no município de Florianópolis, SC, incluindo a parte continental e a parte insular, e escolas de nível fundamental (antigo 1º grau), de acordo com cadastro da Secretaria de Estado da Educação e do Desporto de Santa Catarina.

### **1.6. Estrutura da dissertação**

Este trabalho é composto de sete capítulos que são apresentados da seguinte maneira: o presente capítulo introduziu a temática do estudo; o segundo capítulo apresenta os critérios de avaliação acústica para escolas; o terceiro capítulo apresenta a revisão da literatura; no quarto capítulo são apresentados os resultados dos levantamentos físico-construtivos da situação atual das escolas públicas estaduais catarinenses; o quinto capítulo traz os resultados dos questionários aplicados junto aos usuários; o sexto capítulo mostra os resultados das medições acústicas. Por fim, no sétimo e último, são apresentadas as conclusões inerentes ao estudo, as sugestões para trabalhos futuros e as propostas de diretrizes projetuais em forma de recomendações a serem seguidas pelos projetistas das edificações escolares, e são resultados das conclusões obtidas por este trabalho.

## Capítulo 2

### CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO ACÚSTICA

No Brasil, diversos estudos [7-13] têm sido realizados com o objetivo de avaliar as condições acústicas de salas de aula em algumas cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Campinas, Santa Maria e Brasília. São estudos, porém, que consideram apenas os critérios acústicos mais básicos, o ruído de fundo e o tempo de reverberação. Em um ou outro caso avalia-se a inteligibilidade. Pesquisas recentes [14-20], porém, têm indicado a necessidade de avaliação de outros parâmetros que não apenas aqueles citados anteriormente, que não são suficientes para qualificar salas de aula.

Em uma abordagem mais ampla, as questões envolvendo os parâmetros acústicos mínimos aceitáveis em escolas baseiam-se nos seguintes critérios: o ruído de fundo (*Background Noise Level*) –  $L_{eq}$  e  $NPS_{máx}$ , a razão sinal/ruído (*Signal to Noise Ratio*) – S/R, o tempo de reverberação (*Reverberation Time*) – TR, o tempo de decaimento inicial (*Early Decay Time*) – TDI, a geometria da sala e a fração de energia inicial-final (*Early-to-Late Energy Fraction*) –  $C_{50}$ ; que com exceção do último, serão abordados ao longo desse trabalho. Este estudo, porém, não considerará os critérios de inteligibilidade, tais como o Índice de Articulação (*Articulation Index*) – AI; Índice de Transmissão da Fala (*Speech Transmission Index*) – STI; Nível de Interferência da Fala (*Speech Interference Level*) – SIL; Perda de Articulação de Consoantes (*Articulation Loss of Consonants*) –  $AL_{cons}$  e outros.

Compreende-se como inteligibilidade a capacidade de reconhecimento pelo ouvinte do sinal acústico emitido pelo orador [21,22]. No caso de escolas, geralmente os alunos são os ouvintes e o professor, o orador. A inteligibilidade pode ser expressa em termos de porcentagem, sendo que quanto maior o índice, maior a compreensão do sinal acústico. Exemplarmente, um índice de inteligibilidade de 75% significa que a cada quatro palavras, uma não é compreendida pelo ouvinte [5]. Um dos objetivos da acústica de uma sala de aula é atingir um maior nível de inteligibilidade possível [18,23], portanto, valores próximos de 100% são desejados para possibilitar melhores condições de ensino-aprendizagem. Recentemente, BRADLEY [15] concluiu que nem mesmo em situações onde se obtenha 100% de inteligibilidade podem representar condições acústicas ideais, já que durante os testes que levaram a esses resultados, as condições individuais são diferentes das usuais, devido a especial atenção que os ouvintes

dedicam no momento dos testes. Apesar de não serem abordados nesse estudo os critérios de inteligibilidade, existe uma estreita relação entre eles e os parâmetros apresentados. A seguir serão abordados os critérios de avaliação acústica supra citados.

## 2.1. Ruído de fundo

O ruído de fundo ou ruído ambiente pode ser considerado como todo aquele ruído existente em um determinado local que não diz respeito ao objeto de apreciação ou medição [24,25]. Para o caso de escolas, e mais especificamente salas de aula, o ruído de fundo é todo aquele ruído além da voz do professor.

Para caracterização do ruído de fundo é importante a avaliação não somente do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ), que gerará o nível absoluto, mas também dos níveis ( $L_{10}$  e/ou  $NPS_{máximo}$ ) [26], que gerarão os níveis relativos. O indicador  $L_{eq}$  pode apresentar valores dentro dos padrões adequados, entretanto, variações no nível de pressão sonora ao longo do tempo gerando picos ou cristas podem ser altamente perturbadores, especialmente no caso de escolas, podendo prejudicar a concentração de alunos e professores, mesmo que momentaneamente. Esses valores críticos são melhores quantificados através dos indicadores  $L_{10}$  e/ou  $NPS_{máx.}$

O ruído de fundo se origina das mais diversas maneiras e sempre está presente em condições normais de uso de edificações no dia-a-dia. Qualquer perturbação acústica, por menor que seja, está contribuindo para o ruído de fundo, seja ele o farfalhar das folhas de árvores ou um veículo ruidoso passando distante. Conscientemente o ruído de fundo pode não ser percebido, mas certamente ele está presente.

Basicamente, em se tratando de ambientes internos, o ruído de fundo é uma função da capacidade das partições, sejam elas externas ou internas na edificação, em interromper a trajetória do som e impedir a sua entrada no ambiente, na hipótese do ruído não ser originado no próprio ambiente. Esta capacidade de isolamento das partições inclui o isolamento aéreo e o estrutural.

Em escolas, a maior parte do isolamento requerido vem em função do isolamento aéreo, portanto segue a “lei da massa”, na qual os preceitos indicam que a princípio, quanto maior a

quantidade de massa melhor será a capacidade de isolamento. Juntamente a isso, é necessário evitar a passagem do som por outros elementos que compõem uma partição, como portas, janelas, frestas, venezianas e outros. Dessa maneira, a capacidade de isolamento da partição como um todo dependerá de sua pior condição, ou seja, do elemento mais fraco acusticamente da parede. Assim, de nada adianta a especificação de uma parede altamente isolante se ela for executada com frestas ou com uma janela de correr usualmente encontrada nas construções brasileiras e com mínima capacidade isolante. KINSLER *et al.* [27] citam alguns caminhos que o som pode percorrer através de fracas barreiras acústicas, como blocos de cimento porosos, selamento pobre entre paredes e piso ou teto, aberturas e/ou frestas nas paredes e locação de caixas de eletricidade frente-a-frente para diferentes ambientes. GERGES [28] relata que aberturas e frestas podem reduzir a perda de transmissão, podendo até amplificar o ruído em algumas frequências.

Outro aspecto é que os requisitos de isolamento acústico às vezes são contraditórios em relação as necessidades térmicas e de ventilação, especialmente em países de clima quente como o Brasil. Ao mesmo tempo que uma edificação pode ser considerada eficiente do ponto de vista bioclimático ou do conforto térmico, pode ser desastrosa do ponto de vista acústico, e vice-versa. Esta tem sido uma das mais importantes e difíceis questões para equacionamento pelos arquitetos. Como permitir que o ar entre e circule em um ambiente e ao mesmo tempo evite o ruído intrusivo? A questão torna-se ainda mais complexa quando avaliamos a realidade brasileira em que a maioria das edificações não possui condições de usufruir de condicionamento de ar; sejam por razões econômicas, projetuais, energéticas ou outra. Esta seria tecnicamente uma solução plausível, na medida que impede a entrada do ar exterior juntamente com a poluição sonora, reduzindo o ruído de fundo interno e permitindo a renovação e controle do ar interior. Esta situação é a encontrada na maioria da literatura, especialmente porque as pesquisas mais desenvolvidas na área estão localizadas em países de clima temperado e frio, onde invariavelmente há necessidade de estanqueidade aérea, seja no inverno pela necessidade de aquecimento ou no verão, que por ser mais brando do que o existente no Brasil, não necessariamente requerem janelas abertas. A questão pode transcender apenas a edificação e ser objeto de estudo como o controle do ruído urbano [29], já que edificações que requerem o uso da ventilação natural associada a baixos níveis de ruído necessitam estar localizadas em áreas com níveis de ruído urbano adequados, ou seja, não demasiadamente elevados.

AIREY [30], afirma que em meses de maior calor o problema do ruído de fundo fica majorado, pois as janelas das salas permanecem mais abertas, permitindo, assim, que todo o ruído contido no meio ambiente exterior à sala de aula adentre sem qualquer obstáculo. SANTOS e SLAMA [7], em seu estudo em escolas do Rio de Janeiro, concluíram que os seguintes problemas foram encontrados nas edificações escolares avaliadas: falta de privacidade na sala de aula, ruídos provenientes de favelas vizinhas à escola, vizinhança de modo geral perturbadora pois determinadas atividades geravam muito ruído, portas que não vedam sons oriundos das circulações e falta de manutenção de alguns modelos de janelas, que não fechavam mais.

Visando uma solução nesse sentido, VIVEIROS [31] desenvolveu um estudo sobre o comportamento de uma veneziana acústica frente ao isolamento sonoro. Trata-se de uma veneziana que permite de maneira filtrada a passagem e circulação do ar e da iluminação, ao mesmo tempo que atenua o som carregado pelo ar, através de diferentes mecanismos, inclusive absorção. A adoção de tais venezianas poderia ser uma solução para edificações, inclusive escolares, que sofram demasiadamente a influência do ruído de tráfego por exemplo.

Por outro lado, têm se verificado na construção civil a tendência de utilização de materiais cada vez mais leves, sejam para diminuir a sobrecarga estrutural das edificações nas fundações e, conseqüentemente, redução nos custos, ou para proporcionar métodos construtivos mais racionais. MACKENZIE [32] afirma que muitas edificações escolares modernas utilizam materiais leves nos fechamentos do teto e paredes. Certamente do ponto de vista econômico, essa tendência vai ao encontro aos interesses dos incorporadores. Porém, para o usuário da edificação, não necessariamente resulta em benefício. O alívio do peso dos materiais vai em oposição a “lei da massa”, em se tratando de acústica arquitetônica. Além do fato de que certos materiais são incompatíveis para utilização em ambientes coletivos como escolas, onde os fechamentos requerem uma maior proteção mecânica.

Além do ruído exterior à escola, existem aqueles que se originam na própria escola, como a voz do professor falando em salas próximas, pessoas caminhando nos andares superiores, atividades culturais como por exemplo música e canto, atividades esportivas em quadras e ginásios ou até mesmo equipamentos e maquinário de infra-estrutura da própria escola. KINSLER *et al.* [27] citam que um importante objetivo do projeto arquitetônico é prover isolamento suficiente para prevenir que fontes sonoras internas e externas venham a interferir no uso destinado ao ambiente.

Como solução ele propõe que os locais que precisam mais silêncio sejam separados internamente por “áreas de transição” ou “*buffer zones*” daquelas ruidosas. KNUDSEN e HARRIS [33] sugerem como estratégias de proteção sonora, o planejamento da topografia do terreno escolar, o zoneamento das edificações internamente no terreno e a correta separação das salas dentro de cada edifício. GIBBS [34] afirma que sempre que possível, o ruído exterior deve ser controlado através do planejamento do terreno e das edificações, sendo o isolamento através do envelope da edificação, a última alternativa a se adotar.

Com relação a hipótese do ruído de fundo se originar na própria sala de aula, em decorrência de conversas entre os próprios alunos por exemplo, REYNOLDS [35] afirma que nos casos em que o ruído interno é em função do campo reverberante, a alternativa para diminuição do ruído é a adoção de absorção no ambiente.

Com intuito de produzir uma edificação adequada acusticamente, VIVEIROS [36] elaborou um projeto para o concurso do novo edifício do curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, no qual considerou-se, desde as etapas iniciais de projeto até o detalhamento, a variável acústica, obtendo-se soluções para os mais diversos ambientes constantes no programa de necessidades. O projeto desmitifica a idéia de apenas considerar a acústica em projetos de auditórios e salas de conferências. Esse é um exemplo prático de como edificações que requerem qualidade acústica devem ser pensadas e projetadas em todas as etapas, e não somente como um projeto acústico posterior e deslocado.

No Brasil, a norma NBR 10.152 [37] define padrões mínimos de ruído em diversos ambientes, sendo no caso de salas de aula em escolas entre 40 e 50 dB(A). Entretanto, não há normas ou códigos de obra que especifiquem o grau de isolamento de uma partição, ficando o projetista sem elementos adequados para uma correta especificação. Como referência, cabe citar os níveis de ruído de fundo recomendados em diversos países para salas de aula. Estes valores foram levantados por VALLET [38] e estão ilustrados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Valores de ruído de fundo recomendados para salas de aula em diversos países [38].

País	Ano da norma	Critério	Nível Limite
Bélgica	1977/ 87	LeqA *	30-45
França	1995	LeqA *	38
Alemanha	1989	–	30
Itália	1975	–	36
Portugal	–	–	35
Reino Unido	1997	Leq * 1h	40
Suécia	1995	Leq *	30
Turquia	1986	Leq *	45

\* *Leq* – *Nível Sonoro Equivalente*

Em outros países como no Reino Unido, já existe regulamentação [39] que define padrões mínimos de isolamento de fachada e entre partições internas nas edificações de unidades distintas. Nos últimos anos, tem-se avançado nas questões relacionadas à partições internas das mesmas unidades. VALLET [38] cita que na Alemanha, existem limites mínimos de isolamento da fachada para salas de aula em função do ruído existente no exterior, apesar de não especificar na referência qual o indicador a ser usado, sendo, então, esse o principal objetivo a ser alcançado para um aceitável nível de ruído no ambiente, de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2** – Valores de isolamento requerido em fachadas para salas de aula na Alemanha [38].

Nível de ruído exterior	Isolamento da fachada
Inferior a 55 dB(A)	30 dB
56 a 60 dB(A)	30 dB
61 a 65 dB(A)	35 dB
66 a 70 dB(A)	40 dB
71 a 75 dB(A)	45 dB
76 a 80 dB(A)	50 dB
Acima de 80 dB(A)	Necessita estudo especial

Por fim, com relação ao isolamento interno entre partições, a Tabela 3 levantada por VALLET [38] mostra o grau de isolamento requerido de uma partição de sala de aula em função do ambiente adjacente, em diversos países.

**Tabela 3** – Valores de isolamento requerido entre partições internas em diversos países [38].

País	Norma	Indicador	Isolamento entre sala de aula e:				
			Outra sala	Outra sala c/ porta	Escadaria	Ginásio	Cantina
França		dB(A)	44	42	44	52	40
Alemanha	DIN 4109	R'w *	47	32	52	-	-
Reino Unido	BS 8233	R'w *	38	28	-	28	-
Suécia	SCBR 94	R'w *	44	30	44	-	60

\* R'w – Índice de Redução Sonora Aparente

## 2.2. Razão sinal/ruído

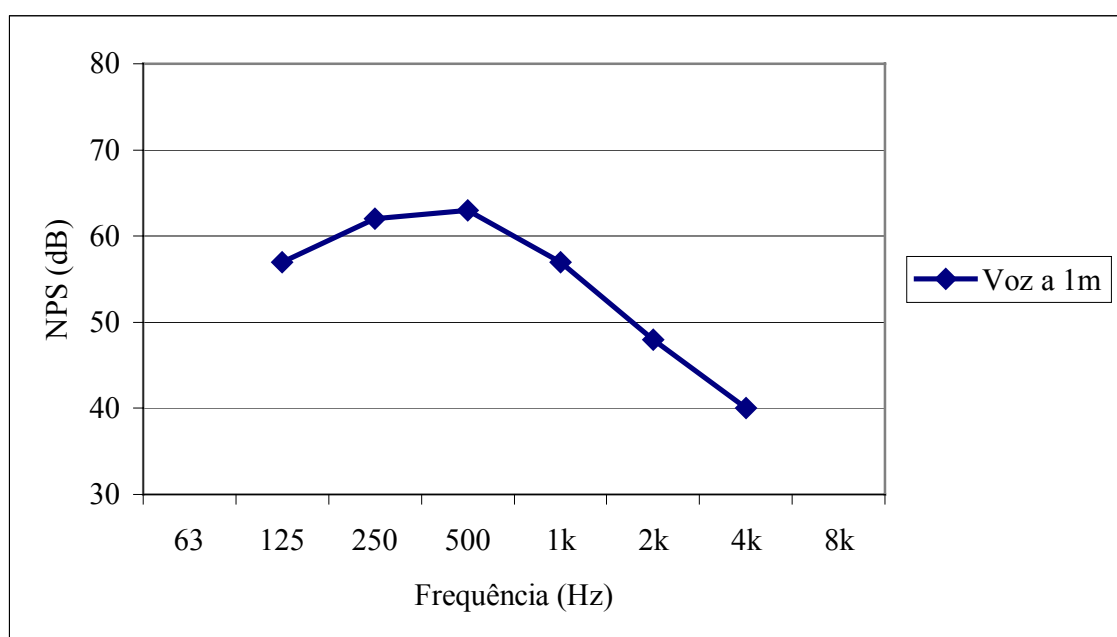
A razão sinal ruído (S/R) é a diferença entre o sinal acústico da fonte sonora, para o caso de escolas normalmente é a voz do professor, e o ruído de fundo contido no ambiente. Para se atingir um certo grau adequado de inteligibilidade, é necessária uma diferença mínima entre o sinal da fala e o ruído de fundo. Quanto maior esta diferença, melhor a capacidade de entendimento pelos ouvintes, pois o voz sobressai-se em relação os ruído.

BRADLEY [15] mostra que um valor ideal de sinal/ruído para salas de aula está em torno de + 15 dB. Valor semelhante é sugerido por AIREY [30]. Porém, essa recomendação está muito distante do que realmente se encontra na prática. ELLIOT [40] declarou que a relação sinal/ruído em sala de aula para crianças ouvintes encontra-se por volta de + 6 dB, ou até menos. O próprio BRADLEY [15] afirma que valores menores de S/R são encontrados na prática, sendo raro chegar aos 15 dB ideais. Valores relativamente elevados de ruído de fundo, tornam o trabalho do professor extremamente difícil. Salas com níveis sonoros chegando a 75 dB necessitariam que o professor falasse a um nível perto de 90 dB durante seu período de trabalho, valor que causaria sérios problemas vocais e até mesmo auditivos.



PICARD e BRADLEY [41] concluíram que os métodos convencionais de determinação da razão sinal/ruído podem superestimar os níveis da fala, pois integram a voz do professor com o ruído de fundo existente. Para uma avaliação mais acurada, deveria-se medir o nível sonoro da voz do professor e subtraí-la do ruído de fundo, para então, considerar esse nível como comparação com o ruído de fundo. Menores diferenças entre a razão S/R significam maior esforço vocal por parte do professor, pois naturalmente o nível da fala precisa ser aumentado para ser compreendido pelos ouvintes. A situação mais crítica ocorre com os alunos localizados mais distantes do professor, pois a voz vai decrescendo com a distância e ao chegar nos mais distantes, pode estar incorporada ao campo reverberante, ao seja, estaria incorporada no ruído de fundo. Também, locais próximos à fontes sonoras, como alunos perto de uma janela aberta voltada para a rua ou alunos próximos a ventiladores podem ser considerados similarmente críticos [5].

Considerando o espectro sonoro, pode-se perceber que a faixa de frequência da fala conforme Figura 1, encontra-se muito próxima daquela produzida pelo ruído de tráfego, como será apresentado no capítulo 3. Assim, além do mascaramento devido a pequena diferença entre os níveis sonoros (o valor global da fala é de 63 dB(A) [42]), ocorre a sobreposição das frequências das diferentes fontes, contribuindo para piora acentuada da inteligibilidade. Similarmente, o ruído produzido pela conversa dos próprios alunos pode dificultar o entendimento do professor, pois o espectro da fala é semelhante entre os alunos e o professor.



**Figura 1** – Espectro da fala humana a 1 m de distância [42].

### 2.3. Tempo de reverberação

É o mais conhecido parâmetro acústico qualitativo de uma sala e considerado o mais importante para salas de aula [33]. Em estudos mais simplificados e em salas de reduzidas dimensões e volume, conseqüentemente de menor complexidade, normalmente é o único parâmetro acústico avaliado. Define-se o tempo de reverberação ( $TR_{60}$ ) como sendo o intervalo de tempo (em segundos) que o nível de pressão sonora leva para decair 60 dB a partir da interrupção da fonte [5]. Considera-se para o estudo do  $TR_{60}$  o campo sonoro difuso, ou seja, com distribuição uniforme da energia sonora no ambiente, fato que nem sempre ocorre na prática, especialmente nas frequências mais baixas, pois, negligencia-se a existência de modos normais, a distribuição das superfícies de absorção e a forma da sala [43,44].

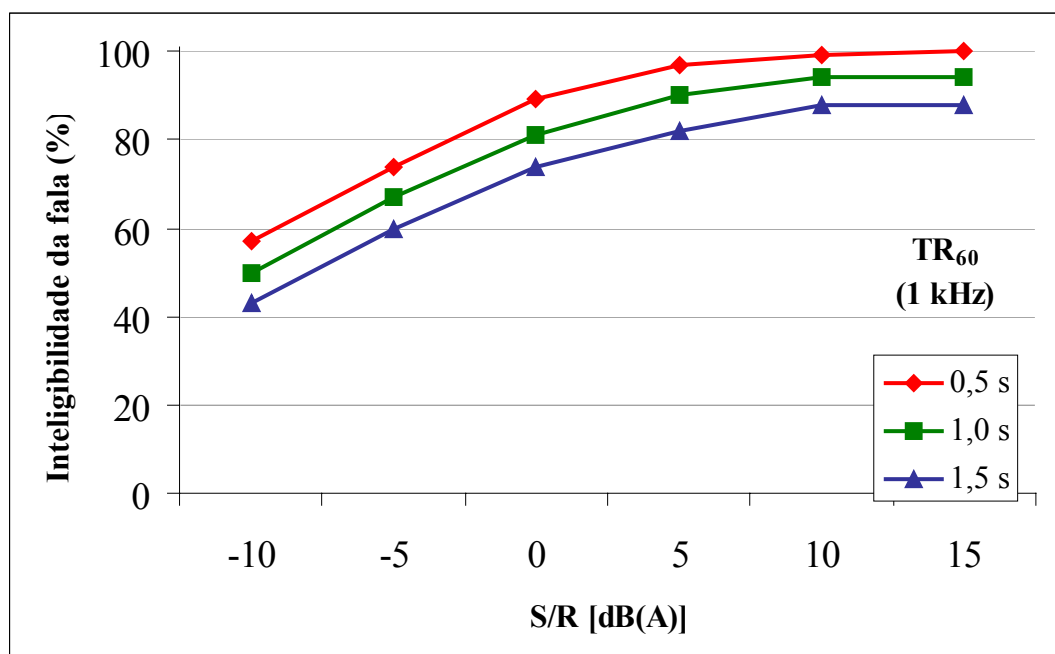
O  $TR_{60}$  depende do volume da sala ( $m^3$ ), da área ( $m^2$ ) dos materiais que compõem as superfícies internas (paredes, teto e piso), da ocupação da sala (pessoas, móveis e objetos) com seus respectivos coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) e da frequência considerada. O  $TR_{60}$  deve ser ajustado de acordo com o uso do espaço, sendo as atividades que requerem o entendimento da palavra (*e.g.*: palestras e aulas), as que necessitam  $TR_{60}$  mais baixos, diferentemente de atividades de música, que devem ter  $TR_{60}$  mais alto. Entretanto, isso pode variar muito e cada situação específica deve ser estudada. Assim, o primeiro passo é saber qual será o uso destinado à sala, para que se possa tratá-la de maneira adequada. Como quase a totalidade das avaliações em acústica, o  $TR_{60}$  depende da frequência do sinal em estudo [5]. Assim, para uma melhor caracterização, é necessário considerar diferentes frequências, sendo que existem diferenças entre elas que podem ser significativas. Para os casos de predominância da fala, é usual a avaliação nas bandas de frequência de 500, 1k e 2k Hz.

Com relação a inteligibilidade da fala, NÁBELEK e PICKETT *apud* BRADLEY [45], relataram em diferentes estudos que a inteligibilidade da fala aumentava quando o tempo de reverberação se aproximava de zero. Entretanto, TRs muito próximo de zero são inviáveis na prática, pois exigiriam muita absorção das superfícies internas das salas, com considerável elevação de custos de implantação e manutenção. Em salas de aula, BRADLEY [14] afirma que é importante manter o  $TR_{60}$  em níveis baixos mas nunca em torno de zero, pois as primeiras reflexões das paredes, piso e teto são benéficas para reforçar a voz do orador, especialmente quando ele não está falando na direção dos alunos. Entretanto, deve-se ter muito cuidado com essas reflexões, já

que caso elas permaneçam por mais tempo do que o necessário, passariam a dificultar o entendimento da fala, pois ao invés de reforçar o som original, passariam a sobrepô-lo.

O  $TR_{60}$  não pode ser considerado como único parâmetro para inteligibilidade. BRADLEY [14] realizou teste que mostrou que um aumento na reverberação não necessariamente revertia em benefício para a inteligibilidade, já que aumentando a reverberação através de materiais refletivos, poderia se melhorar as primeiras reflexões (*early reflections*) e ao mesmo tempo aumentar as reflexões posteriores (*later reflections*), sendo esta, prejudicial para inteligibilidade. Em oposição, colocar absorção sonora em excesso não trará benefícios, pois o referido autor mostrou que não apenas o  $TR_{60}$  deve estar em torno de 0,5 s mas, também, deve-se considerar o som direto e as primeiras reflexões.

Em outro artigo, BRADLEY [46] concluiu que existem certos limites adequados, correlacionando tempo de reverberação (1kHz) com a relação sinal/ruído dB(A), para melhores condições de inteligibilidade. Estes valores são apresentados na Figura 2 a seguir.



**Figura 2** – Valores ótimos de inteligibilidade em função da razão S/R e do  $TR_{60}$  (1 kHz) [46].

No Brasil não existe recomendação a respeito de valores para  $TR_{60}$  especificamente para salas de aula. Os valores recomendados em diferentes países para  $TR_{60}$  foram levantados por VALLET [38] e FERNANDES [47] e encontram-se na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4** – Valores de  $TR_{60}$  recomendados para salas de aula em diferentes países [38,47].

País	Norma	Tempo de Reverberação	Observação
Portugal	Lei 251/87	0,6 – 0,8	500 – 4kHz
França	–	0,4 – 0,8	Salas até 250 m <sup>3</sup> , 500 – 2kHz
Reino Unido	BB 87	0,5 – 0,8	–
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	Depende da freq. e vol.
OMS	–	0,6	–

Existem duas maneiras de se obter o  $TR_{60}$ , uma experimental através de medições com instrumentação adequada, e outra teórica, através de equações matemáticas. A equação para o cálculo do  $TR_{60}$  mais difundida foi desenvolvida por SABINE no final do século XIX e leva em consideração o volume da sala e os materiais de revestimentos, com suas respectivas áreas.

$$TR = \frac{0,161}{A} \cdot V \quad [1]$$

onde  $V$  é o volume da sala (m<sup>3</sup>) e  $A$  é a absorção total do auditório (m<sup>2</sup> Sabins).

$A$  pode ser calculado através da seguinte equação:

$$A = \sum_i S_i \alpha_i \quad [2]$$

Onde  $\sum_i$  é o somatório dos produtos do coeficiente de absorção  $\alpha_i$  de cada material de revestimento pela sua respectiva área  $S_i$ .

Outras fórmulas foram desenvolvidas posteriormente e visam estabelecer uma melhor correlação de resposta para diferentes condições físico-construtivas de salas. Essas fórmulas são válidas para casos específicos como salas com muita absorção ou com muita diferença entre os coeficientes de absorção dos materiais de revestimento.

Estudos [15,48,49] mostram que as equações, apesar de possuírem boa correlação, nem sempre possuem grande precisão nos resultados, pois são apenas uma aproximação do modelo real, e não levam em consideração outros parâmetros, como absorção pelo ar, umidade relativa do ar, existência de muita ou pouca absorção, comportamento do campo sonoro, existência de elementos (porta de armário, por exemplo) funcionando como membranas vibrantes, ou pelo simples motivo de não haver um consenso em relação aos coeficientes de absorção de diferentes materiais e suas formas de montagem e/ou revestimento. BRADLEY [15] investigou a precisão de diversas fórmulas de  $TR_{60}$  existentes na literatura através de análise em um mesmo ambiente e chegou a resultados com diferenças maiores de 10% entre elas. Concluiu que, mesmo em condições completamente controladas como no experimento, não foi possível prever com exatidão o tempo de reverberação. Então, mostra-se evidente a necessidade de medições com instrumentação adequada para se determinar corretamente o tempo de reverberação de salas de aula.

KUTTRUFF [50] afirma que para *halls* é freqüente o fato de se encontrarem tempos de reverberação menores do que os preditos. Segundo ele, isto deve-se ao fato de não ser possível considerar-se todas as possíveis causas de absorção sonora. Porém, afirma que raramente a diferença passa de 0,1s. Por outro lado, ele sugere que durante a construção, devem-se fazer medições de  $TR_{60}$  a título de comparação com os valores preditos e, caso seja necessário, para possíveis correções durante a construção.

A combinação de alto nível de ruído de fundo com  $TR_{60}$  inadequado pode ser considerado como um caso crítico pois o falar e o ouvir ficam excessivamente difíceis e, naturalmente, a inteligibilidade cai vertiginosamente. Outro problema decorrente de um  $TR_{60}$  não adequado é o que JUNCQUA [51] cita como “efeito LOMBARD” ou “efeito COQUETEL” como citado por GERGES [23]. Trata-se de uma conseqüência do ruído de fundo juntamente com péssimas qualidades acústica da sala. Pela necessidade de ser entendido, o professor vai elevando sua voz, mas por não haver absorção sonora suficiente, o ambiente reflete a voz diversas vezes e as

sílabas começam a se misturar. O professor, na tentativa de corrigir a deficiência da sala, até mesmo involuntariamente, eleva a sua voz, mas mesmo assim não é entendido claramente pelos alunos. É um caso onde o professor tenta aumentar a razão sinal/ruído, mas pela deficiência da sala em termos de reverberação, pouco sucesso é alcançado.

O mesmo acontece quando se implantam sistemas de amplificação sonora, através de microfones, amplificadores e caixas acústicas, em ambientes sem qualidade acústica adequada. Não se corrige o problema e na maioria das vezes a situação fica ainda pior que sem a amplificação. Os sistema capta não somente a voz do orador, mas também o ruído de fundo, amplificando ambos, quando deveria captar somente a voz do professor, acontecendo apenas um aumento do nível sonoro total, sem mudanças significativas para a razão S/R.

Ainda sobre amplificação, quando implantado em casos que garantam sua eficiência, este sistema pode resolver apenas os problemas de comunicação entre professor – aluno, não acontecendo o mesmo entre aluno – professor e aluno – aluno, já que apenas o professor fica com um microfone [5]. Aliado a isso, surgem problemas comportamentais, já que este sistema gera uma certa timidez nos alunos, prejudicando sua forma de se expressar.

#### **2.4. Tempo de decaimento inicial**

Assim como o  $TR_{60}$ , o tempo de decaimento inicial (TDI) considera a curva de decaimento da energia sonora no ambiente. Entretanto, ao invés de considerar a queda de 60 dB, considera apenas a queda dos primeiros 10 dB [18]. Desta maneira, o TDI depende fortemente da energia inicial contida no sinal avaliado, entretanto, não se deve confundir o TDI com o som inicial. Para comparação dos valores de TDI com os de  $TR_{60}$  é multiplicado o valor do primeiro por 6 [52].

O TDI é um importante parâmetro acústico de avaliação de um ambiente, pois ele considera a energia sonora contida no início, sendo esta energia importante para a melhor inteligibilidade. HODGSON [53] afirma que o TDI depende das dimensões da sala (tamanho e forma) e de sua absorção sonora (quantidade e distribuição).

KUTTRUFF [54] relata que o tempo de reverberação não mostra variações substanciais com a forma da sala. Isso ocorre porque o processo de decaimento como um todo é composto de

numerosas reflexões com atrasos diferenciados. Por outro lado, ele afirma que o TDI é determinado por fortes e isoladas reflexões e depende grandemente da posição da medição, sendo, então, mais sensível aos detalhes da geometria. Assim, o TDI é um parâmetro importante para sensação subjetiva dos ouvintes em um sala [46], podendo ter significativas variações em diferentes assentos.

BRADLEY [46] também incluiu o parâmetro em seu estudo sobre inteligibilidade em salas, com objetivo de obter medições compostas e concluiu que os resultados obtiveram similaridades entre as correlações S/R–TR e S/R–TDI para o caso estudado.

Então, a recomendação de 0,5 segundos para TR é válida também para o TDI, considerando que valores ainda menores são desejados.

## 2.5. Fração de energia inicial-final

Segundo HODGSON [20], a fração de energia inicial-final ( $C_{50}$ ) é definida como sendo a energia total da fala radiada pela fonte sonora que chega ao receptor em um tempo menor e maior que 50 ms respectivamente, após o som direto. A fração de energia inicial-final é calculada através da seguinte fórmula:

$$C_{50} = 10 \log (E / L) \quad [3]$$

Onde  $E$  é a energia sonora até 0,05 segundos e  $L$  é a energia sonora posterior a 0,05 segundos.

HODGSON [20] ainda afirma que a fração de energia inicial-final afeta diretamente a inteligibilidade. Excesso de reverberação aumenta a energia após os 50 ms e resulta na redução da razão da fração de energia inicial-final, pois os fonemas começam a se sobrepor de maneira prejudicial, ocorrendo assim a redução de inteligibilidade.

Por outro lado, BRADLEY [15] cita que as reflexões iniciais são amplamente apreciadas, pois o nosso aparelho auditivo junta as sílabas até um tempo de 50 ms entre o som direto e as primeiras reflexões, contribuindo assim para um incremento da inteligibilidade, através da sobreposição útil dos fonemas.

Em ambientes pequenos, a energia inicial é a responsável por permitir uma boa condição de audibilidade em conversas, fator não existente em ambientes grandes e sem reflexão, como áreas abertas. Assim sendo, o que contribui fisicamente para uma maior quantidade de energia inicial é a existência de superfícies refletoras perto da fonte sonora. Isto justifica o fato de que colocar absorção inadvertidamente em um ambiente visando diminuição do  $TR_{60}$  pode não ser a melhor solução para inteligibilidade. No mesmo estudo, BRADLEY [15] relata que as reflexões iniciais ajudam muito aos ouvintes que se encontram mais distantes da fonte, chegando a contribuir em até 9 dB. No mesmo sentido, HODGSON e NOSAL [55] afirmam que um  $TR_{60}$  de zero segundos é ideal para aqueles ouvintes que se encontram perto da fonte sonora e para aqueles que se encontram longe deve ser diferente de zero, exatamente para possibilitar a existência das primeiras reflexões.

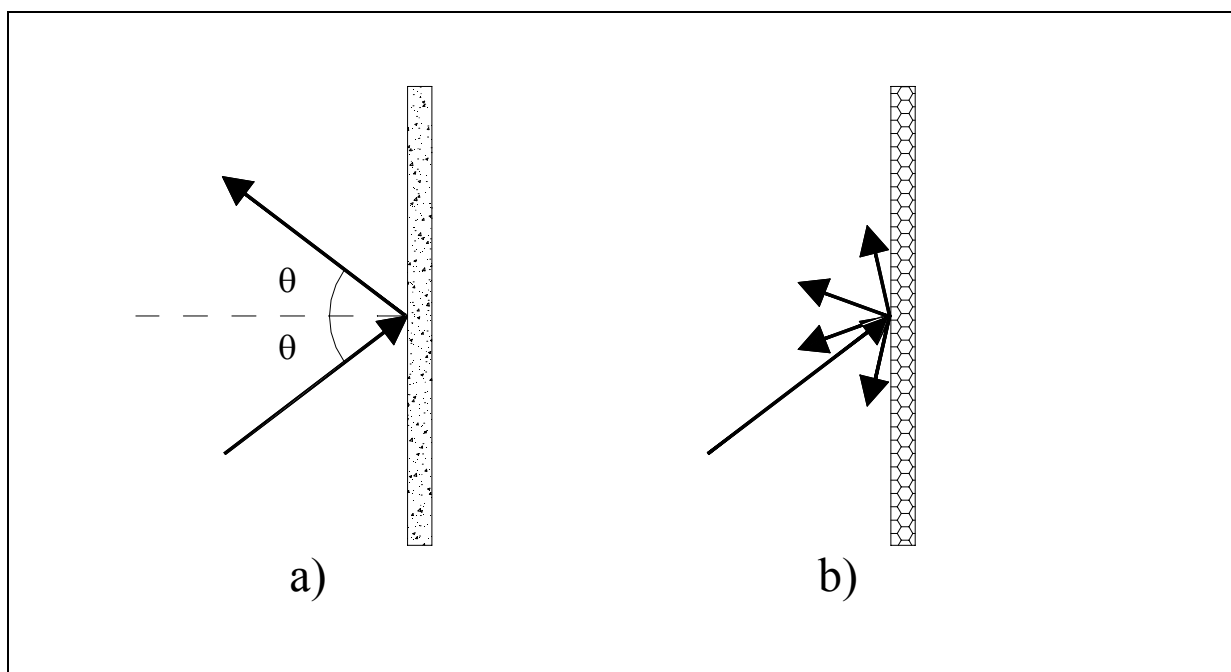
Apesar da crescente importância que o parâmetro  $C_{50}$  vem recebendo pelo meio científico para avaliação acústica de salas de aula, esse estudo não o avaliará, devido a limitações referentes a instrumentação.

## 2.6. Geometria

A geometria de uma sala pode ser um fator determinante do ponto de vista de sua qualidade acústica. A análise geométrica faz uma aproximação e considera a onda sonora como um raio que parte de uma fonte sonora e propaga-se em direções determinadas pelas características direcionais da fonte e da frequência do som. Esses raios não possuem significado físico, sendo apenas uma representação das frentes de onda. Para se considerar esta abordagem, é necessário que se contemple uma condição básica: que o comprimento de onda seja pequeno em relação as dimensões da sala em estudo. Satisfeita essa condição, assume-se que o raio incidente, o raio refletido e a normal à superfície no ponto de incidência estejam no mesmo plano e que os ângulos de incidência e reflexão sejam iguais [44,56]. Pode-se fazer uma analogia com as leis da ótica geométrica.

A Figura 3 ilustra como um raio pode ser refletido quando incide em uma superfície. A reflexão poderá ser a) especular ou b) difusa. No primeiro caso, o raio refletido possui a mesma angulação em relação a linha normal a superfície e o raio incidente. Já no segundo, isto não ocorre, porque agora existirão raios refletidos em várias direções.



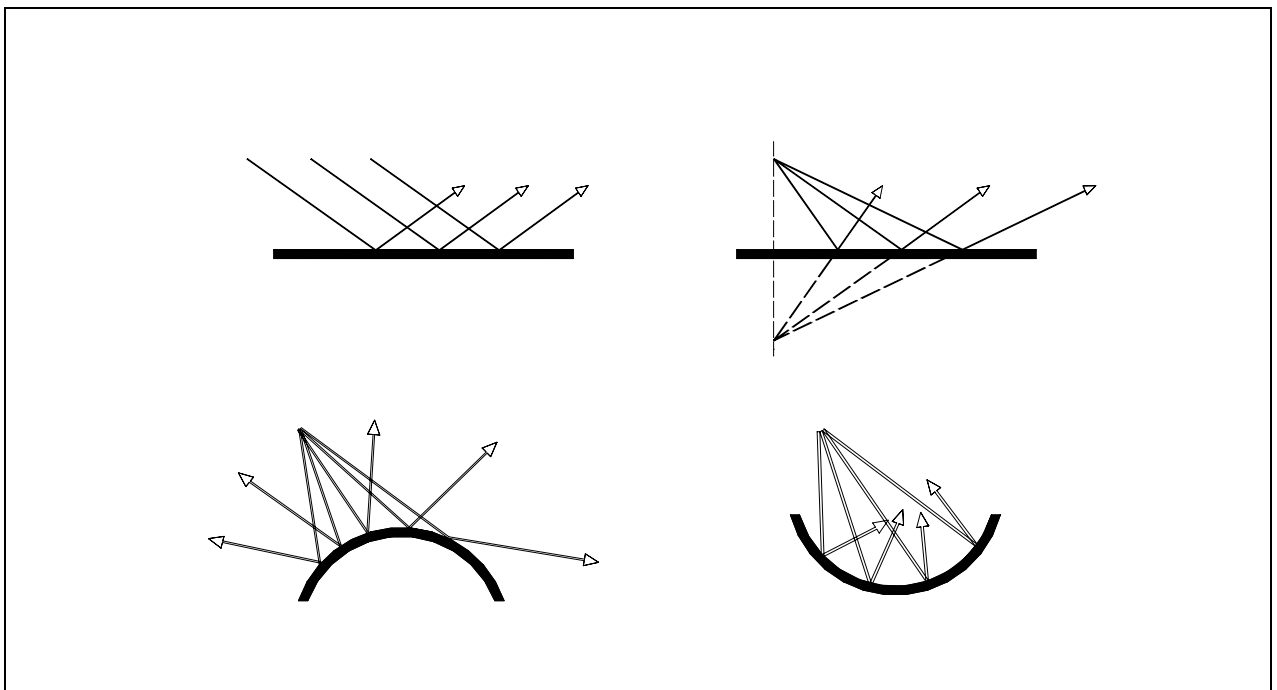


**Figura 3** – a) reflexão sonora em superfície especular, b) reflexão em superfície difusora.

Na prática dificilmente existe apenas um tipo ou outro de reflexão, mais sim uma mistura de ambos, fazendo com que haja reflexão mista, caso em que, por exemplo, pode ocorrer uma reflexão difusa mas não para todas as direções. Isso dependerá basicamente dos seguintes a) do material da parede no qual o raio está incidindo, b) do espectro de frequência do som incidente., e c) da forma geométrica da superfície. A quantidade de energia sonora irradiada será tanto menor quanto maior for o coeficiente de absorção do material da parede considerada. Por outro lado, sons com diferentes frequências possuem diferentes comportamentos frente a reflexão. Por último, como normalmente, o som incidente contém um espectro amplo de frequências, o comportamento geral será provavelmente algo entre a reflexão especular e a difusa.

A análise geométrica torna-se importante pois através dela pode-se tirar proveito das reflexões para incremento da inteligibilidade, maximizando as reflexões do ponto de vista da distribuição e da qualidade sonora, facilitando a sobreposição das primeiras reflexões no som original para ouvintes mais distantes da fonte [44]. Também, os modos acústicos da sala serão determinados por suas dimensões: comprimento, largura e altura o que significa poder surgirem ressonâncias indesejáveis.

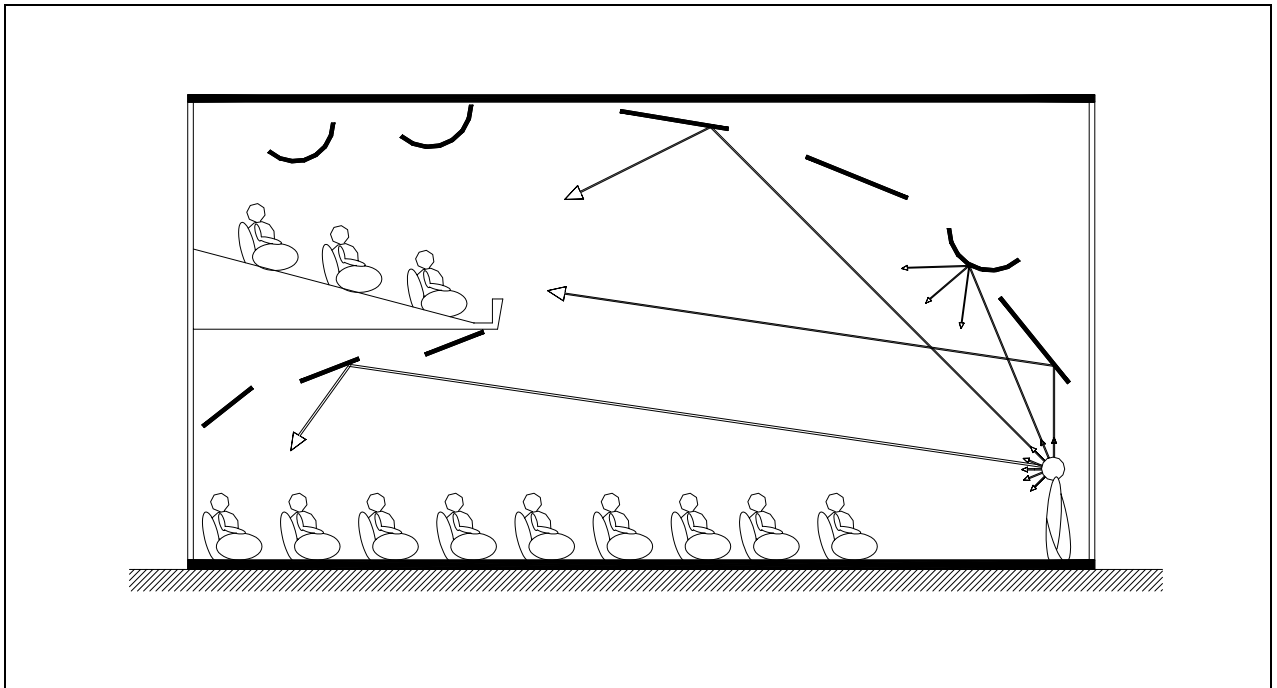
A Figura 4 ilustra quatro casos de reflexão tratados pela acústica geométrica, considerando a reflexão especular. No primeiro caso, o ângulo de incidência do raio é idêntico ao ângulo de reflexão. No segundo, a reflexão provém de uma fonte virtual situada em um ponto que é a imagem especular da fonte verdadeira. Tais fontes virtuais existem em todas as demais paredes que limitam a sala, que depois de um certo tempo fica completamente envolvida por uma série de fontes. No terceiro, é ilustrado como os raios sonoros se espalham quando incidem sobre uma superfície convexa. Este tipo de superfície colabora para o espalhamento do som e melhor difusidade, aspecto que é na maioria das vezes desejado. Em salas de aula, um melhor espalhamento do som indica que diferentes posições de ouvintes (alunos) podem ter condições semelhantes de audibilidade da voz do professor. No quarto e último, a superfície é côncava, fazendo com que o som seja concentrado em um determinado ponto. A não ser que se tenha o objetivo muito específico de concentrar o som, este tipo de superfície não é adequado do ponto de vista acústico [22].



**Figura 4** – Diferentes casos de reflexão sonora.

A Figura 5 mostra como as propriedades de reflexão podem ser aproveitadas para melhorar a qualidade acústica de uma sala. A simples colocação de superfícies refletoras em locais perto da fonte sonora, contribui para uma melhor distribuição espacial da energia sonora no ambiente. Locais onde a princípio o som chegaria com dificuldade, pois o som direto, que caracteriza-se

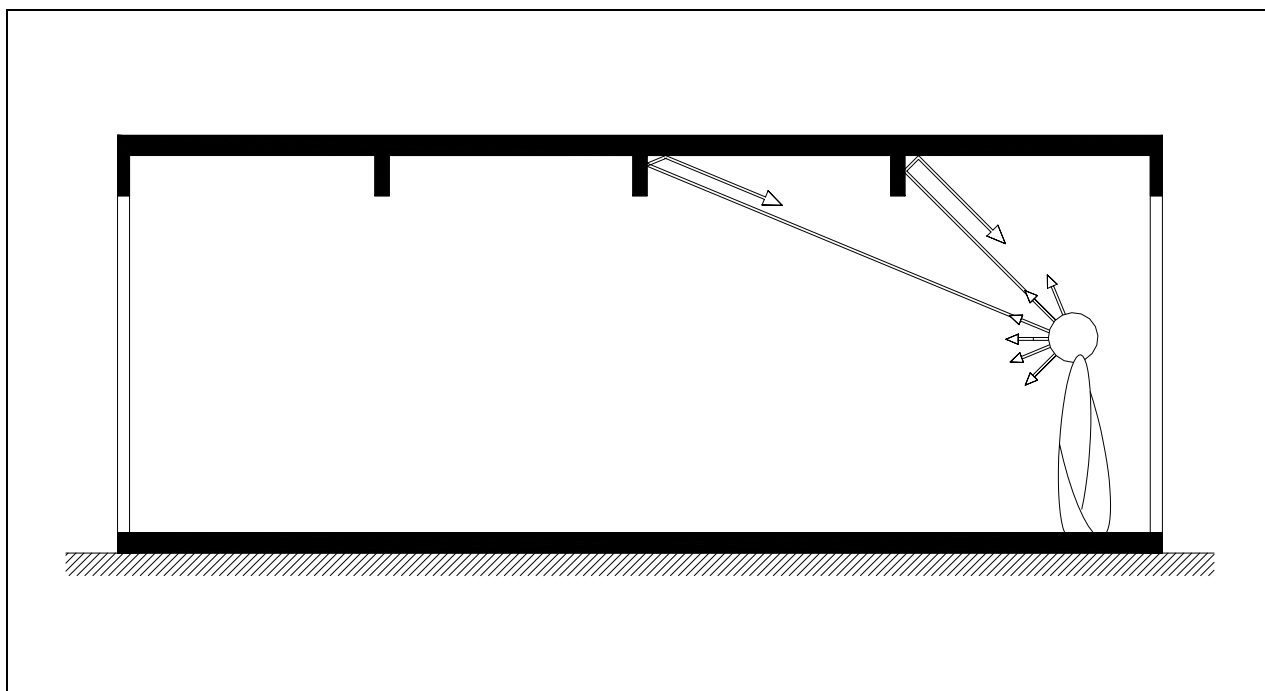
como sendo o som que percorre única e exclusivamente o menor caminho entre a fonte sonora e o receptor, chega atenuado, podem ser favorecidos com o uso dos painéis, que focalizam os raios sonoros refletidos para onde está a platéia ou para onde o som chegaria com problemas de atenuação.



**Figura 5** – Corte exemplar da utilização de placas refletoras em uma sala utilizadas para proporcionar distribuição sonora.

Esse é o mesmo princípio que deve ser utilizado em salas de aula, onde as superfícies mais próximas do professor devem possibilitar a reflexão e espalhamento da energia sonora, sem no entanto, provocar excessiva reverberação.

AIREY [57] relata que em salas de aula são encontrados forros bastante altos, muitas vezes com inclinações desfavoráveis ou vigas incorporadas no desenho. Essas características causam não somente altos  $TR_{60}$ , mas peculiaridades no campo sonoro como regiões “vivas” ou “mortas” em decorrência da criação de focos acústicos. A Figura 6 apresenta como a presença de vigas cruzando o teto pode prejudicar a distribuição sonora em sala de aula, fazendo com que a onda sonora volte para o professor.



**Figura 6** – Corte exemplar de vigas atuando como elementos prejudiciais a distribuição sonora em uma sala.

Ainda com relação a geometria, um importante objetivo é se evitar a formação de ondas estacionárias nas salas de aula. Essas ondas afetam a distribuição sonora da sala, prejudicando o entendimento por parte dos ouvintes. Assim, deve-se evitar superfícies rígidas e paralelas, que levam a múltiplas reflexões e formam ondas estacionárias. Por fim, VERMEIR e GEETERE [58] afirmam que a existência de mobília colabora para se evitar a formação de ecos flutuantes, pois o efeito da difusão permite o espalhamento das ondas sonoras no ambiente.

## 2.7. Conclusões

Esse capítulo apresentou os critérios de avaliação acústica ruído de fundo, razão sinal/ruído, tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, fração de energia inicial-final e a geometria. Os critérios apresentados não podem ser avaliados isoladamente, já que nos ambientes o que se encontra é o somatório de diversos fenômenos. Portanto, há que se considerar que determinados parâmetros possuem maior ou menor importância no resultado final em se avaliando a acústica de uma sala de aula.

BRADLEY, REICH e NORCROSS [59] e BRADLEY [15] sugerem que dois pontos principais devem ser seguidos para se obter uma boa acústica para salas de aula. O primeiro seria a redução do ruído de fundo do ambiente para níveis admissíveis e recomendados para a atividade. No caso de salas de aula, o valor é ao redor de 30 dB(A) [14]. Conseqüentemente, essa redução levaria a um aumento na razão sinal/ruído, colaborando para uma melhor inteligibilidade e, também, para permitir a redução do esforço vocal pelo professor. BRADLEY [15] afirma que variações de S/R têm influência maior para inteligibilidade do que diferentes condições acústicas das salas. O segundo ponto seria a adequação qualitativa interna da sala através da correta especificação do tempo de reverberação. O valor ótimo situa-se ao redor de 0,5 s, para bandas de frequência entre 500 e 4k Hz [60], podendo-se então atingir 100 % de inteligibilidade. TRs maiores e razões S/R menores podem ser admissíveis em diferentes combinações, conforme apresentado na Figura 2. BRADLEY, REICH e NORCROSS [59] afirmam que não é importante ajustar o TR sem antes adequar a razão S/R, ou seja, a melhor condição é obtida considerando-se ambos parâmetros, na ordem de importância apresentada. Ainda, conforme afirmado por BRADLEY [46], o TDI possui melhor correlação com a sensação subjetiva das pessoas, sendo, então, importante avaliá-lo em paralelo ao TR. O valor de 0,5 s também é a recomendação para TDI.

Por fim, foi visto que deve-se maximizar as reflexões iniciais sem contudo aumentar a energia tardia, projetando-se adequadamente a geometria da sala, bem como evitando-se formas geométricas indesejáveis.

# Capítulo 3

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. Introdução

A revisão da literatura está estruturada de maneira a apresentar sistematicamente as diversas abordagens do trabalho. Primeiramente, serão expostos os fatores relacionados às conseqüências dos aspectos acústicos nos usuários e nas pessoas envolvidas com as atividades escolares. Este é um ponto importante, pois espaços inadequados acusticamente, invariavelmente acarretarão em alguma das conseqüências apresentadas.

Uma segunda abordagem é feita considerando as fontes sonoras que influenciam e atuam as edificações escolares, considerando o comportamento do som nesses locais e o comportamento das edificações frente ao som ou ruído. Também são considerados os padrões adequados e as recomendações para uma melhor qualidade acústica do ambiente.

Por fim, apresentam-se os aspectos de ordem jurídica e normativa. Esta abordagem objetiva complementar a importância da acústica nas escolas, pois apresenta como o usuário pode e deve cobrar seus direitos em relação ao serviço público “educação” e também como o governo pode propiciar as condições adequadas à atividade a qual se destinam as escolas. Nenhuma das abordagens tem objetivo de ser mais importante que à outra, a distinção é feita apenas para apresentar as diversas facetas envolvidas. Alguns pontos apresentados possuem ligação direta com outros, formando uma teia, onde muitas vezes simplificações classificatórias não esgotam as possibilidades de análise.

### 3.2. Aspectos relacionados aos usuários

#### 3.2.1. Caráter subjetivo do incômodo acústico

KRYTER [61] afirma que a palavra “ruído” normalmente é utilizada para indicar a energia acústica audível que possa afetar adversamente as pessoas. Por outro lado, o ruído do voar de um inseto durante uma noite de sono pode ser igualmente perturbador àquele produzido por uma

turbina de avião, mesmo que aquele não gere problemas auditivos e mesmo sendo a diferença de pressão sonora entre estas fontes tão elevada. Daí o fato de algumas vezes ser difícil mensurar o quanto um ruído pode ser indesejável, perturbador ou danoso. Outro caso é o do músico de uma orquestra. Ao mesmo tempo que ele necessita certos níveis sonoros elevados para sua percepção musical, esses mesmos níveis podem estar contribuindo para problemas auditivos. Esta problemática também ocorre em função de diferentes fatores, como por exemplo o tempo de exposição, a distância da fonte e até mesmo padrões sociais e culturais pré-estabelecidos.

Os conceitos de incômodo acústico sejam em quaisquer níveis, são baseados na audição humana, que por definição possui diferenças significativas entre diferentes pessoas. Segundo relata YERGES [62], existe um consenso geral de que o mecanismo “audição” é subjetivo, porém o fenômeno “som” é objetivo. A audição leva em conta o sistema auditivo do indivíduo que se esteja avaliando enquanto o som estará acontecendo na natureza, independente de se considerar como afeta um indivíduo. Portanto, qualquer avaliação acústica feita em função dos seres humanos, necessita considerar não somente aspectos objetivos mas também subjetivos para melhor determinar os resultados.

HALPERN e SAVARY [63] relatam que foram realizados estudos sobre a maneira pela qual o ruído afeta o aparelho auditivo e ainda outros aspectos da saúde física. Estes, sugerem que mesmo que determinados sons ou ruídos não estejam produzindo um efeito prejudicial ao corpo, eles podem estar afetando de forma negativa o comportamento, as emoções, o pensamento, o aprendizado, a criatividade, a imaginação e outros processos psicológicos

SOUZA [64] afirma que a poluição sonora é um inimigo sutil ou quase imperceptível da comunicação oral, pois o som é visto por muitas pessoas apenas como uma onda que passa. Ainda segundo SOUZA, não se percebe como o ruído invade a audição, ocupa nosso cérebro, ativando-o e monopolizando-o, chegando a reduzir drasticamente o poder da comunicação oral e de reflexão das pessoas.

SCHAFFER [65] afirma que o espaço acústico não é espaço visual ou físico. Não se pode possuí-lo ou demarcá-lo em um mapa. É espaço compartilhado, posse comum, de onde todos os habitantes recebem sinais vitais. Um habitante das redondezas pode descobrir que está compartilhando seu quarto ou jardim com a indústria aeronáutica internacional.

Por fim, registra-se que as pessoas que se encontram sob influência de certos níveis de pressão sonora que não cheguem a causar desconforto, mas que degeneram fisiologicamente o ouvido, não notam no seu dia-a-dia que estão perdendo sua capacidade auditiva. O maior problema é exatamente o fato de não sentir dor, mas ao longo de anos se detecta a perda auditiva.

### **3.2.2. Efeitos do ruído no sistema auditivo**

As conseqüências mais evidentes da exposição a altos níveis de ruído são os problemas auditivos. O mecanismo de audição é bastante complexo e ainda existem muitas controvérsias a respeito de seu funcionamento. Entretanto, é conhecido que as informações auditivas são apenas captadas e processadas pela orelha e ouvido respectivamente. A interpretação do som é um fenômeno que se completa no cérebro. Desta maneira, parece ser reduzida, então, a importância desses elementos, pois servem apenas como instrumentos de detecção sonora. Entretanto, qualquer tipo de alteração fisiológica desses, significa perda de suas capacidades funcionais, com conseqüente decréscimo na capacidade de interpretação sonora pelo cérebro.

É exatamente ao estar exposto a níveis sonoros elevados que o ouvido pode sofrer alterações danosas. COSTA [66] afirma que para causar surdez é necessário que o órgão auditivo tenha suas células nervosas destruídas por sons de forte intensidade. Por outro lado, do ponto de vista quantitativo, um som ou ruído inicia a ser prejudicial às pessoas quando adquire um nível de pressão sonora ao redor de 70 dB(A) [66,67], ainda que se admitam níveis de até 85 dB(A) para trabalhos de até 8 horas. Portanto, dependendo da duração da exposição, níveis de ruídos superiores a 85 decibéis já podem causar lesões ditas irreparáveis ao sistema auditivo humano. Entretanto, a extensão e o grau do dano guardam relação direta não apenas com o nível de pressão sonora e com a duração, mas também, com a frequência e a susceptibilidade do indivíduo [68].

Durante a vida, dia e noite, em casa ou no trabalho, a exposição excessiva a ruídos importuna, produz estresse, interfere no trabalho e no lazer, altera a habilidade de comunicação. Porém, quando essa exposição é muito intensa, produz resultados muitas vezes a curto prazo na forma de alterações permanentes no sistema auditivo, provocando perdas auditivas significativas. A perda de audição estreita a faixa do limiar da audição para diferentes frequências e é mais sentida entre as faixas entre 4 e 6 kHz [69]. Caso a exposição seja por curto período de tempo, é possível que



o limiar auditivo retorne ao normal, fenômeno que pode levar horas para ser completado. Esse efeito é chamado de Mudança Temporária do Limiar da Audição- (*Temporary Threshold Shift- TTS*) [68,69]. Se a exposição for repetida antes do completo restabelecimento do limiar, a perda temporária pode se tornar permanente e é conhecido como Alteração Permanente no Limiar (*Permanent Threshold Shift- PTS*) [68].

Entre os fatores que causam a perda auditiva pode-se citar: longa exposição a altos níveis de ruído que danificam as células do ouvido interno e o envelhecimento do indivíduo, pelo fato da perda de audição ser cumulativa ao longo da vida e de não haver regeneração de células danificadas. Os sintomas da perda de audição se apresentam na forma de zumbidos, sensação de audição “abafada” e distorcida e dificuldades de localização da fonte sonora entre outras.

### **3.2.3. Outros efeitos do ruído no organismo**

Além dos efeitos de perda de audição, a exposição a ruídos pode trazer outros efeitos prejudiciais ao corpo humano. Apesar de ainda pouco conclusivos e controversos, os estudos referentes aos efeitos da exposição ao ruído em outros órgãos e sistemas, além do aparelho auditivo, são crescentes as evidências de sua nocividade [67]. Existem vários estudos que indicam os seguintes efeitos sobre o organismo:

- a) Transtornos comportamentais: dificuldade no entendimento e comunicação e conseqüente isolamento social do indivíduo, mudanças na conduta e no humor, cansaço, falta de atenção e de concentração, cefaléia, ansiedade, irritabilidade, depressão e estresse [70,71,72];
- b) Transtornos neurológicos: aparecimento de tremores nas mãos, dilatação de pupilas, diminuição da percepção visual, tremores nos olhos, desencadeamento ou piora de crises de epilepsia [66,70];
- c) Transtornos cardiovasculares: variação da pressão arterial e constrição de pequenos vasos sanguíneos [68,70,71];
- d) Transtornos hormonais: os chamados “hormônios do estresse” têm sua produção alterada quando indivíduos são submetidos a permanência em ambiente com elevado ruído, desencadeando no aumento da produção de adrenalina e cortisol plasmático, com possibilidade de desencadeamento de diabetes e aumento da prolactina, com reflexos na esfera sexual. [66];

- e) Alterações no sono: estudos eletroencefalográficos comprovam alterações e perturbações no sono, podendo chegar até a insônia [70,72];
- f) Transtornos vestibulares: alguns autores afirmam que, durante a exposições ao ruído e mesmo depois delas, muitos pacientes apresentam alterações do tipo vertigens, náuseas, vômitos e dificuldades no equilíbrio [72];
- g) Transtornos digestivos: diminuição da secreção gástrica com aumento da acidez, seguidos de enjôos, vômitos, perda de apetite, gastrites e úlceras [70,71].

#### **3.2.4. Influência de aspectos acústicos sobre os alunos**

Os aspectos acústicos podem atingir as crianças de diversas maneiras e por diferentes razões. RUSSO [73] afirma que a percepção auditiva é essencial no processo de comunicação entre estudantes e professores em sala de aula. Não basta apenas ouvir, é necessário escutar e isto pressupõe atentar para o falante a fim de compreender o que foi dito. No mesmo sentido, MARTINS *et al.* [74] afirmam que a percepção auditiva é fundamental no desenvolvimento da comunicação humana, fato este que deve ser motivo de muito cuidado, pois as crianças que se encontram em fase de desenvolvimento e estão em ambientes silenciosos têm mais chances de desenvolver melhor capacidade de fala, de linguagem, de leitura e de escrita. CELANI, BEVILACQUA e RAMOS [75] em seu estudo sobre o ruído em escolas afirmam que o processo no qual o ouvinte se utiliza da redundância das informações para compreender a fala em situações ruidosas fica bastante prejudicado. Isso ocorre porque as crianças mais novas não apresentam ainda os códigos de linguagem e informações totalmente adquiridos, não podendo compreender adequadamente o sinal de fala a baixos níveis de razão sinal/ruído.

Estudos [14,76] relacionam prejuízos causados aos alunos que se encontram em salas de aula com elevados níveis de ruído. Dentre eles estão o atraso no aprendizado, queda no aproveitamento escolar e dificuldade de compreensão. Alunos de escolas que sofrem influência do ruído encontram-se, pelo menos, com alguns meses de atraso no aprendizado em relação aqueles que não estão expostos ao ruído. Ao longo dos anos, a problemática pode se tornar bastante complexa pois o prejuízo não é apenas para o aluno mas, também, para a sociedade, que terá que financiar por mais tempo do que o necessário a educação desses alunos.

VALLET [38] cita dentre os problemas causados pela exposição ao ruído estão: a) diminuição da atenção e fadiga mental, b) atraso no aprendizado para leitura, c) mascaramento da fala com decréscimo da inteligibilidade do conteúdo das aulas e d) falta de interesse em entender o que está sendo ensinado. Já para SILVA [77], as primeiras manifestações dos indivíduos submetidos a ação do ruído são a inquietude e a irritabilidade. Também afirma que o ruído influi na inteligência, principalmente na capacidade de atenção do indivíduo, reduz o rendimento no trabalho, tanto intelectual quanto fisicamente.

EVANS *et al.* [78] realizaram estudo objetivando avaliar a influência do ruído comunitário (principalmente ruído de tráfego e ferroviário) com 115 crianças da quarta série do Vale do Tyrol, Áustria. Essas eram todas de mesma classe social e metade do grupo estava exposto à um  $L_{dn}$  acima de 60 dB(A) e a outra metade abaixo de 50 dB(A). Foram realizados diversos testes e os resultados mostraram que as crianças expostas ao ruído tinham pressão sanguínea acima do normal e maiores taxas de cortisol indicando estresse psicológico. No teste de montar um quebra cabeça, especialmente as meninas tiveram performance reduzida à medida que o nível de ruído aumentava.

No Brasil, DREOSSI [79] também chegou a resultados parecidos analisando a interferência do ruído na leitura em 11 crianças da 4ª série do ensino fundamental. Verificou-se que o ruído gera aceleração no ritmo da leitura; falta de *feedback* auditivo, fazendo com que o leitor não enfatizasse o uso da entonação e diminuísse o respeito as regras de pontuação; e também falta de correções de erros na leitura.

LUKAS *et al.*, *apud* BRADLEY [80], estudaram os efeitos do ruído de tráfego nos alunos de escolas e concluíram que a performance dos alunos, em testes de matemática, expostos ao ruído foi diminuída. Já os escores em testes de leitura em alunos da 6ª série expostos ao ruído foi como se eles estivessem 0,7 anos atrás quando comparados com aqueles oriundos de alunos de escolas submetidas a níveis menores de ruído.

BRONZAFT e McCARTHY [81], realizaram inúmeros estudos considerando o ruído exterior em escolas e relataram queda no aproveitamento daqueles estudantes expostos a ruídos severos. Os autores realizaram testes para verificar a influência do ruído no aproveitamento escolar de alunos em uma escola em Nova York. Esta escola possui um lado influenciado pelo ruído

oriundo da rua e outro protegido. Comparando os dados dos testes de alunos de ambos os lados, concluíram que havia um atraso no aprendizado entre 3 a 4 meses (baseado em um ano letivo de 10 meses) para os alunos cujas salas de aula encontravam-se do lado ruidoso.

Em questionário aplicado junto aos professores de escolas do Rio de Janeiro, SANTOS e SLAMA [7] concluíram que 50% dos professores afirmam que o nível de ruído e o espaço físico sempre interferem no rendimento do aluno. Destes, 30% afirmaram que isto ocorre freqüentemente e 20% esporadicamente.

SILVA [77] cita um estudo sobre ruído elaborado pelo Dr. Foster Kennedy, no qual revela: “As pessoas que gozam de boa saúde podem adaptar-se as influências prejudiciais do ruído, apesar de não sentirem a fuga de energia e que a fadiga se aproxima, esgotando-se o limite de sua resistência”. Ainda afirma que a habilidade de nosso organismo em ajustar-se as diversas formas de barulho não implica falta de ação do mesmo sobre nossos nervos, e que os indivíduos mais débeis, como idosos, crianças e doentes, são os mais vulneráveis à ação dos sons perturbadores. SILVA ainda afirma que o ruído afeta as pessoas de maneiras diferentes. Um indivíduo normal precisa dispensar aproximadamente 20% de energia extra para efetuar uma tarefa sob efeito de um ruído perturbador intenso.

CARIC e CUDINA [82] citam que, por causa do barulho, os alunos têm dificuldade em atividades de concentração, memorização da matéria e entendimento de interpretação. Segundo as pesquisadoras, alunos mais novos são mais sensíveis ao ruído que os mais velhos. CELIK e KARABIBER [83] relatam que por causa da habilidade de entendimento da fala ainda não ser plena até a idade de 15 anos, as crianças são ouvintes menos efetivos do que os adultos. Já BRADLEY [14] afirma que estudantes mais jovens, pessoas mais idosas e pessoas com deficiência auditiva requerem níveis de ruído de fundo e tempos de reverberação mais baixos para obterem performance em testes de inteligibilidade igual aos adultos jovens. CELANI, BEVILACQUA e RAMOS [75] também afirmam que quanto menor a idade da criança, maior a necessidade de um sinal de fala mais elevado e de um ambiente menos ruidoso. Por fim, SEBALLOS, MATAMALA e MARTINEZ [84] em seu estudo sobre o efeito da poluição sonora que afeta parte da população escolar no Chile, concluíram que os alunos que têm severo déficit na capacidade auditiva estão sob severo risco de baixo aproveitamento escolar.

Certamente seria pretensioso afirmar que apenas problemas acústicos sejam causadores de baixo aproveitamento ou reprovações escolares. A dificuldade em isolar diversos parâmetros que possam influenciar no desempenho acadêmico torna a questão bastante complexa. Existem diversos problemas encontrados em uma escola que afetam o aluno, *e.g.*: conforto ambiental, aspectos sociológicos, pedagógicos e até mesmo políticos. Porém, é inegável que condições acústicas inadequadas influenciem no ambiente escolar de forma negativa.

### **3.2.5. Influência de aspectos acústicos sobre os professores**

No caso dos professores, os maiores danos ocasionados em função da má qualidade acústica das edificações escolares estão relacionados com problemas vocais. A comunicação faz parte do trabalho e é através dela que professor exerce sua função como educador. Portanto, qualquer problema em sua capacidade de transmissão do conhecimento, acarretará não somente em prejuízos para o próprio professor mas também para os alunos que terão maiores dificuldades em absorver o que está sendo lecionando.

AIREY [30] afirma que um grande número de professores sofrem com problemas de voz e garganta em decorrência de salas mal projetadas acusticamente. O alto nível de ruído somado à salas projetadas incorretamente [85] fazem com que o professor necessite elevar o nível de intensidade de sua voz para que os alunos possam ouvir o que esta sendo proferido. Naturalmente que este nível elevado acima do normal, mais cedo ou mais tarde, causará fadiga em sua voz. Com o passar dos anos o professor começa a perceber problemas, tais como: rouquidão, dores nas cordas vocais e garganta, perda da capacidade normal da fala, além de outros problemas indiretos como a perda da capacidade de concentração dos alunos por problemas no entendimento, efeitos colaterais diversos como dores de cabeça, efeitos psicológicos pela incapacidade de exercer sua função de maneira adequada e outros.

Não são raros os casos onde professores são obrigados a se afastar do exercício profissional ou até mesmo diminuir sua carga trabalho em aula para que possa recuperar a capacidade de fala. RANTALA e VILKMAN [86] afirmam que a profissão de professor constitui uma das dez mais ocupações onde seus praticantes mais procuram ajuda médica em decorrência de problemas vocais. Afirmação idêntica foi feita por FABIANO e BRASOLOTO [87]. Já LIVRAMENTO ANJOS [88] cita que os professores são profissionais que apresentam perda auditiva associado à

disfonia. Tratamentos fonoaudiólogos são necessários, mas não são a solução, pois de nada adianta depois de afastado e recuperado o professor voltar ao ambiente de trabalho e encontrá-lo da mesma maneira que estava quando ocasionou os problemas em sua voz. É necessário corrigir a causa, caso contrário haverá não somente risco de perda do tratamento, mas também qualquer outro professor que esteja exposto a mesma situação anterior acabará por ter os mesmos problemas vocais.

AUGSPACH *apud* JOSÉ DE DEUS [89] afirmou que a maioria dos transtornos vocais começam com o uso excessivo da voz com força muscular aumentada, se instalando uma debilidade vocal permanente. As atividades profissionais que usam a voz expõem mais o indivíduo a esse tipo de debilidade. Os profissionais que lecionam em jardins de infância tem que superar com voz os ruídos ambientes que chegam a 90 dB. Dentre os diversos fatores que AUGSPACH cita, podem influenciar nas alterações vocais: idade, sexo, profissão, horas de uso da voz por dia, características do ambiente de trabalho, personalidade e características individuais do indivíduo. SARFATI *apud* JOSÉ DE DEUS [90] pesquisou uma população de 90 professores que referiam problemas vocais e destacou que dentre os fatores favoráveis à disfonia estão: classes numerosas e ruidosas, adaptação do comportamento vocal em quantidade e qualidade, os problemas acústicos, e outros. CARIC e CUDINA [82] realizaram uma pesquisa com professores e alunos na Eslovênia e concluíram que de acordo com os questionários, os professores são incomodados pelo barulho pois sua comunicação com os alunos é prejudicada, especialmente em atividades que demandam maior concentração. PENTEADO e PEREIRA [91] afirmam que um indivíduo que padece de distúrbio vocal sofre limitações de ordens física, emocional e até mesmo profissional, dada a relevância do papel desempenhado pelas funções comunicativas.

GARCIA; TORRES e SHASAT [92] colocaram o professor como base fundamental no desenvolvimento político, cultural e social de qualquer país e levantaram a preocupação com o alto índice de problemas de voz neste setor profissional (53% dos casos estudados), merecendo portanto uma atenção mais especial. Relacionaram alguns pontos a serem repensados para a orientação vocal dos professores, dentre eles, o cuidado com as condições ambientais das salas de aula.

CASTRO e KROOK [93] estudaram as características da frequência fundamental da fala de indivíduos do sexo feminino falantes do português brasileiro e concluíram que os valores médios

encontrados para os 140 indivíduos testados foram entre 213,9 Hz e 200,1 Hz, com desvio padrão respectivamente de 9,6 e 26,4 Hz. Os resultados apontam que a frequência fundamental dessa amostra é similar aos indivíduos do sexo feminino falantes da língua inglesa (198,6-216 Hz), inferiores aos falantes da língua japonesa (223 Hz) e inglês australiano (224 Hz), e superiores aos falantes do sueco (195,5 Hz).

RANTALA, LINDHOLM e VILKMAN [94] em estudo sobre a mudança do limiar da frequência natural da fala, relatam que a frequência fundamental da fala dos professores subiu em decorrência do uso excessivo da voz. Em seu estudo, chegaram a uma média de frequência fundamental de 206 Hz antes e 218 Hz depois do uso da voz em condições de laboratório. Já nos testes de campo, os valores foram 236 e 263 Hz. Eles relatam que um aspecto interessante é o aumento da frequência fundamental da fala dos professores durante o início do dia e os próximos 15-20 minutos. Segundo os autores, isso ocorre possivelmente em parte devido a fatores disciplinares e manobras usadas pelo professor para conseguir a atenção das crianças.

Considerando os resultados encontrados por RANTALA, LINDHOLM e VILKMAN, pode-se sugerir a possibilidade de haver o mesmo aumento na frequência fundamental para os indivíduos falantes do português brasileiro, apesar de não haver sido encontrado estudo nesse sentido na bibliografia. A mudança no limiar da frequência natural diminui a capacidade comunicativa do indivíduo, pois estreita a faixa de frequência da fala. LIVRAMENTO ANJOS [95] em seu estudo sobre incidência de disfonias em professores, afirma que após a utilização de voz por horas seguidas, podem ocorrer modificações vocais que podem ser caracterizadas acusticamente pelo espectro, com diminuição de energia na proporção de harmônicos/ruído e modificações na frequência fundamental. Auditivamente a voz pode apresentar perda de projeção, agravamento, rouquidão e outras características.

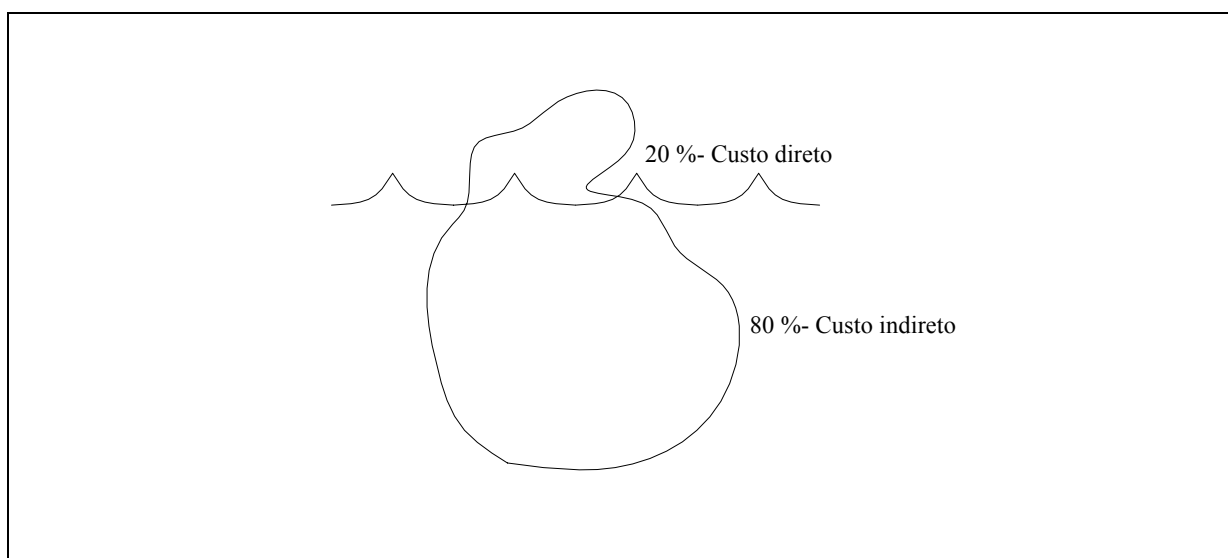
Ainda com relação aos prejuízos vocais, PRECIADO, TAPIA e INFANTE [96] realizaram estudo sobre o tema e concluíram que os problemas vocais em professores são mais acentuados para aqueles que lecionam em turmas de séries inferiores, especialmente na educação infantil e primária, pois a menor idade dos alunos está relacionada com a existência de um maior nível de ruído na classe, obrigando os professores a aumentar a voz.

O incômodo produzido por ruídos e sons indesejáveis é muitas vezes difícil de ser mensurado. Existem diversos critérios que especificam desde o quanto um ruído pode perturbar, até limites nos quais podem causar danos à saúde dos indivíduos. Entretanto, não são apenas problemas vocais que afetam os professores. Assim como os alunos, eles também sofrem com os problemas auditivos na escola sob influência do ruído.

### 3.2.6. Custo social dos problemas acústicos na escola

CELANI, BEVILACQUA e RAMOS [75] relatam que até pouco tempo, a exposição ao ruído era pouco investigada em ambientes onde aparentemente a audição não corria riscos. As pesquisas voltavam-se principalmente para a audição de trabalhadores, ou seja, indivíduos sujeitos a doenças ocupacionais. O crescente aumento de pessoas envolvidas com doenças e distúrbios considerados não ocupacionais fez com que artigos sobre os efeitos do ruído não-ocupacional começassem a surgir nas últimas décadas.

As conseqüências relativas aos problemas acústicos em escolas são inúmeros e aparecem de maneira direta e indireta em diversas pessoas envolvidas e em diferentes setores da sociedade. AQUINO [97] afirma que os custos indiretos causados por um acidente de trabalho são 4 vezes maiores do que os custos diretos. Essa situação é relatada como sendo “Iceberg de Heinrich”, apresentada na Figura 7, onde apenas uma pequena parte do custo envolvido em um acidente mostra-se aparente.



**Figura 7** – Iceberg de Heinrich [47].



Com relação aos problemas de cunho social originados em função da acústica de edificações escolares não adequada estão: professores afastados do trabalho, custo do tratamento de recuperação vocal do professor, tratamento de recuperação auditiva de professores, alunos e funcionários da escola, contratação de professores substitutos, custo individual e social de baixo aproveitamento escolar e reprovações, etc. SILVA [77] cita que o atendimento às condições adequadas acusticamente para o trabalhador, redundando na diminuição de faltas, por doenças ou acidente, com conseqüente aumento da produtividade, caso em que o professor se enquadra plenamente.

SANTOS [67] cita como conseqüências da exposição prolongada ao ruído o absenteísmo, cefaléia e alta incidência de acidentes de trabalho. O custo social disso torna-se bastante elevado, pois profissionais deixam de exercer a sua profissão e alunos deixam de receber educação adequada.

Em Santa Catarina, segundo dados do Governo do Estado, através da Secretaria de Estado da Administração [98], no ano de 2001, 1617 professores foram afastados em conseqüência de problemas de saúde. Desses, 32 foram por motivo de doenças auditivas e 155 por problemas vocais, porcentagem que chega a quase 10% dos afastados apenas por problemas vocais. Desses, 104 foram licenças e 51 readaptações, ou seja, aproximadamente 2/3 dos professores afastados por problemas vocais tiveram que interromper suas atividades por completo. O custo para o Estado é bastante evidente, principalmente em função dos professores que não puderam ser relocados para outras atividades e que tiveram que ser afastados. A necessidade de contratação de professores substituídos, juntamente com o custeio da recuperação dos afastados, são custos extraordinários para o Estado.

Saindo da esfera econômica, existem conseqüências para os alunos, já que a mudança de professor significa mudança de métodos de ensino, levando algum tempo para readaptação e sendo um fator determinante para a diminuição na capacidade de aproveitamento escolar.

### 3.3. Fontes sonoras

Geralmente, as edificações no Brasil não possuem tratamento explícito para proteção e conforto acústico de seus usuários. Em estudo sobre condições de pós-ocupação de edifícios residenciais, JOBIM [99] concluiu que a maior causa de reclamações por parte dos moradores de novas unidades diz respeito à perturbação sonora, devido à pouca capacidade de isolamento acústico de paredes e janelas. Ainda, afirma que esta deficiência vem em decorrência do projeto arquitetônico, que não é elaborado com a finalidade de contemplar aspectos acústicos. Da mesma maneira que a maioria das edificações, as escolares fazem parte deste contexto, sendo então, sem nenhuma ou com pouca preocupação em relação a aspectos acústicos. MACKENZIE [32] em entrevista com os arquitetos projetistas das edificações escolares no Reino Unido perguntou quais recomendações acústicas eles utilizavam para projetar as escolas. Obteve como resposta: *“Não usamos nenhuma recomendação, essa sempre foi a maneira que fizemos antes”*. Esse caso mostra não somente a necessidade de se criarem padrões mínimos projetuais mas também a necessidade de conscientização dos projetistas para o assunto.

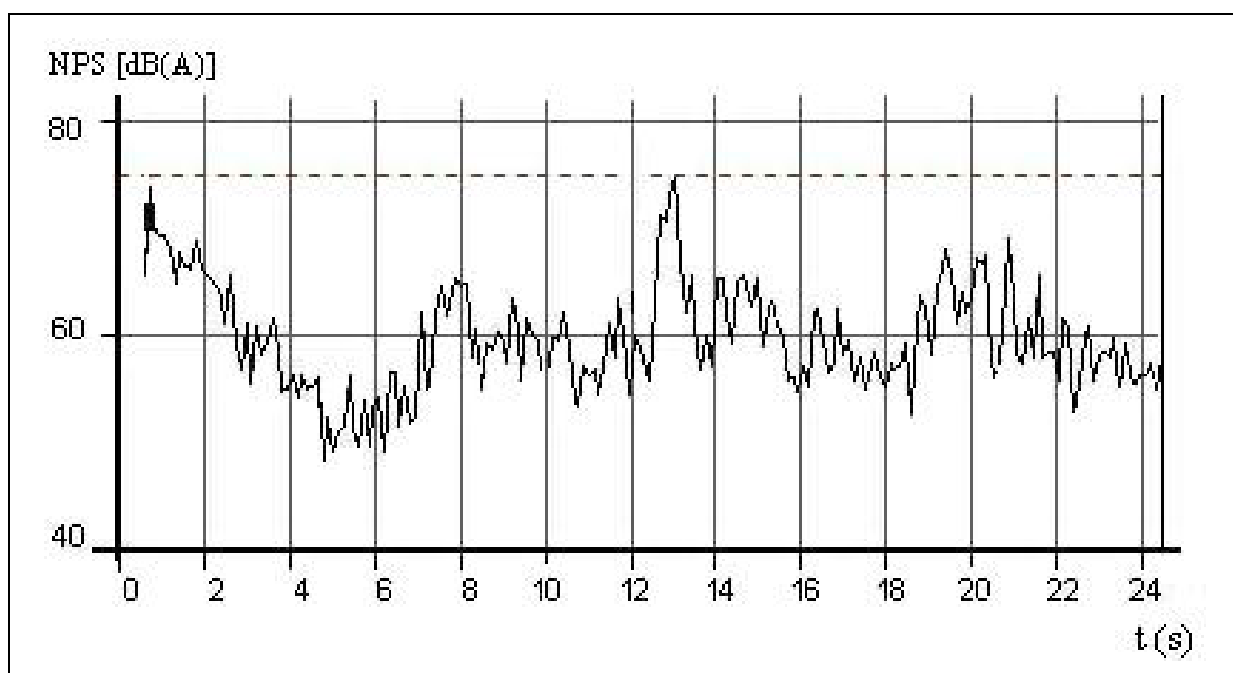
A seguir será apresentado como se originam os sons e ruídos existentes na maioria das escolas brasileiras.

#### 3.3.1. Ruído de Tráfego

As escolas objeto deste estudo estão de maneira geral inseridas numa morfologia urbana onde o ruído de tráfego pode ser considerado como uma das principais fontes sonoras, senão a principal. Esta afirmação vai ao encontro a diversos estudos [64,100,101,102] que tiveram suas conclusões nesse mesmo sentido.

De início pode parecer que apenas edificações localizadas em vias movimentadas sofram influência do ruído de tráfego, mas o que ocorre é que mesmo ruas com menor intensidade de tráfego podem ser causas de elevado incômodo acústico, visto que veículos que transitam esporadicamente podem gerar elevados níveis de pressão sonora, perturbando as pessoas envolvidas no momento de sua passagem. O baixo fluxo de tráfego não é garantia de silêncio. A Figura 8 mostra exemplarmente, a variação do nível de pressão sonora (NPS) ao longo do tempo (segundos) típico de um logradouro público qualquer de uma cidade. Nesta ilustração pode-se

verificar que há grande variação do NPS que é influenciado por automóveis de diferentes tipos e com vários níveis sonoros. Cada pico no gráfico corresponde a um elemento (veículo) causador de perturbação sonora, com valores de NPS chegando, neste caso, até valores próximos a 75 dB(A).



**Figura 8** – Exemplo genérico de gráfico tempo x NPS típico de um logradouro.

O ruído de tráfego pode ser originado de diversas maneiras, que separadas em grandes grupos são: nas fontes veiculares e nos parâmetros de tráfego. No primeiro caso estão incluídas todas as causas inerentes ao veículo: o motor e seus componentes, tais como: sistemas de propulsão, refrigeração, escapamento, ruído aerodinâmico e outros. Já no segundo, estão as características gerais da via, como: o volume, a composição, a velocidade do tráfego, o gradiente e a superfície de revestimento da via e outros.

PRIEDE [103] afirma que os parâmetros que influenciam no ruído de tráfego são: a) o motor, o sistema de transmissão e acessórios; b) condições de excitação da via e c) o ar em contato com o veículo em movimento. ALVES FILHO [104] comenta que os níveis de ruído em uma via dependem de vários fatores como: a) volume de tráfego; b) composição do tráfego; c) velocidade do tráfego; d) gradiente da via e e) distância da fonte. BURNS [105] afirma que os fatores mais

importantes que contribuem para o aumento do ruído de tráfego são os três primeiros citados por ALVES FILHO.

ALVES FILHO [104] cita que ruas com composição de tráfego com mais veículos pesados, tendem a ser mais ruidosas. Para vias urbanas e para velocidade entre 30 e 40 km/h, uma duplicação das proporções de veículos pesados de 10% para 20%, aumentaria o nível de ruído de 2 a 3 dB(A).

KIHLMAN [106] afirma que, dentre algumas maneiras de controlar o ruído urbano, estão: a) diminuição do ruído dos automóveis individuais, b) planejamento de tráfego de modo a se trocar os meios de transporte ruidosos por outros menos barulhentos ou controle do tráfego, c) aumento da distância entre a fonte sonora com relação a fonte receptora, ou d) através de barreiras e isolamento das fachadas.

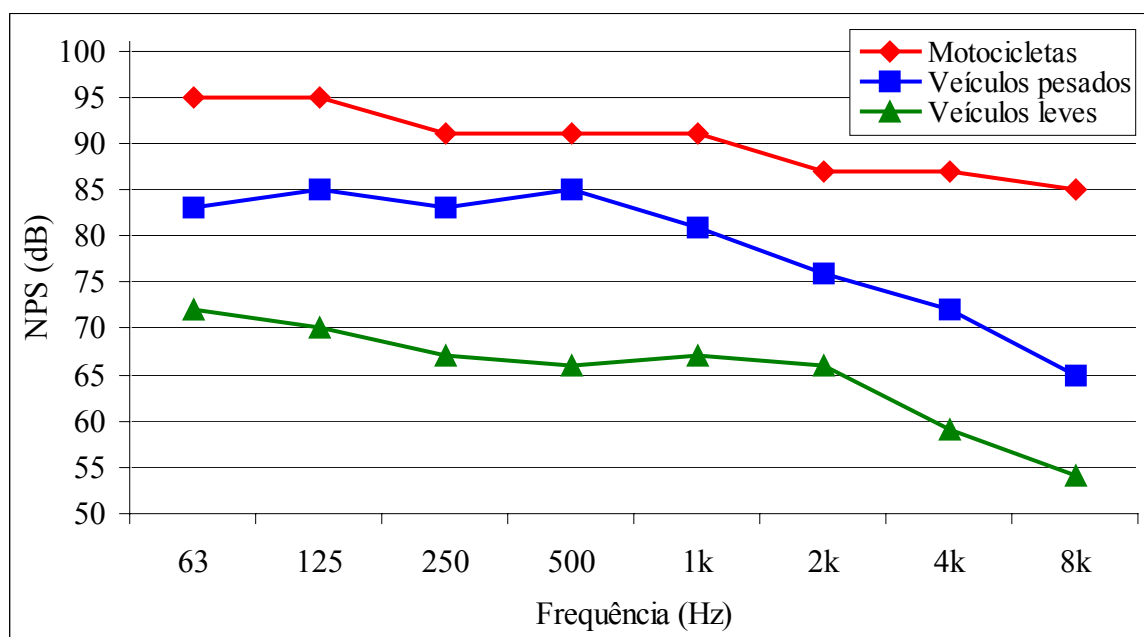
Do ponto de vista prático, as duas primeiras alternativas apontadas por KIHLMAN se encontram muito distantes dos projetistas das edificações pois não cabe a esse o planejamento urbano da cidade, a elaboração de diretrizes de tráfego e muito menos a fixação de patamares admissíveis de níveis de ruído nos veículos. Então, o caminho para uma solução mais efetiva é concentrar-se nas duas últimas alternativas, onde se pode alcançar algum sucesso.

ARANA e GARCIA [107] concluíram que a perturbação causada pelo ruído ambiental nas cidades de Valência e Pamplona, Espanha, nos seus residentes é muito elevada, chegando a ponto de acordar pessoas que moram perto de rodovias. KIHLMAN [106] relata que em países industrializados a principal fonte de ruído na cidade é causada pelo tráfego (automóveis, caminhões, ônibus e trens). Resultado parecido encontrou GIMENEZ e SANCHIS [108] onde, das fontes produtoras de ruído, 24% são automóveis, 19% motos, 14% vozes de adultos, 13% veículos pesados e 11% vozes de crianças. Por analogia, pode-se concluir que em países em desenvolvimento a situação é, na melhor das hipóteses, semelhante, pois os causadores de ruído nestes países são máquinas e motores menos desenvolvidos, mais idosos e que sofrem menor controle.

DOCKRELL *et al.* [109] realizaram uma pesquisa com alunos do ensino primário de duas mil escolas da cidade de Londres e concluíram que os seguintes sons eram ouvidos pelos alunos

entrevistados: carros 71%, sirenes 61%, caminhões 58%, motocicletas 56%, aviões 55%, helicópteros 54%, árvores 45%, telefones 40%, ônibus 36% e animais 25%. Da mesma maneira, concluiu que das três principais fontes, 35% dos alunos que ouvem carros, sirenes e caminhões sentem-se aborrecidos e irritados com o barulho. Esses são ruídos ocasionados única e exclusivamente no tráfego.

Do ponto de vista espectral, o ruído de tráfego é composto em sua maioria por componentes de baixas e médias frequências, conforme a Figura 9 [42]. Especialmente ruas onde o fluxo de caminhões e/ou motocicletas é predominante, essa característica pode ser uma das piores situações, já que a combinação de baixa frequência com elevados níveis de pressão sonora gera uma das situações mais difíceis para controle das edificações sujeitas ao ruído. TACHIBANA e YANO [110], em seu estudo sobre ruído de veículos pesados, confirmaram que a redução no tráfego de veículos pesados leva a uma redução dos componentes de baixa frequência, o que é vantajoso para o isolamento sonoro das edificações. BJORKMAN e RYLANDER [111], em estudo sobre os níveis máximos encontrados no ruído de tráfego, chegaram a conclusão de que os caminhões, especialmente os mais leves, são uma importante fonte sonora considerando os valores máximos de ruído.



**Figura 9** – Espectro do ruído de tráfego à 15m de distância [42].

### 3.3.2. Vizinhos

O ruído produzido no entorno externo à escola não tem origem apenas no tráfego. Os vizinhos das escolas podem ser fontes significativas de poluição sonora. SANTOS e SLAMA [7], em seu estudo sobre escolas, encontraram diversos problemas de ruídos ocasionados por vizinhos. Os autores citam que quando a escola é implantada próxima a favelas, os tipos de ruídos observados são rádio alto, brigas, crianças chorando, cachorro latindo, fogos e tiros, que por causa dos ruídos provocados, geram ansiedade nas pessoas. Eles também citam que outras atividades no entorno incomodam a escola, tais como: serralheria, oficina mecânica, serraria, feira, carro de bombeiro, caminhão de lixo e obras na rua e na vizinhança.

Alguns dos aspectos citados são de difícil equacionamento, pois não se pode dominar determinadas variáveis (momento e local de incêndios, obras e outros), porém algumas medidas podem evitar determinadas fontes de ruído. Como exemplos, poderiam ser estipulados horários para coleta de lixo que não coincidam com o horário de funcionamento da escola; determinar através do plano diretor que em um determinado raio ao redor de escolas, atividades ruidosas não sejam permitidas e outras medidas similares.

A localização de uma escola também deve considerar as características do zoneamento urbano municipal, pois áreas com existência de indústrias serão naturalmente mais ruidosas, com influência direta para a qualidade acústica dos espaços escolares.

### 3.3.3. Áreas esportivas, recreativas e de circulação

As atividades de educação física são uma grande fonte de ruídos, pois as atividades esportivas e recreativas são ruidosas por natureza. A situação pode ser grave quando estes locais, ginásios e na grande maioria quadras e pátios, encontram-se muito perto das salas de aula. Há casos em que as atividades físicas e de recreação são realizadas nos pátios internos que ligam diretamente as salas de aula a outras áreas da escola. SANTOS e SLAMA [7] afirmam que em determinadas escolas, as salas de aula voltadas para o pátio interno eram mais ruidosas que àquelas voltadas para a rua. SCHMID e THIBAUT [112] afirmam que dentre várias fontes sonoras encontradas em escolas estão as salas próximas, corredores, ginásios e o *playground*.

McLAREN e DICKINSON [113] realizaram um estudo sobre o ruído em ambientes educacionais na Nova Zelândia e afirmam que condições climáticas desfavoráveis confinam as crianças em ambientes internos, resultando em frustração para elas e colaborando para um incremento nos níveis de ruído.

Por outro lado, quando o local destinado a educação física situa-se em ambiente aberto, um grande problema é a influência dos ruídos de apitos, bolas batendo no chão, passos, vozes, gritos, torcidas, etc, nas construções vizinhas, incluindo-se aquelas externas à escola.

Já os ginásios, via de regra, são edificações com materiais altamente refletores acusticamente e possuem grandes dimensões e volume. Dessa maneira, aspectos qualitativos acústicos têm desempenho muito baixo, sendo difícil o entendimento da palavra. Isto dificulta a utilização dos ginásios como locais multiusos. Diversas atividades, incluindo, festas e outros eventos que usualmente são ali realizados, sofrem com as péssimas condições acústicas existentes.

JIANG [114], em estudo das condições acústicas em ginásio de escola nos Estados Unidos, chegou aos seguintes resultados: os níveis sonoros ficaram entre 72 e 119 dB(A) durante as aulas de educação física. Ao mesmo tempo que mediu os níveis sonoros, utilizou dosímetros para avaliar a quantidade de energia sonora nos ouvidos de alunos e professores. Os resultados variaram entre 90,8 e 106,4 dB (apesar do artigo apresentar estes valores em dB, acredita-se que o valor seja em dB(A)). Segundo o autor, esses níveis são similares aos encontrados em áreas industriais. Neste caso, a dose de ruído ultrapassou em 300% os limites de segurança. Segundo as normas daquele país, esse professor só poderia lecionar durante duas horas por dia.

O mesmo JIANG realizou teste com um apito utilizado nas atividades esportivas. Concluiu que os níveis sonoros produzidos por este pequeno aparelho são bastante elevados, chegando a um NPS de 130 dB, em uma banda de 1/3 de oitava com frequência centrada em 3.150 Hz.

Já com relação aos corredores, o que caracteriza o ambiente é conter pessoas em circulação. Esta agitação produz ruídos que muitas vezes atrapalham as atividades em sala. Pessoas passando, crianças correndo e conversando são atividades corriqueiras nesses lugares e acontecem a qualquer hora. MACKENZIE [32] cita que dentre os espaços causadores de ruído em escolas estão as vozes de pessoas nos corredores. Outro aspecto é que por ser um local de ligação entre

salas de aula e outros espaços da escola, qualquer perturbação invariavelmente influenciará a sala de aula.

### **3.3.4. Cantinas, refeitórios, lanchonetes e cozinhas**

Os requisitos de higiene, facilidade de limpeza e assepsia são fatores que entram em choque com os requisitos acústicos desses ambientes. Os materiais de revestimento usualmente encontrados são lajotas cerâmicas, pedras e materiais acusticamente “duros”, colaborando para o aumento do ruído no campo reverberante e aumento do tempo de reverberação. Por outro lado, a preparação dos alimentos pode ser ruidosa se depender da maneira como são elaborados. Ruídos de frituras, aparelhos elétricos, cortes e manuseio de alimentos são as principais fontes sonoras neste caso.

NIEDERSTAETTER [115] cita que as fontes de ruído na cantina de uma escola são: impacto de pratos e copos na mesa, barulhos metálicos de talheres e movimentação de mesas e cadeiras. Já com relação as fontes sonoras na cozinha estão: barulho da água batendo na pia, barulho de maquinário, colocação de pratos na máquina de lavar e refrigeradores.

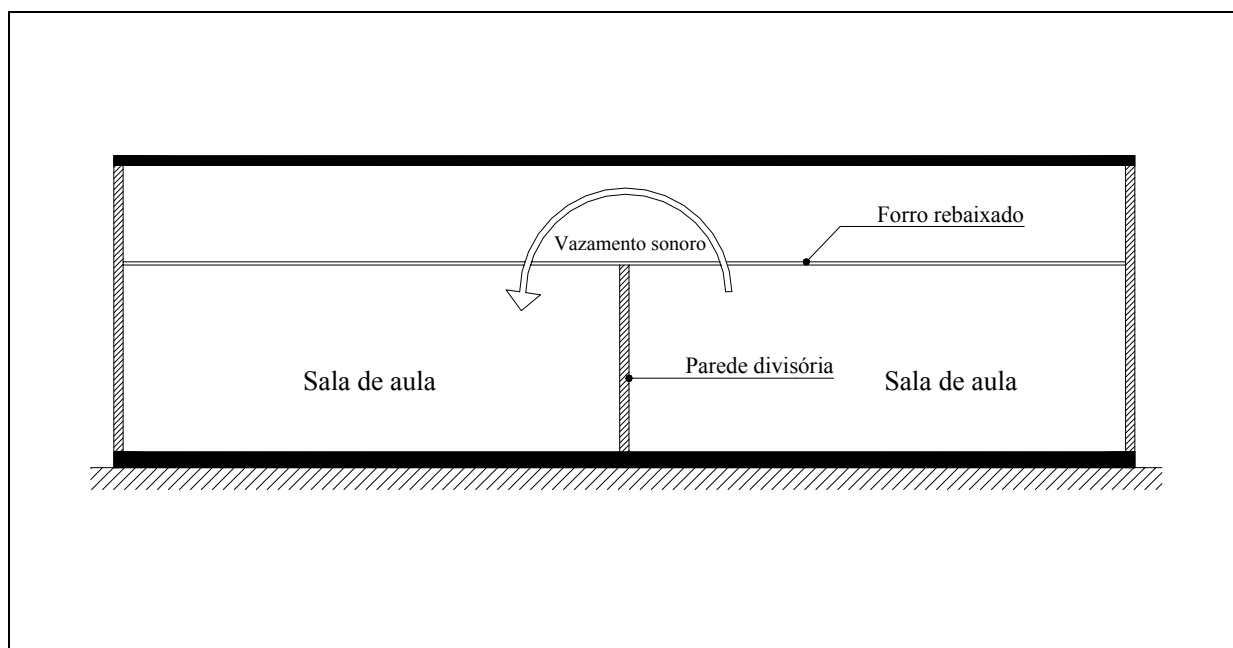
### **3.3.5. Salas adjacentes**

O ruído ocasionado pelos alunos, e outras fontes sonoras de salas de aula adjacentes podem ocasionar basicamente dois tipos de ruídos: aéreo e de impacto. O ruído aéreo é aquele transmitido através do ar, onde o ruído produzido vai atingindo as pessoas de outros locais devido a falta de isolamento entre os ambientes. É o caso mais encontrado nas edificações escolares de maneira geral. A Figura 10 mostra uma situação freqüentemente encontrada em edificações entre salas com forro, na qual a parede divisória, por não se elevar até a cumeeira, permite a passagem do som pelo forro.

Uma situação similar é aquela na qual as paredes não se elevam nem mesmo até o teto e/ou forro. MULLER, NABUCO e MASSARINI [116] realizaram um estudo objetivando avaliar as condições de inteligibilidade em duas escolas, sendo a primeira, com salas de aula com paredes se elevando até o teto e a segunda escola, com salas de aula com paredes baixas. Os resultados demonstraram que os alunos da escola com paredes até meia altura tiveram um índice de acerto de no máximo 50 %, enquanto os da escola com sala de aula com paredes até o teto, obtiveram



índices superiores a 80%. Através desse estudo, pode-se perceber a influência do ruído gerado em salas de aula adjacentes, bem como a importância do isolamento sonoro entre ambientes.



**Figura 10** – Situação de vazamento sonoro entre ambientes.

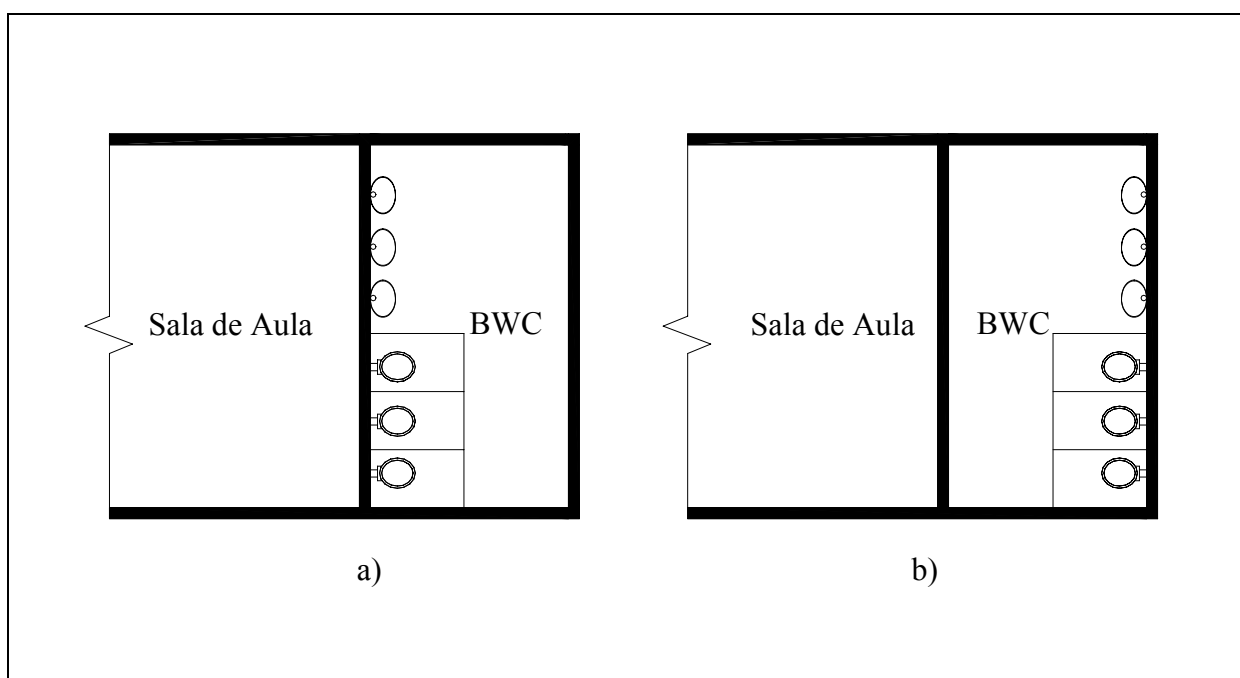
O ruído de impacto ocorre em edificações com mais de um pavimento, sendo a fonte de ruído encontrada no pavimento superior, *e.g.*: o caminhar de pessoas, objetos que caem no chão ou arrastar de cadeiras. É transmitida através de vibrações no piso, passando pela laje, irradiando-se pelas partes sólidas (estrutura da edificação, paredes e vedações), chegando dessa maneira ao ambiente inferior. Sua solução é de difícil execução caso a edificação já esteja pronta, pois necessita de desacoplamento estrutural através da adoção de material resiliente sob o piso superior. Esta solução é comumente denominada de “piso flutuante” e por causar sobrepeso estrutural é praticamente inviável em edificações já terminadas.

### 3.3.6. Instalações hidráulicas e sanitárias prediais

Os ruídos provenientes das instalações hidráulicas e sanitárias são de maneira geral perturbadoras. Nos casos em que estas instalações são localizadas ao lado de salas de aula, o ruído pode ser altamente prejudicial, pois ele pode se propagar pela estrutura e chegar facilmente a ambientes adjacentes. Paredes e divisórias não projetadas acusticamente, também podem facilitar o vazamento sonoro da mesma maneira como ilustrado na Figura 10.

Segundo BISTAFA [117], as fontes causadoras de ruídos de origem hidráulica são: a) vibrações do sistema de recalque de água; b) passagem de água através de curvas, joelhos, cotovelos e registros; c) fechamento repentino das peças de utilização (principalmente válvulas de descargas desreguladas); d) escoamento de água pela bacia sanitária, ralos, sifões e tubulações de esgoto; e) choque d'água com superfícies tais como cubas, lavatórios, banheiras e pias; f) deslocamento de bolsões de ar pelas tubulações de ventilação e g) tubulações em alta pressão. Também recomenda que os ambientes que necessitem baixo nível de ruído, tais como salas de estar, biblioteca e quartos de dormir, não sejam trajetos de tubulações. A Figura 11 mostra a disposição de um caso favorável e outro desfavorável acusticamente para uma escola genérica.

Outra situação indesejável é aquela causada pelo ruído de chuva que passa pelo sistema de captação pluvial. A correta escolha do tipo de telha é a primeira ação projetual para evitar excesso de ruído. As metálicas são as menos indicadas e eventuais tratamentos específicos para controle do ruído ocasionarão elevação de custos. Na seqüência, deve-se evitar a passagem de prumadas de tubulações pluviais embutidas nas paredes de salas de aula ou de ambientes que requerem silêncio.



**Figura 11** – Disposições de localização das instalações hidro-sanitárias para uma escola genérica: a) acusticamente desfavorável, b) acusticamente favorável.

Dentre as soluções para o ruído originado nas instalações hidro-sanitárias, estão; a) enlívamento de tubos com material resiliente; b) vedação hermética de dutos e *shafts*; c) adequação da pressão da água em função da necessidade de serviço e da necessidade acústica; d) utilização de fixadores elásticos, e outros.

### 3.3.7. Equipamentos

Diversas fontes sonoras podem ser oriundas de equipamentos elétricos utilizados no dia-a-dia da escola, tais como: ventiladores de teto e/ou parede, a campainha do sinal de intervalo de aula, impressoras e computadores, retro-projetores, cortadores de grama dentro ou fora do terreno da escola, e outros. Por serem ruídos que possuem continuidade ao longo do tempo, fazem com que o ruído de fundo se eleve, prejudicando, portanto, a razão sinal/ruído em relação ao professor.

Outras fontes sonoras oriundas da utilização de equipamentos, mobília, e de elementos da própria edificação produzem uma quantidade elevada de ruídos e que poderiam ser evitados. McLAREN e DICKINSON [113] afirmam que dentre as fontes produtoras de ruído estão: portas que batem, ruídos de mobiliário, equipamentos de lazer, brinquedos e aparelhos eletrodomésticos. Atitudes simples poderiam solucionar tais problemas como a colocação de borracha nos pés de cadeiras e móveis que se arrastam e nos batentes das portas.

### 3.3.8. Próprios alunos

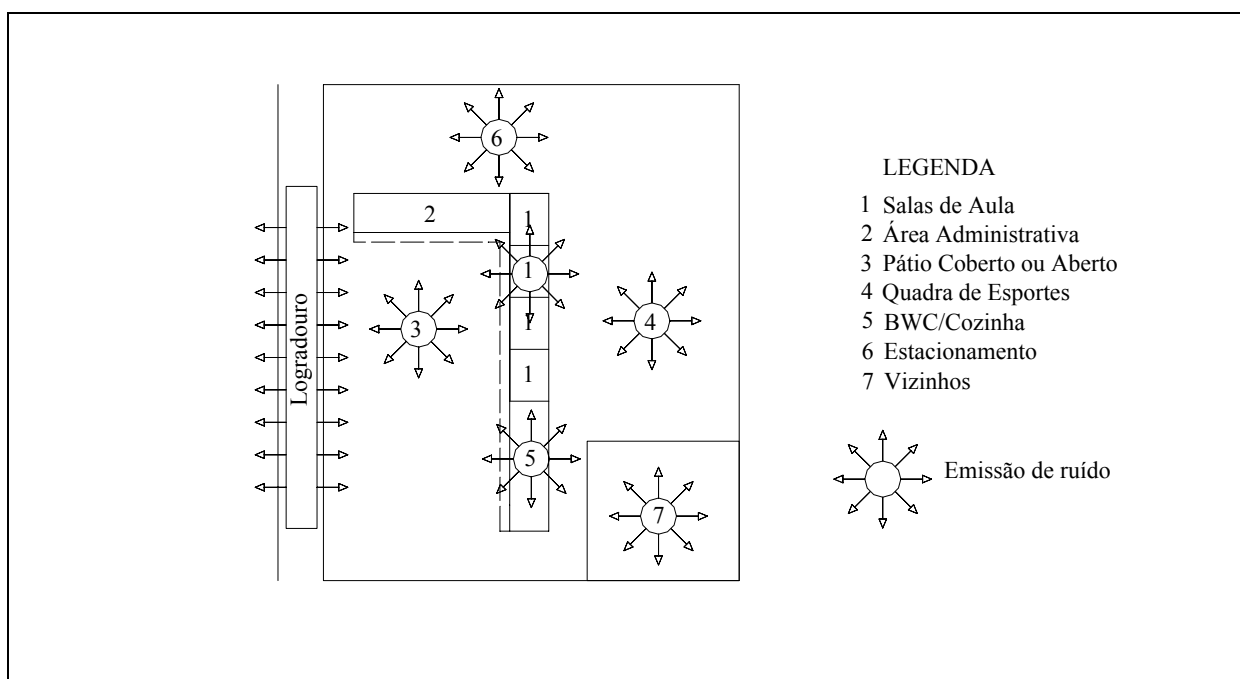
Nas salas de aula, os próprios alunos são uma importante fonte de ruídos. Dependendo não somente de aspectos comportamentais (controle dos alunos pelos professores, agitação, interesse dos alunos pela aula e faixa etária), mas também de aspectos físicos e construtivos, a situação pode adquirir mais ou menos importância. CELANI, BEVILACQUA e RAMOS [75] estudaram o ruído em duas escolas da cidade de São Paulo e analisando-se a diferença entre os níveis de ruído de fundo da sala vazia e os níveis de ruído obtidos durante as aulas, concluíram que o maior agente de ruído é formado pelas próprias pessoas que estão nas salas.

Resultado similar foi encontrado por BOMAN e ENMARKER [118,119] em dois estudos realizados com alunos e professores em escolas e suas respectivas percepções à respeito do incômodo causado pelo ruído. Os alunos relataram que a conversa entre os alunos, ou seja o

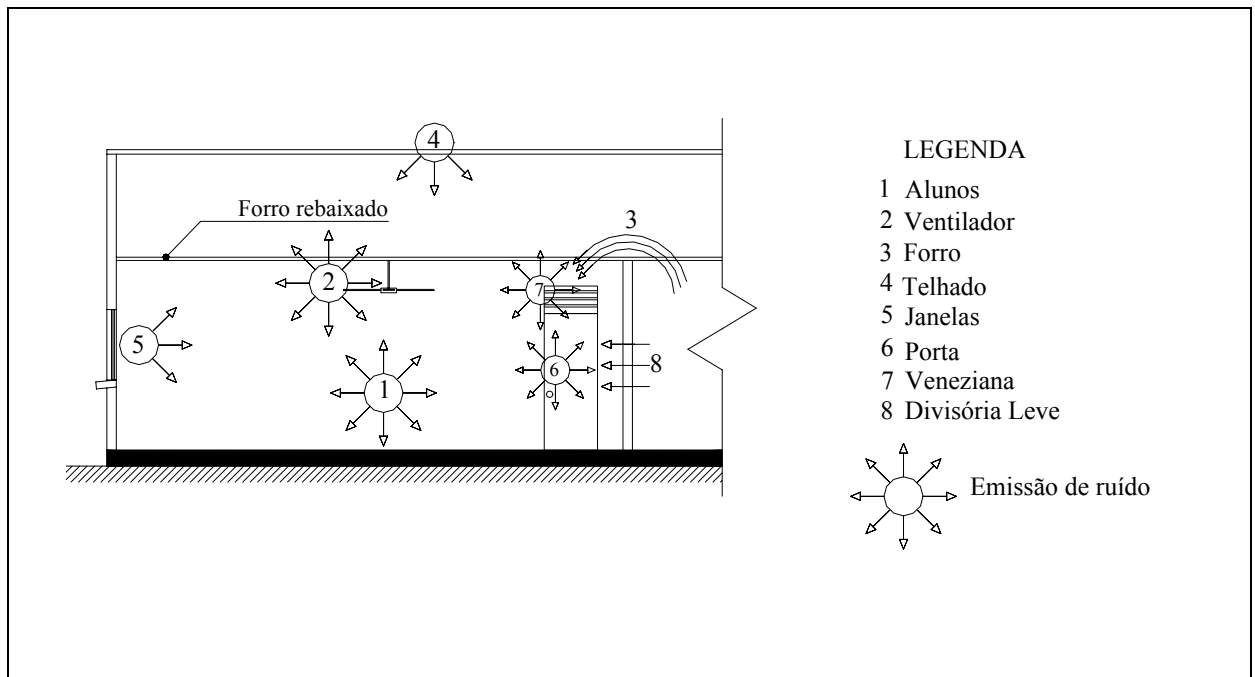
“bate-papo”, é o som mais perturbador na escola. Ainda expressaram que a fala através de sussurros, murmúrios e de vozes altas são irritantes. Os professores relataram que o “bate-papo” é o som mais perturbador em seus ambientes de trabalho.

### 3.3.9. Conclusões a respeito das fontes sonoras

Considerando as fontes sonoras apresentadas formando um conjunto, pode-se caracterizar tipologicamente as áreas que são responsáveis por emissões sonoras. A Figura 12 apresenta através de setas, as áreas que emanam ruídos em uma representação em planta baixa de uma escola qualquer, e a Figura 13 apresenta, analogamente, uma situação em corte de uma sala de aula.



**Figura 12** – Representação das fontes sonoras em uma escola qualquer.



**Figura 13** – Representação das fontes sonoras em uma sala de aula qualquer.

### 3.4. Aspectos Jurídicos

O sistema jurídico têm como objetivo proteger as pessoas dos mais diferentes problemas, sempre visando o bem estar individual e coletivo. É extremamente importante analisar as causas e conseqüências jurídicas envolvidas com os aspectos acústicos em escolas de maneira a se evitarem prejuízos diversos. Ao mesmo tempo que pretende-se configurar o panorama atual da questão no Brasil, não é objetivo do mesmo elaborar um tratado jurídico sobre o assunto, pois isso cabe aos legisladores, doutrinadores e operadores do direito.

No Brasil, o direito das pessoas, especialmente crianças e jovens, de freqüentar a escola é garantido pela Constituição Federal de 1988 [120], em seu Art. 205. Também, a mesma Carta cita:

Art. 206. “O ensino será ministrado com base nos seguintes princípios:

(...)

*IV) gratuidade do ensino público em estabelecimentos oficiais;*

(...)

*VII) garantia de padrão de qualidade.”*

Uma primeira análise a se fazer é que para aquela condição descrita no item *IV* ser satisfeita, o Estado deve prover a sociedade com ensino público e gratuito ou deve arcar com o ônus e despesas em estabelecimentos particulares, sem custo para o cidadão. Certamente, um país pobre e com grandes dimensões não dispõe de verbas para arcar com os custos de escolas particulares para toda a população, restando então, como única alternativa viável, o ensino público e gratuito.

Paralelamente, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação [121] define semelhantemente como a Constituição Federal, dentre outros aspectos, que deve existir garantia de padrão de qualidade no ensino e condições adequadas de trabalho para os docentes. Ainda sobre o item qualidade, é perfeitamente possível interpretar como sendo a sala de aula e a escola acusticamente adequadas, fatores determinantes para se obter um padrão de qualidade ideal, visto que o tema tem ligação direta com o aproveitamento escolar, como apresentado no item 2.2.

Do ponto de vista do professor, cabe ressaltar que diversas leis trabalhistas garantem que os trabalhadores de qualquer tipo tenham condições adequadas de exercer a sua profissão, sendo as

condições ambientais incluídas como forma de proporcionar conforto, segurança e desempenho eficiente. A NR 17 [122] do Ministério do Trabalho, que trata de Ergonomia, adota os padrões da norma NBR 10.152 da ABNT em relação aos níveis de ruído para as atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, caso em que o professor se encaixa perfeitamente.

Do ponto de vista do ruído ambiental e de edificações, existem determinações do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que estabelecem critérios de avaliação do ruído. A resolução nº 1, de 8 de março de 1990 [123] estabelece normas a serem obedecidas, considerando a emissão de ruídos em grandes centros urbanos em decorrência de quaisquer atividades. Esta resolução adota os padrões e recomendações estipulados pelas normas NBR 10.151 e NBR 10.152 da ABNT.

Portanto, somente no âmbito federal, existem quatro pontos principais a questionar:

- As crianças têm direito ao ensino gratuito;
- Qualitativamente, a escola deve proporcionar condições adequadas aquilo que se destina: o ensino, através da disponibilização de ambientes adequados acusticamente;
- Os professores devem ter condições adequadas de trabalho;
- A escola requer baixos níveis de ruído, bem como sua vizinhança.

No âmbito estadual, a Constituição do Estado de Santa Catarina [124] reforça a Constituição Federal nos mesmos moldes, pois estabelece que a educação é um direito de todos e dever do Estado. Também afirma, no Art. 162, que o ensino deverá ser ministrado no princípio de “VII) Garantia do padrão de qualidade” e outros.

Já o Decreto nº 30.436, de 30 de setembro de 1986 [125], estabelece o seguinte:

Art. 14. *“Toda pessoa proprietária e/ou responsável por edificações destinadas ao ensino público ou privado de qualquer natureza, tipo ou finalidade, no que se refere aos terrenos, deverá atender as seguintes condições de localização, segurança e salubridade:*

*I- O terreno deverá distar mais de 200m de:*

*Vibrações;*

*(...)*

*d) Ruídos intensos;*

*(...)*

(...)

*VI- O terreno deverá ser arborizado de modo que seja amenizada a insolação, prevenida a erosão, criada barreira à propagação do som, proporcionando ambiente agradável e saudável.”*

As edificações localizadas em áreas urbanas, em raros casos, terão condições de estarem afastadas a mais de 200 metros de fontes sonoras, considerando que o logradouro é uma fonte sonora. Já a questão de se criar uma barreira à propagação do som através de arborização, é uma maneira pouco eficaz e nada acrescenta ao isolamento sonoro, a menos que esta seja bastante densa e com grandes dimensões, caso inexistente em áreas urbanas.

Com relação aos prédios e equipamentos escolares, a Lei complementar nº 170, de 7 de agosto de 1998 [126], que dispõe sobre o Sistema Estadual de Educação, em seu Art. 67 cita:

*“As escolas estaduais de educação básica serão instaladas em prédios que se caracterizem por:*

*I – Suficiência das bases físicas, com salas de aula e demais ambientes adequados ao desenvolvimento do processo educativo;*

(...)

*IV – Existência de instalações adequadas para educandos com necessidades especiais.*

(...)”

Este último item trata de uma questão que internacionalmente já está bastante desenvolvida e no Brasil começa a despertar a consciência dos legisladores. A questão da incorporação à sociedade dos indivíduos com necessidades especiais, de maneira a promover a maior integração possível com os indivíduos ditos “normais”. Assim, para a lei se fazer cumprir, as instalações escolares devem proporcionar, também, condições de utilização adequadas para portadores de deficiência auditiva.

Portanto, a qualidade acústica é um importante e decisivo aspecto no funcionamento e desempenho da edificação. A integração dos deficientes auditivos em diferentes graus, possibilitada através da correta especificação acústica, é obtida através de decisões arquitetônicas. Analogamente, os portadores de deficiência motora não poderiam adentrar uma edificação se a arquitetura da mesma não proporcionar condições para isso, através de rampas ou elevadores. O papel da edificação, neste caso, ainda estaria incompleto se, por exemplo, o edifício contasse com rampas de acesso mas a circulação interna se desse por meio de escadas



exclusivamente. Esse é o paralelo da situação atual no que diz respeito à acústica: a legislação obriga mas não há condições para que a lei seja atendida.

No caso dos portadores de deficiência auditiva, portanto, a arquitetura exerce igualmente um papel decisivo, pois os ambientes acústicos criados são fruto do projeto de arquitetura que permitirá ou não a integração desse cidadãos.

Por fim, em documento para elaboração de projetos de escolas terceirizadas [127], consta no item III – Programa de Necessidades, sub-item 6) *“As salas de aula devem ser locadas sem que o ruído do recreio coberto interfira no bom desempenho das aulas.”*

Assim, cabe ao poder estadual a implantação das escolas e suas edificações escolares, nos moldes mínimos estipulados pelo próprio Estado. Infelizmente, em muitos casos, essas determinações são apenas ilustrativas pois não são consideradas pelos projetistas das edificações em questão, ou por não serem eficazes.

No âmbito municipal, os planos diretores das cidades fazem o zoneamento em função dos usos permitidos (residencial, comercial, industrial e outros) ou não em determinado local. Em complementação, os municípios elaboram normas legais específicas a respeito da poluição sonora, nas quais estipulam-se os níveis máximos por zona, região ou logradouro, quase sempre referenciadas na norma NBR 10.151, da ABNT.

Assim, considerando as referidas leis, normas e resoluções, pode-se concluir que as escolas devem atender aos preceitos normativos e legais, sob pena de punição, que é aplicada pelo próprio Estado, criador de várias das leis que penalizam a si próprio. Um aspecto a se considerar é que a responsabilidade pela escola pública é do poder público e, sendo assim, pode-se responsabilizá-lo por omissão nos seguintes casos:

- Por permitir que atividades ruidosas se instalem perto de escolas;
- Por não controlar e/ou fiscalizar emissões acústicas no zoneamento da cidade;
- Por não colocar a disposição dos usuários, escolas onde haja proteção contra a poluição sonora;
- Por se tornar fonte de poluição sonora, com escolas ruidosas para sua vizinhança.

Como conseqüências, podem ocorrer:

- A penalização da escola;
- Multa/indenização, por danos ao meio ambiente e/ou a terceiros;
- Cessação das atividades;
- Reforma nas edificações para adequação;
- Pagamento de custas judiciais e honorários advocatícios.

Do ponto de vista da acústica ambiental, o tema é bastante complexo, pois há grande divergência em como se tratar a questão. A resposta da comunidade frente ao ruído é muito variável, principalmente por causa dos aspectos subjetivos envolvidos na audição. A combinação da subjetividade implícita na avaliação do ruído combinada com a precariedade legal existente leva a situação ao caos, pois não há como se medir a perturbação com exatidão.

A precariedade legal têm três frentes: a) leis que dão margem ao descumprimento por terem interpretação dúbia e/ou subjetiva; b) falta de agilidade no cumprimento e fiscalização; c) leis que referenciam padrões estipulados pelas normas técnicas da ABNT, que por sua vez, ainda encontram-se muito incompletas. Como exemplo, nenhuma norma nacional sequer cita recomendações sobre tempo de reverberação em salas de aula, critério amplamente aceito como requisito básico para a qualidade de uma sala de aula. Ainda há também questões de ordem prática como a indefinição dos valores dos coeficientes de absorção sonora dos materiais nacionais, dificultando assim, a utilização do cálculo do tempo de reverberação adotado pela normas.

A sociedade brasileira já está começando a manifestação de inconformidade com a situação. Para efeito de ilustração, pode-se citar o caso que está ocorrendo atualmente na cidade de Blumenau, SC, onde uma escola estadual está sendo alvo de uma ação judicial na qual a mesma é acusada de ser a causadora de ruídos elevados pelo uso de seu ginásio de esportes. O Ministério Público do Estado de Santa Catarina conseguiu limitar o uso do ginásio em horários pré-determinados, ao mesmo tempo que estipulou prazo para apresentação de projeto de tratamento ou isolamento acústico, através de uma ação judicial.

Da análise desse caso, percebe-se que o problema de ruído excessivo é de mão dupla na qual não somente a escola é perturbada por ruídos externos à ela, mas também, a comunidade é

incomodada pela escola. De forma veemente pode-se afirmar que se trata de ruído altamente perturbador, pois chegou a esfera judicial. O caso ilustra a atual realidade e o contexto em que as escolas catarinenses e a comunidade em geral estão inseridas. É inegável a urgência de adequações projetuais e construtivas que colaborem para solução ou minimização do problema existente. A sociedade necessita e deseja espaços construídos mais qualificados, onde se torne aprazível o ambiente escolar e urbano, e a maneira viável de obterem-se esses resultados é através de legislações adequadas que garantam as condições mínimas aceitáveis.

No âmbito internacional, o *International Institute of Noise Control Engineering- TC#4- Noise and Reverberation Control for Schoolrooms*, está produzindo uma série de pesquisas que culminarão com recomendações projetuais acústico-arquitetônicas para escolas. Paralelamente, diversos países estão se organizando no mesmo sentido, dentre eles, podem ser citados os Estados Unidos [112] e o Reino Unido [128]. Especialmente, o caso dos Estados Unidos torna-se um exemplo a ser seguido, pois a necessidade urgente do estabelecimento de padrões acústicos para as escolas em escala nacional fez com que o governo daquele país implantasse uma parceria com a comunidade científica, através da *Acoustical Society of America (ASA)*. Esta parceria resultará em uma norma ANSI, e a versão para apreciação da comunidade (*draft*) encontra-se atualmente em processo de aprovação.

Este trabalho, pretende colaborar no sentido de se criar uma base de dados nacionais a respeito do tema acústica em escolas. Consolidado esse esforço, poderão haver condições similares às aquelas implantadas em outros países, como os casos já citados.

# Capítulo 4

## LEVANTAMENTOS FÍSICO-CONSTRUTIVOS

### 4.1. Abrangência

Antes de iniciarem-se os levantamentos físico-construtivos foram feitas visitas piloto às escolas e a outras instituições que se julgou conveniente, tais como Secretaria de Educação e Desporto/SC, Secretaria de Estado da Administração/SC, Fundação Municipal do Meio Ambiente – FLORAM, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – FUNDACENTRO, Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas – DEOH/SC, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE e outros. As visitas objetivaram levantar dados iniciais com relação a diferentes informações necessárias ao desenvolvimento da pesquisa.

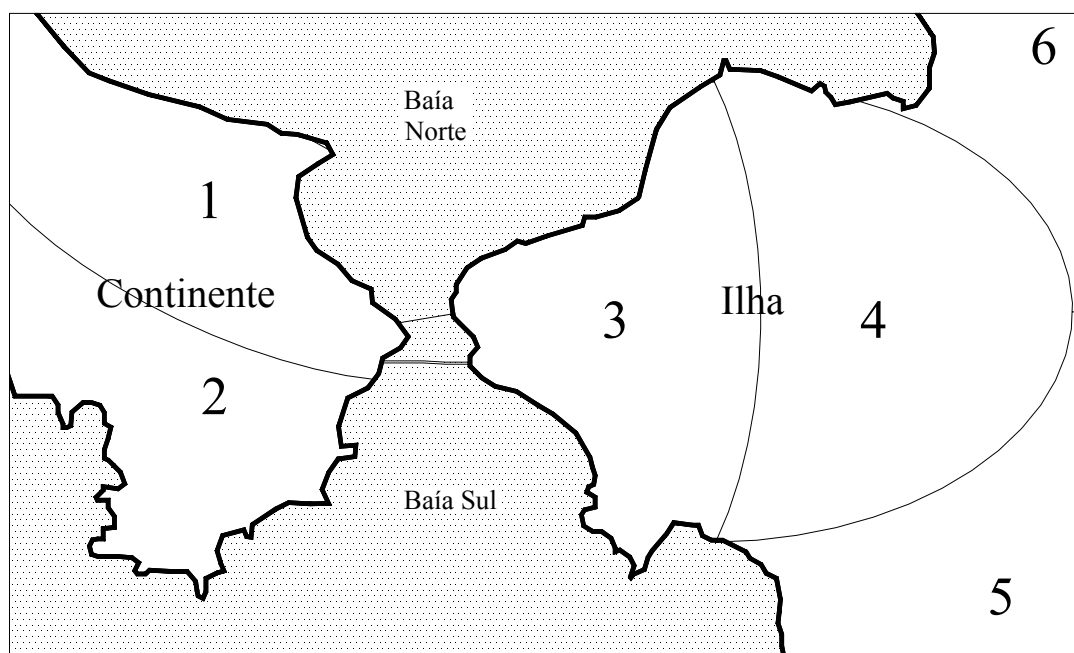
As escolas estaduais em Santa Catarina recebem denominações segundo sua abrangência de atuação. São classificadas em: Centro de Educação Infantil – CEI (maternal e jardins de infância), Escola de Ensino Fundamental – EEF (apenas ensino fundamental), Escola de Ensino Básico – EEB (ensino fundamental e médio), Escola de Ensino Médio – EEM (apenas ensino médio). Por ser objeto deste estudo apenas escolas de nível fundamental, foram avaliadas as escolas EEF e EEB, compreendendo um total de 46 estabelecimentos. Entretanto, algumas não caracterizavam bem o conjunto por diferentes motivos explanados a seguir.

O Instituto Estadual de Educação, diferentemente das demais, apresenta um número de alunos matriculados na ordem de três vezes mais que a segunda escola com maior número de alunos matriculados. Além disso, as instalações do Instituto chegam utilizar o espaço de praticamente um quarteirão inteiro, caracterizando um espaço singular em relação as demais escolas.

As escolas EEB Feliciano Nunes Pires, na Trindade e Tenente Almachio, na Tapera, apesar de serem consideradas escolas estaduais, são escolas militares, com dinâmicas de funcionamento e organização independentes. A primeira está localizada dentro de um complexo de ensino da Polícia Militar e a segunda está dentro do bairro da Base Aérea Militar de Florianópolis, sendo até mesmo o acesso ao bairro restrito a pessoas com autorização.

A escola EEB Silveira de Souza está atualmente com seu edifício em reforma, portanto sem condições de levantamento de dados. Os alunos foram transferidos para outra edificação temporariamente.

As escolas foram catalogadas e receberam um código de referência através do critério por região do município. A Figura 14 ilustra as regiões que foram definidas no município de Florianópolis. Assim, com escolas agrupadas, otimizou-se a logística, os custos de deslocamento e o tempo para levantamento e coleta dos dados. O Instituto Estadual de Educação e a EEB Feliciano Nunes Pires não receberam numeração pois foram descartadas antes do início do levantamento.



**Figura 14** – Regiões definidas no município de Florianópolis.

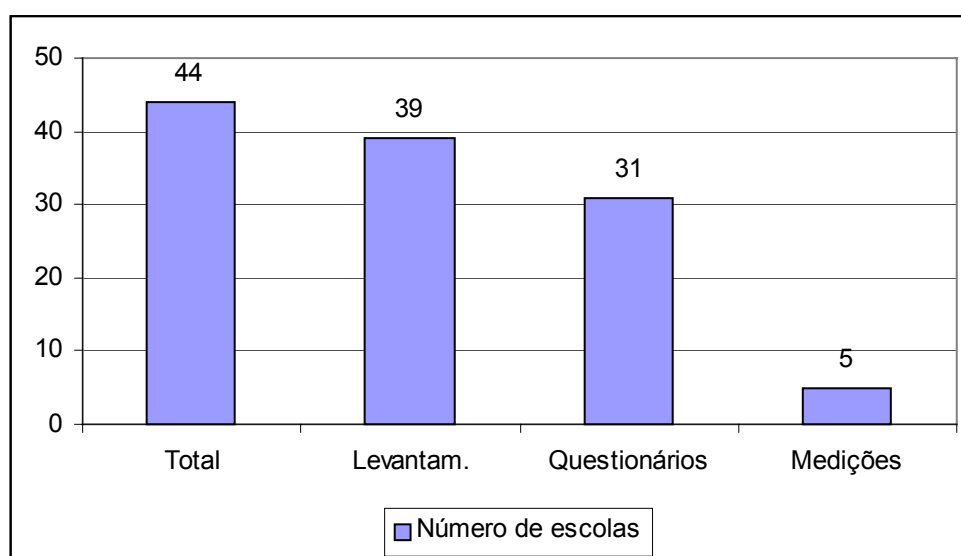
A região número 1 compreende a parte continental norte do município, abrangendo o bairro do Estreito. A região número 2 compreende a outra metade continental, sul e oeste, com os seguintes bairros: Capoeiras, Jardim Atlântico, Coqueiros e Abraão. A região possui densidade populacional bastante elevada. Na região 3, já na parte insular, está a região central da cidade com os bairros: Centro, Prainha e José Mendes. Na região 4 estão os bairros Trindade, Agrônômica, Itacorubi, Monte Verde e Saco dos Limões. A região 5 compreende o sul da ilha: Costeira, Rio Tavares, Campeche e outros. A região 6 é composta das demais localidades no norte da ilha: Santo Antônio de Lisboa, Ratoles, Rio Vermelho, Ingleses, Sambaqui, Vargem

Pequena, Canasvieiras, Cachoeira e outros. As regiões 1 à 4 são as que concentram o maior número de escolas devido ao fato de ser a região urbana do município ou distrito sede.

Além daquelas escolas excluídas, em outras não foi possível executar os levantamentos por diferentes motivos. A escola EEB Lucia do Livramento Mayvorne está localizada em um local que não apresentou condições adequadas de segurança para realização do estudo. As escolas EEB Getúlio Vargas, EEB Osmar Cunha e EEF de Sambaqui, através de seus respectivos diretores, não autorizam a realização do estudo em suas dependências.

Por fim, nas escolas EEB Celso Ramos, EEB Prof. Anísio Teixeira, EEB Porto do Rio Tavares, EEB Januária Teixeira da Rocha, EEB Ildefonso Linhares, EEB Baldicero Filomeno, EEB Tenente Almachio, EEB Dr. Paulo Fontes, e EEB Osmar Cunha foram feitos os levantamentos físico-construtivos, mas os diretores não permitiram a aplicação dos questionários ou não disponibilizaram os resultados. Para ilustrar, na escola EEB Celso Ramos foram aplicados os questionários mas a diretora deixou que o material fosse para o lixo antes de ser recolhido.

Assim sendo, conseguiu-se coletar resultados de um total de 39 escolas para os levantamentos físico-construtivos, 31 escolas para os questionários e 5 escolas para as medições acústicas, conforme apresenta a Figura 15. Já a Tabela 5 mostra o código da numeração atribuída a cada escola, a região do município, o bairro e o nome das escolas.

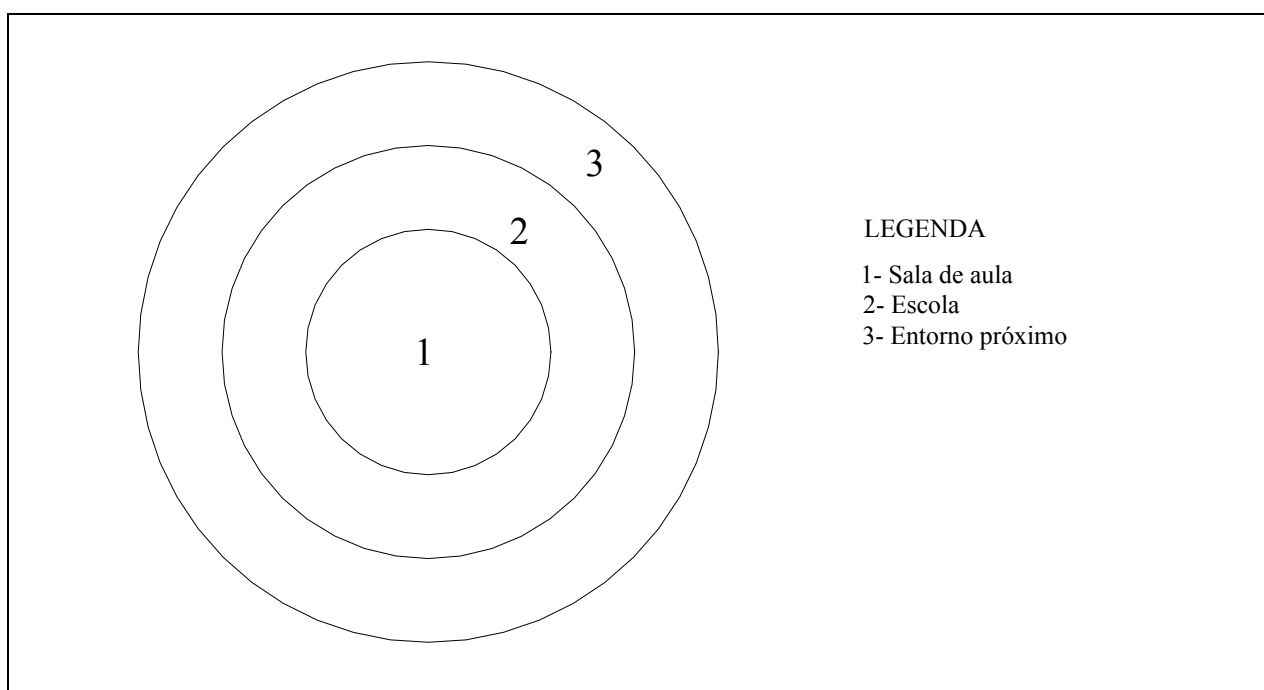


**Figura 15** – Abrangência do estudo.

**Tabela 5** – Escolas analisadas separadas por região.

<b>Código</b>	<b>Região</b>	<b>Bairro</b>	<b>Escola</b>
1	1	Estreito	EEB Prof. Otília Cruz
2	1	Estreito	EEB José Boiteux
3	1	Estreito	EEB Jornalista Jairo Callado
4	1	Estreito	EEB Irineu Bornhausen
5	1	Estreito	EEB Aderbal Ramos da Silva
6	2	Capoeiras	EEB América Dutra Machado
7	2	Capoeiras	EEB Dayse Werner Salles
8	2	Capoeiras	EEB Edith Gama Ramos
9	2	Capoeiras	EEB Pero Vaz e Caminha
10	2	Capoeiras	EEB Prof. Aníbal Nunes Pires
11	2	J. Atlântico	EEB Rosa Torres de Miranda
12	2	Coqueiros	EEB Pres. Roosevelt
13	2	Abraão	EEB Rosinha Campos
14	3	Centro	EEB Silveira de Souza
15	3	Centro	EEB Prof. Henrique Stodieck
16	3	Centro	EEB Lucia do Livram. Mayvorne
17	3	Centro	EEB Lauro Muller
18	3	Centro	EEF Prof. Antonieta de Barros
19	3	Praia	EEB Celso Ramos
20	3	José Mendes	EEB Jurema Cavallazzi
21	4	Trindade	EEB Hilda Teodoro Vieira
22	4	Trindade	EEB Simão José Hess
23	4	Agronômica	EEB Padre Anchieta
24	4	Itacorubi	EEB Leonor de Barros
25	4	Monte Verde	EEB Prof. Laura Lima
26	4	S.Limões	EEB Getúlio Vargas
27	5	Costeira	EEB Prof Anísio Teixeira
28	5	Costeira	EEF Júlio da Costa Neves
29	5	R.Tavares	EEB Porto do Rio Tavares
30	5	Campeche	EEF Gen. José Vieira da Rosa
31	5	Campeche	EEB Januária Teixeira da Rocha
32	5	Carianos	EEB Ildefonso Linhares
33	5	Pedregal	EEF Baldicero Filomeno
34	5	Tapera	EEF Tenente Almachio
35	5	Ribeirão	EEB D. Jaime de B. Câmara
36	5	Pântano do Sul	EEF Severo Honorato da Costa
37	6	SA Lisboa	EEB Dr Paulo Fontes
38	6	Ratones	EEF D. Melquiades de Souza
39	6	R.Vermelho	EEB de Muquem
40	6	Ingleses	EEB Intend. José Fernandes
41	6	Sambaqui	EEF de Sambaqui
42	6	V. Pequena	EEF Vargem Pequena
43	6	Canasvieiras	EEB Osmar Cunha
44	6	Cachoeira	EEF Cachoeira do Bom Jesus

As informações a serem levantadas foram organizadas da seguinte forma, conforme Figura 16: as entrevistas e os levantamentos físico-construtivos visam avaliar as condições arquitetônicas da sala de aula, da escola e do entorno próximo à escola, através da impressão pessoal de seus usuários e pelo levantamento de projetos, plantas ou dados relevantes. Os questionários visam avaliar as condições de utilização da sala de aula e da escola sob a ótica dos alunos e professores e, por fim, as medições acústicas objetivam avaliar as salas de aula apenas, conforme metodologia apresentada no item 1.4.



**Figura 16** – Locais para levantamento de dados.

#### **4.1.1. Levantamentos através de entrevistas**

As entrevistas foram realizadas com pessoas específicas tais como os arquitetos projetistas das edificações escolares no DEOH/SC, diretores, professores e alunos das escolas avaliadas. O objetivo era conhecer de maneira ampla e geral a situação do objeto do estudo, servindo de base para a elaboração dos questionários.

Por ser um método de avaliação no qual os envolvidos são questionados de maneira informal, muitas informações servem para configurar um panorama geral da questão, pois verifica-se que os entrevistados muitas vezes ficam mais desinibidos para fornecer as informações, exatamente



pelo método de coleta de dados ser menos rígido. As entrevistas não geraram conclusões específicas, pois serviram para formar subsídios para o desenvolvimento da pesquisa no todo.

#### **4.1.2. Levantamentos físico-construtivos**

Os levantamentos físico-construtivos foram planejados em duas frentes: na primeira foram levantados dados relevantes ao estudo sobre as edificações escolares *in situ*. Ano de construção e últimas reformas, dimensões internas das salas padrão, número de alunos por sala de aula, zoneamento interno, situação, locação, detalhes construtivos, acabamentos e lay-out das escolas, inclusive localizando as prováveis fontes sonoras e elementos que criavam condições desfavoráveis acusticamente, tais como portas e janelas com venezianas abertas, corredores e pátios internos e outros. O formulário utilizado para o levantamento encontra-se no Apêndice A.

Já na segunda frente, levantaram-se, junto ao Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas – DEOH/SC, os projetos arquitetônicos das escolas, nos quais diversas informações puderam ser obtidas mais facilmente. Porém, apesar de ser o mais óbvio, poucas escolas tinham os projetos arquitetônicos disponíveis. Muitas edificações escolares são antigas, datando do início do século passado e, pelo fato de passarem por diversos governos estaduais, com suas respectivas administrações, secretarias, departamentos e dinâmicas de funcionamento, seus projetos foram se perdendo ao longo do tempo. Devido a isso, foi necessário fazer o levantamento arquitetônico da maioria das edificações que seriam escolhidas para as medições acústicas.

As escolas estaduais catarinenses atualmente são projetadas pelos arquitetos do Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas – DEOH/SC, órgão do Governo do Estado de Santa Catarina, centralizado em Florianópolis. Todas as edificações escolares do estado são planejadas e projetadas nesse departamento. Não entrando no mérito da questão sobre o fator centralizador, ocorre que, da maneira que o sistema está estruturado dificulta a concepção do projeto e suas peculiaridades individuais, pois o contato entre projetista, local de implantação da edificação e usuários, ficam prejudicados, devido ao pouco contado entre os agentes envolvidos. Esta realidade é bastante evidente nas edificações já em utilização.

Vários diretores informaram que a própria escola se organiza no sentido de arrecadar recursos para melhoria em suas instalações. Festas e eventos são organizados para tal fim, sendo assim,

uma forma de promover melhorias independentemente do órgão centralizador, que nem sempre é avisado das obras, ampliações e melhorias.

Os aspectos acústicos são desconsiderados, pois muitas vezes implanta-se um projeto padrão em locais e cidades com características completamente diferentes. A mesma escola que ora se propõe para funcionar em uma pacata cidade do interior do estado também é proposta para o centro de cidades de médio porte, como Florianópolis ou Joinville, que possuem características urbanas bastante distintas, principalmente no que se refere ao ruído urbano oriundo do tráfego de veículos automotores.

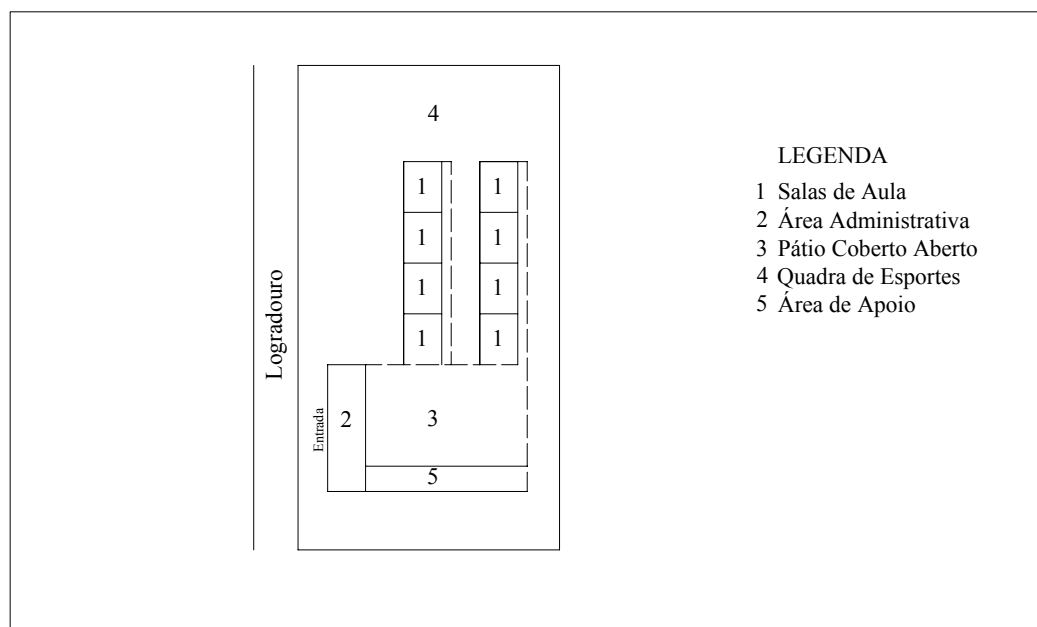
## **4.2. Tipologias construtivas**

As edificações foram divididas em três categorias ou grupos principais segundo sua tipologia. Na primeira categoria estão as escolas que possuem um bloco principal administrativo defronte ao logradouro, na maioria dos casos, seguido por um pátio coberto com laterais abertas, e salas de aula localizadas em um, dois ou mais blocos desconectados fisicamente das demais partes da escola, mas possuindo corredores cobertos para a ligação dos diversos setores. A Figura 23 ilustra o caso. Em alguma lateral do pátio estão as áreas de apoio como banheiros, cozinha, depósito e outros, e em outra lateral está a quadra de esportes.

Do ponto de vista acústico, os pontos fracos nesta tipologia são: a proximidade do pátio coberto aberto das primeiras salas de aula de cada ala e, similarmente, a proximidade da quadra de esportes do outro lado com as últimas salas de aula. Em alguns casos, a quadra de esportes encontra-se de frente para as salas, como se fosse uma terceira ala de salas para o exemplo da Figura 17. Os pátios e as quadras funcionam como fontes sonoras e deveriam ser elementos a serem segregados fisicamente. Também, em alguns casos, os banheiros encontram-se junto com as salas de aula, sendo um aspecto negativo, especialmente quando as paredes divisórias entre banheiro-sala de aula, ou mesmo entre salas de aula não se elevam até a cumeeira. Esse caso é bastante comum, ocorrendo vazamento sonoro.

Diversas vezes e em diferentes escolas, o autor do presente trabalho presenciou o vazamento sonoro entre salas de aula, principalmente na aplicação dos questionários em sala, durante sua

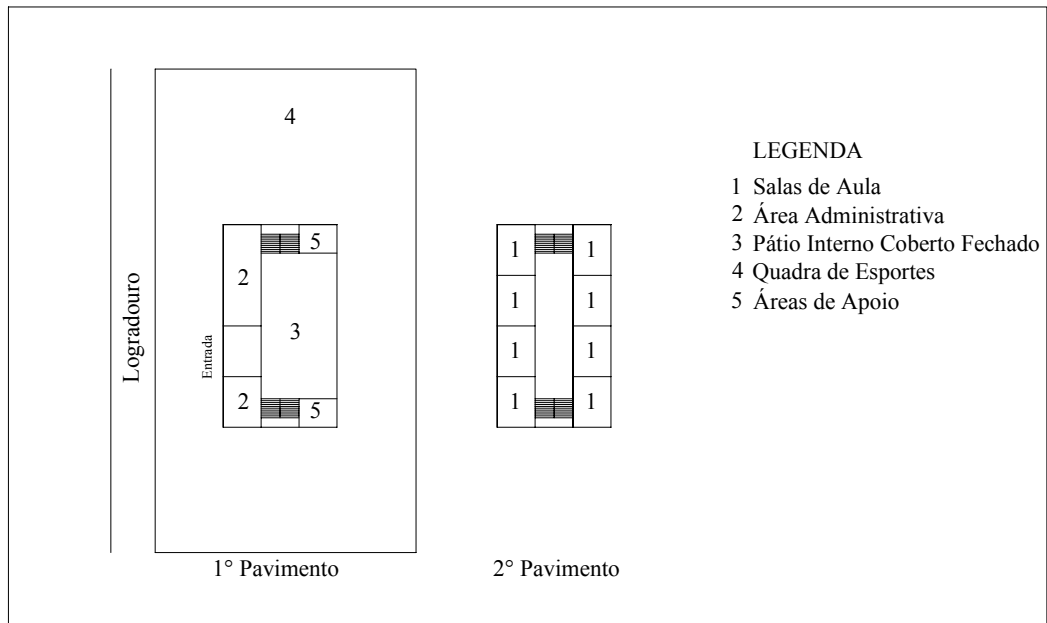
apresentação e explicação para os alunos, momento em que o ruído de fundo diminuía, facilitando assim a percepção do vazamento sonoro.



**Figura 17** – Exemplo da tipologia de escolas padrão 1.

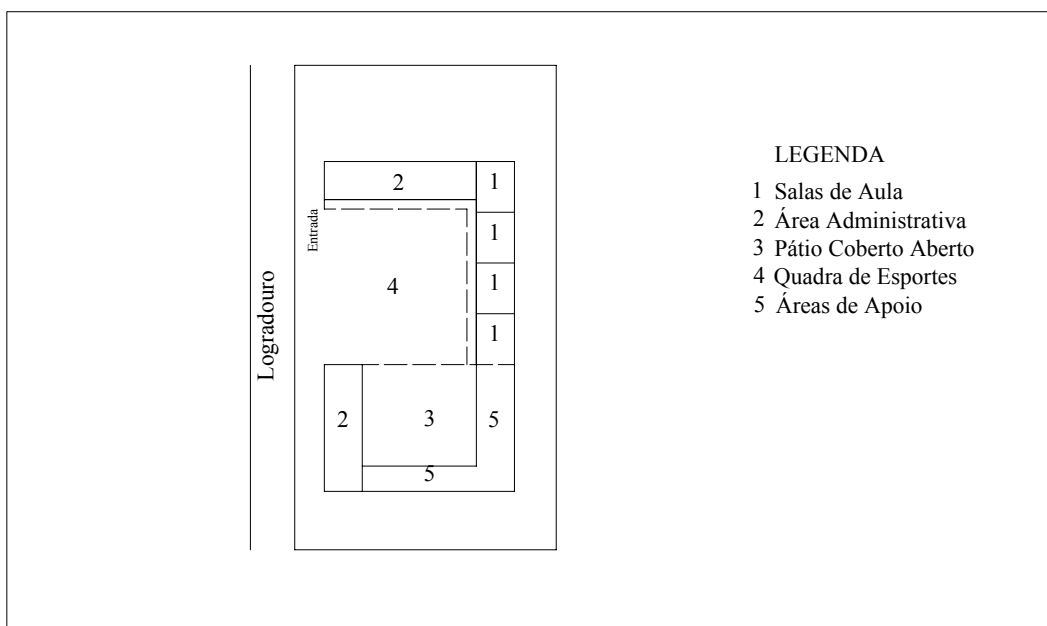
A segunda categoria é caracterizada por escolas com dois pavimentos, onde no térreo localiza-se a administração e pátio interno, normalmente coberto com laterais fechadas e áreas de apoio (banheiros, cozinha, depósitos, etc). No segundo pavimento estão as salas de aula, como ilustrado na Figura 18.

As salas de aula são localizadas no segundo piso, e por esse motivo, não sofrem com problemas de ruído de impacto e estão de certa forma protegidas do ruído originado no pátio coberto do primeiro pavimento. Porém, existe um grande vazamento sonoro através das escadarias e corredores. Em diversas escolas com essa tipologia são observadas a existência de janelas nas paredes divisórias entre salas de aula e corredor. As janelas, nesse caso, são elementos fracos acusticamente e responsáveis pela diminuição na capacidade de isolamento sonoro entre os ambientes.

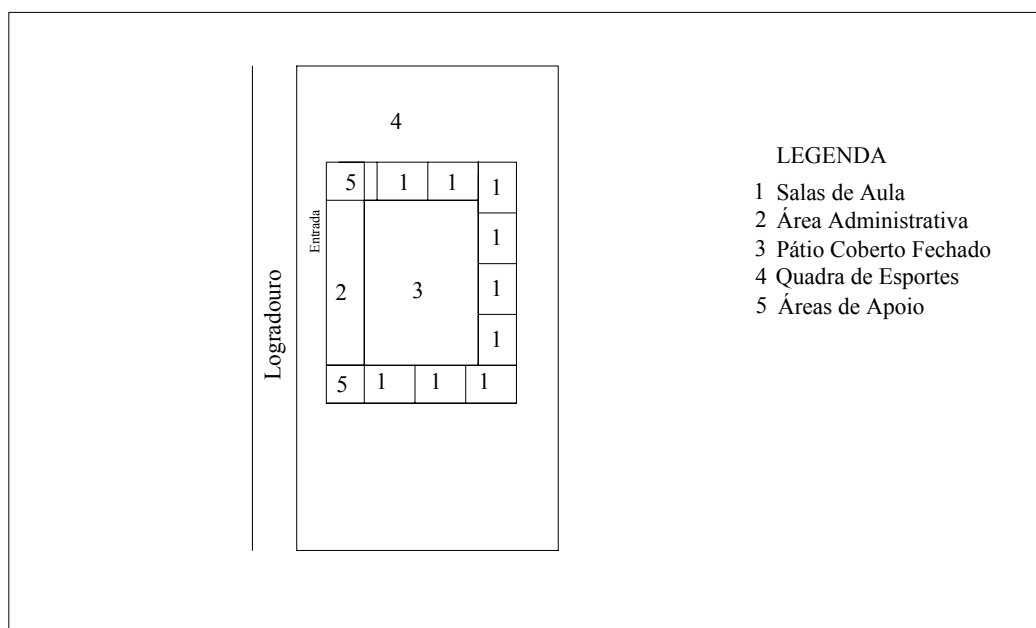


**Figura 18** – Exemplo da tipologia de escolas padrão 2.

Na terceira categoria forma classificadas as demais tipologias, sendo encontradas diversos padrões, sem uma predominância específica. Dentre algumas tipologias encontradas estão as ilustradas nas Figuras 19 e 20.



**Figura 19** – Exemplo de tipologia de escolas encontradas.



**Figura 20** – Exemplo de tipologia de escolas encontradas.

Ambas tipologias ilustradas nas figuras 19 e 20 sofrem com problemas de ruído ocasionado nos pátios e quadras centrais. Essas tipologias estão entre as piores possíveis do ponto de vista acústico, pois não protegem as salas de aula e as submetem ao ruído gerado nas áreas altamente ruidosas localizadas no entorno próximo. A existência de aula de educação física no mesmo momento que as aulas em sala configuram uma situação crítica. O mesmo acontece nas escolas que possuem diferentes horários para recreio entre as séries menores e maiores.

Em investigações futuras, a análise tipológica deverá ser feita com o uso de simulação numérica. Mantendo-se fixos parâmetros tais como níveis sonoros, materiais construtivos e revestimentos por exemplo e, variando-se somente a forma da edificação. Dessa maneira, é possível isolar apenas a variável de interesse, de modo a qualificar as tipologias mais favoráveis à uma edificação escolar.

### 4.3. Detalhes construtivos

Os detalhes construtivos foram levantados no mesmo formulário já citado, durante o momento da primeira visita às escolas e referem-se exclusivamente às salas de aula. De maneira geral as

escolas são construídas com métodos tradicionais, sendo basicamente o método convencional (estrutura em concreto armado e vedação em alvenaria de tijolos) ou em alvenaria estrutural de tijolos, no caso das mais antigas.

Os materiais de revestimento dos pisos são divididos como apresentado na Tabela 6, e dos tetos e/ou forros conforme a Tabela 7. Um ponto importante, é que as salas que possuem forros de PVC, madeira ou não possuem forro, certamente terão uma baixa capacidade de isolamento sonoro, pois devido a baixa densidade desses materiais, o teto se torna um elemento fraco para tal fim, prejudicando a qualidade acústica interna. Os revestimentos internos das paredes das salas são em sua totalidade pintura lisa sobre reboco (100%). Algumas salas de aula possuíam elementos decorativos (folhas de papel ou papelão como o abecedário, números e desenhos) e/ou de fixação como ripas de madeira nas paredes. Esses resultados apontam que os materiais mais utilizados internamente são reflexivos acusticamente, sugerindo desde já a possibilidade de elevados  $TR_{60}$ .

**Tabela 6** – Tipos de pisos encontrados.

<b>MATERIAL</b>	<b>Madeira</b>	<b>Cerâmica</b>	<b>Vinílico</b>	<b>Mosaico</b>
<b>%</b>	43,5	43,5	10,5	2,5

**Tabela 7** – Tipos de teto e/ou forros encontrados.

<b>MATERIAL</b>	<b>PVC</b>	<b>Madeira</b>	<b>Laje</b>	<b>Sem forro</b>
<b>%</b>	35,9	33,3	20,3	10,5

Com relação às aberturas, as portas são de abrir (eixo vertical) e de madeira em 100% dos casos e as janelas se dividem como apresentado na Tabela 8. Os elementos portas e janelas não possuem preocupação em relação ao selamento de frestas e aberturas, o que não é algo novo, pois é algo que não faz parte do padrão construtivo brasileiro. Apenas na escola EEB Intendente José Fernandes foi utilizado cerdas nas esquadrias para vedação das janelas. Existem outros tipos de janelas além destas especificadas, porém a título estatístico, considerou-se o padrão geral de cada escola, sendo assim, considerando-se o caso geral e não a exceção. Um aspecto importante que está muito aquém do desejado é o cuidado com a manutenção física das edificações. Muitas

escolas possuem vidros quebrados, janelas que não fecham ou até mesmo portas que foram retiradas e não substituídas.

**Tabela 8** – Tipos de janelas encontradas.

JANELAS	Madeira	Alumínio	Ferro
<b>Basculante*</b>	59,0 %	23,0 %	7,7 %
<b>Correr</b>	---	7,7 %	---
<b>Abrir</b>	2,6 %	---	---

\* Considerou-se janelas pivotantes como sendo basculantes.

#### 4.4. Demais características

A sala de aula padrão segundo normas da Secretaria de Estado da Educação e Desporto é de 6 metros de largura por 8 metros de comprimento sendo, então, o padrão da maioria das escolas (72%). Este tamanho comporta até aproximadamente 35 alunos. Na prática, acomoda entre 25 e 30 alunos, sendo que em várias escolas a média fica entre 15 e 20 alunos, especialmente nas séries iniciais. Pequenas diferenças nessas dimensões foram encontradas nas medições *in situ*, sendo ora alguns centímetros a mais ora a menos. Considerou-se dentro do padrão 6 m x 8 m, salas entre 5,5 – 6,5 m por 7,5 – 8,5 m. Outros padrões nas dimensões representam 28 % e variam bastante não apresentando um segundo padrão definido. Algumas salas chegam a ter planta baixa quadrada, o que do ponto de vista acústico não é desejável, pois paredes paralelas com revestimentos reflexivos facilitam a formação de ondas estacionárias, sendo então este caso, o mais crítico.

O pé-direito varia bastante, porém 66,8% encontram-se até 3 m de altura, 30,7% até 4 m e 2,5% acima de 4 metros. O resultado disso para o volume das salas se traduz da maneira como apresentada na Tabela 9. Estabeleceram-se quatro categorias de volume que foram baseadas na sala padrão 6 m x 8 m, com variação no pé-direito até 2,70 m (volume entre 100 – 129 m<sup>3</sup>), até 3,70 m (volume entre 130 e 180 m<sup>3</sup>), acima de 3,70 m (volume > 180 m<sup>3</sup>) e salas fora do padrão com quaisquer altura (volume < 100 m<sup>3</sup>).

**Tabela 9** – Variação no volume das salas.

<b>VOLUME</b>	<b>&lt; que 100 m<sup>3</sup></b>	<b>100 – 129 m<sup>3</sup></b>	<b>130 – 180 m<sup>3</sup></b>	<b>&gt; 180 m<sup>3</sup></b>
<b>%</b>	5,0	12,8	71,8	10,4

Florianópolis, por ser uma cidade com temperaturas elevadas entre os meses de outubro a maio, necessita de sistema de ventilação, sendo assim, a maioria das salas de aula possui ventilador de teto (69,3%) ou de parede (12,8%). Em 5,1% possuem ambos e 12,8% não possuem ventiladores. Nenhuma das escolas possui ar condicionado ou sistema de amplificação sonora nas salas de aula.

#### **4.5. Conclusões**

Apesar de diversos diretores não permitirem a realização do estudo em sua escola, mesmo após a apresentação dos objetivos e importância do trabalho, obteve-se boa abrangência no levantamento dos dados, atingindo-se um total de 39 escolas de um universo de 44 ou seja 88,6%.

Conclui-se, com esta etapa, que as escolas não são projetadas considerando aspectos acústico-arquitetônicos. O distanciamento entre projetista – local de implantação – usuário, fruto da atual estrutura do sistema, centraliza as decisões e a elaboração de projetos, reforçando assim o caráter impessoal que as edificações escolares são pensadas e propostas, pois dificulta o contato entre os agentes envolvidos. A situação é bem evidente quando do momento de reformas e ampliações. Como relatado por diversos diretores, as reformas, muitas vezes, são planejadas pela própria comunidade escolar, que normalmente não possui nenhum tipo de auxílio técnico de profissional especializado (arquiteto ou engenheiro civil). Em outras situações, a Secretaria de Estado da Educação e Desporto não é nem informada sobre as modificações, pois, na tentativa de facilitar todo o processo de levantamento de verba e construção, a própria escola se organiza para gerar subsídios para a obra.

Observou-se, também, que as tipologias construtivas desconsideram o entorno e suas fontes sonoras externas. A disposição interna da planta dos edifícios também não é satisfatória



acusticamente, pois não há preocupação em proteger os ambientes que requerem menores níveis de ruído. Com recurso da ferramenta de computação, as avaliações tipológicas podem ser aprofundadas, através de simulações, permitindo comparar a influência das fontes sonoras em situações distintas tipologicamente. A continuidade dessa linha de pesquisa deve contemplar tal procedimento.

Construtivamente, existem diversos problemas com materiais, dimensões e formas não adequadas para as salas de aula que, aliada à precária manutenção de elementos como portas, fechaduras e janelas, contribuem para a piora da situação, sugerindo a possibilidade de altos níveis de ruído em função da má qualidade de isolamento de aberturas e partições. Principalmente escolas mais antigas possuem pé-direito bastante alto, o que já de antemão sugere a possibilidade de altos TRs e TDIs, o que não é desejado.

Os resultados desses levantamentos serão melhores correlacionados nos capítulos seguintes, nos quais os pontos de vista dos usuários são apresentados e as medições acústicas em salas de aula avaliarão o desempenho acústico que os levantamentos físico-construtivos estão sugerindo.

# Capítulo 5

## QUESTIONÁRIOS

### 5.1. Introdução

Os questionários visaram verificar as condições de utilização em que as escolas encontram-se atualmente. Em última análise, e fazendo uma analogia a outros casos, pode ser considerado como uma Avaliação Pós-Ocupação (APO) das edificações escolares, na qual os usuários são divididos em dois grupos: alunos e professores. REIS e LAY [129] afirmam que em avaliações pós-ocupação, a percepção e o nível de satisfação do usuário em relação ao elemento avaliado é o padrão de comparação mais utilizado. Assim, foram elaborados dois questionários, direcionados respectivamente a cada grupo de usuários, considerando o nível intelectual e a capacidade de entendimento de cada um, para que a partir do ponto de vista dos usuários seja avaliado o desempenho das edificações escolares, a fim de se evitar futuros equívocos em projetos.

Para os alunos o questionário foi preparado de maneira que pudesse ser entendido de forma clara e simples, sem a ajuda de um professor ou de alguma pessoa para explicá-lo. A linguagem foi compatível com a idade daqueles que iriam respondê-lo.

Para os professores foi elaborado um questionário composto de mais informações, no qual, além de se informar sobre as questões de opinião pessoal, perguntava-se sobre como os alunos avaliavam e/ou reclamavam dos problemas acústicos no dia-a-dia. Os dados dos questionários de alunos e professores foram tratados de maneira estatística apenas.

Em ambos os casos e na maioria das escolas, o procedimento foi o seguinte: ao chegar no estabelecimento procurava-se conversar com o diretor da escola ou, na sua ausência, com alguma pessoa da diretoria. Essa pessoa era informada sobre o estudo, os objetivos e requisitava-se autorização para realizar o estudo em sua escola. Foi elaborado uma carta de apresentação com timbre da universidade para formalizar a visita.

Uma vez autorizada, a pessoa informava algumas características da escola que faziam parte do levantamento físico-construtivo. Também era realizado informalmente uma entrevista, pois

muitos diretores quando informados sobre o tema do estudo já iniciavam comentários sobre a acústica em sua escola, e até mesmo sem ser perguntados, relatavam problemas com acústica em outros lugares, como outras escolas, o bairro, a rua de sua residência, etc. Este fato ilustra a situação em que as pessoas estão expostas diariamente com condições ambientais acústicas muito desfavoráveis.

Na seqüência, pedia-se para o próprio diretor ficar responsável pelos questionários, procedendo da seguinte maneira: distribuir para todos os professores que lecionam junto ao ensino fundamental, relatando a importância do estudo e de se obterem as informações desejadas, e enfatizar que os mesmos deveriam devolver os questionários para o próprio diretor dentro do prazo requisitado. O período em média foi de duas semanas. Para os alunos, o diretor deveria escolher de maneira aleatória a turma e os alunos que responderiam os questionários nas sétimas e oitavas séries. O número de alunos já era estipulado pelo autor do trabalho, cabendo ao diretor apenas aplicá-lo. Por ser um questionário mais simples, os alunos deveriam responder no momento da visita do diretor à sala de aula e devolver o mesmo dentro de um período que em média foi de dez minutos.

De posse dos questionários respondidos pelos alunos e pelos professores, o diretor deveria guardá-los em envelope e esperar o retorno para coleta. Por existirem escolas com distâncias superiores a 50 quilômetros entre si, e para facilitar os aspectos de logística, era possibilitado o envio através do correio. Aproximadamente trinta por cento das escolas retornaram o envelope através do correio, colaborando para a agilidade do processo. Em ambos os casos, acompanhavam o material deixado com o diretor um manual de procedimentos com instruções para distribuição, aplicação, recolhimento e envio dos questionários. O manual encontra-se no Apêndice B.

Procurou-se padronizar toda a sistemática de funcionamento da coleta dos dados de forma a minimizar a chance de erros, de interpretação equivocada ou outros problemas, traduzindo, então, em um método claro e bastante objetivo.

Os questionários foram aplicados em quase a totalidade das escolas que representam a população objeto do estudo e foram distribuídos para os professores e alunos de 7<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> séries apenas, por serem os alunos com maior capacidade intelectual. Os demais alunos, de maneira geral, são

muito novos para entender e tecer opiniões a respeito do tema. Muitas vezes, mesmo os alunos mais velhos tinham dificuldade em compreender qual o verdadeiro objetivo do estudo.

Com relação ao universo do estudo, julgou-se viável e conveniente em um primeiro momento alcançar algo em torno de 10 alunos de sétima e 10 alunos de oitava séries por escola. Porém, após as visitas piloto, verificou-se a viabilidade de aumentar esse número para algo em torno de 15 a 20% de toda população escolar de 7<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> séries. O aumento no número de alunos atingidos vem colaborar para uma maior confiabilidade nos resultados.

Existem dois números globais de alunos segundo a Secretaria de Estado da Educação e Desporto: primeiramente, existe o cadastro das Matrículas Iniciais. Este dado refere-se aos alunos matriculados por escola, série, turno, etc, já atualizado com trancamentos e desistências. Entretanto, é relativo ao mês de março de 2002. Como o período de aplicação dos questionários foi entre julho e outubro, poderia haver uma certa diferença no número de alunos efetivamente estudando. Assim, obteve-se junto a Secretaria de Estado da Educação e Desporto, através do Departamento de Informática, o número exato de alunos de sétima e oitava séries em curso nas escolas no dia 02/10/02.

Confrontando-se os dados das Matrículas Iniciais com os dados do dia 02/10/02, verificou-se um decréscimo no número de alunos efetivamente em curso. Como a amostra de alunos para responder o questionários foi elaborada a partir dos dados das Matrículas Iniciais, a amostra que a princípio era 15 a 20%, subiu para 20 a 25%, colaborando assim para incremento da amostra. Em termos numéricos totais, chegou-se a 933 alunos respondentes, sendo 500 da sétima série e 433 da oitava série. Saliente-se que algumas escolas não possuíam sétimas e oitavas séries. Nessas, foram aplicados questionários apenas para os professores.

Para os professores, o objetivo era alcançar o maior número possível de respostas. Assim, não se fixou porcentagem, sendo deixado um questionário para cada professor em cada escola. O número final de professores que responderam o questionário foi de 255.

Os questionários aplicados encontram-se nos Apêndices C e D. A Tabela 10 a seguir mostra o número de questionários aplicados e respondidos por escola, por série e sua respectiva porcentagem.

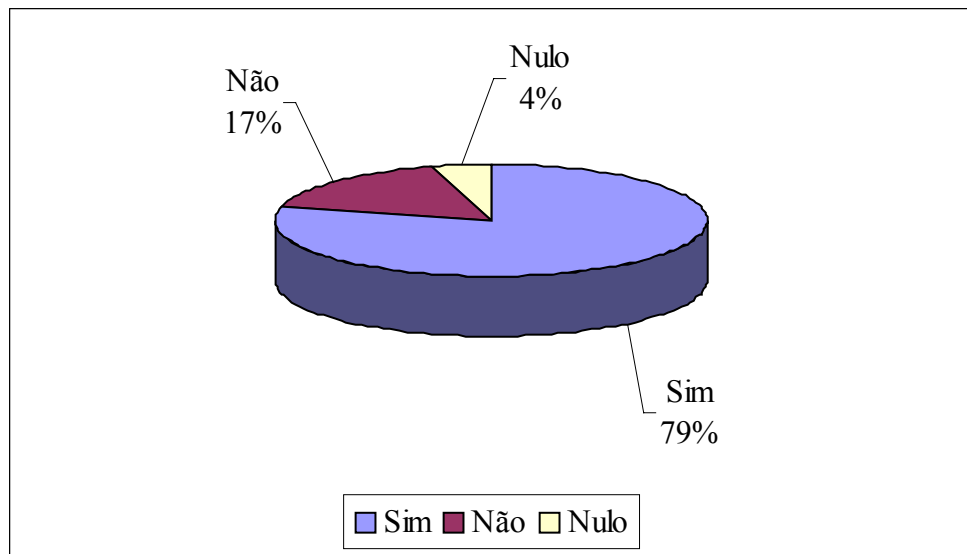


39	-	-	-	-	-	-	13	10	76,9
40	224	30	13,4	160	50	31,3	50	13	26,0
41	-	-	-	-	-	-	1	0	0,0
42	-	-	-	-	-	-	1	1	100,0
43	-	-	-	24	0	0,0	7	0	0,0
44	-	-	-	-	-	-	2	2	100,0
Região 6	242	30	12,4	198	50	25,3	84	28	33,3
<b>Total</b>	<b>2223</b>	<b>500</b>	<b>22,5</b>	<b>2235</b>	<b>433</b>	<b>19,4</b>	<b>1006</b>	<b>255</b>	<b>25,35</b>

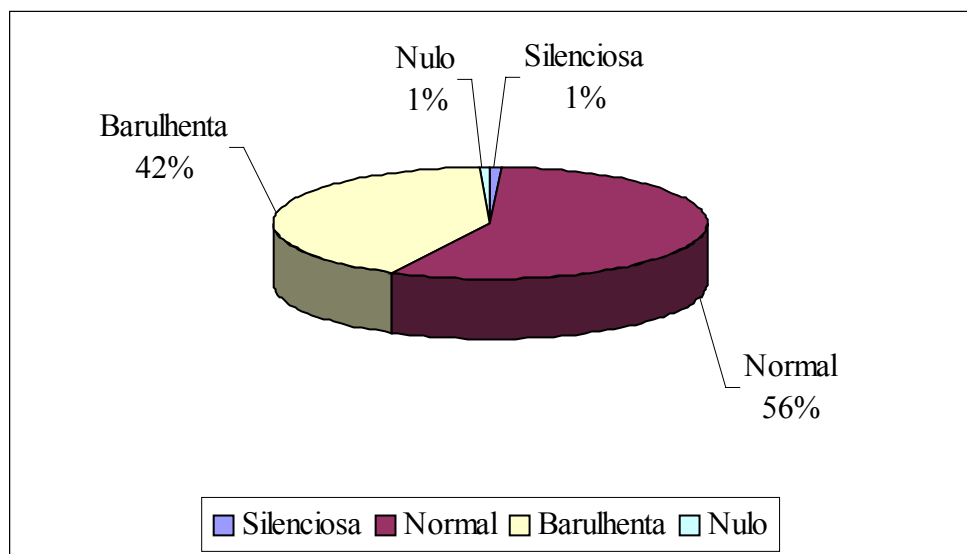
## 5.2. Questionários aplicados aos alunos

Os resultados dos questionários aplicados junto aos alunos estão apresentados nas Figuras 27 à 34 a seguir. Os dados referentes aos alunos de 7<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> séries foram agrupados no mesmo conjunto. Esses, demonstram que o tema acústica nas escolas têm uma grande importância e de certa forma são bastante compreendidos pelos usuários. VERMEIR e GEETERE [58], afirmaram que em seu estudo, apesar das condições acústicas das salas de aulas estudadas não serem ideais, as reclamações por parte dos responsáveis pela educação (diretores e professores) em relação ao tema eram apenas esporádicas. Resultado parecido foi encontrado por KARABIBER e CELIK [130] em estudo similar realizado na Turquia. Certamente, um problema desconhecido não é motivo de apreciação pelos responsáveis, então, o conhecimento do tema pelos alunos da escolas avaliadas é um fator positivo no sentido de se criar um ambiente favorável à adoção de medidas corretivas à respeito.

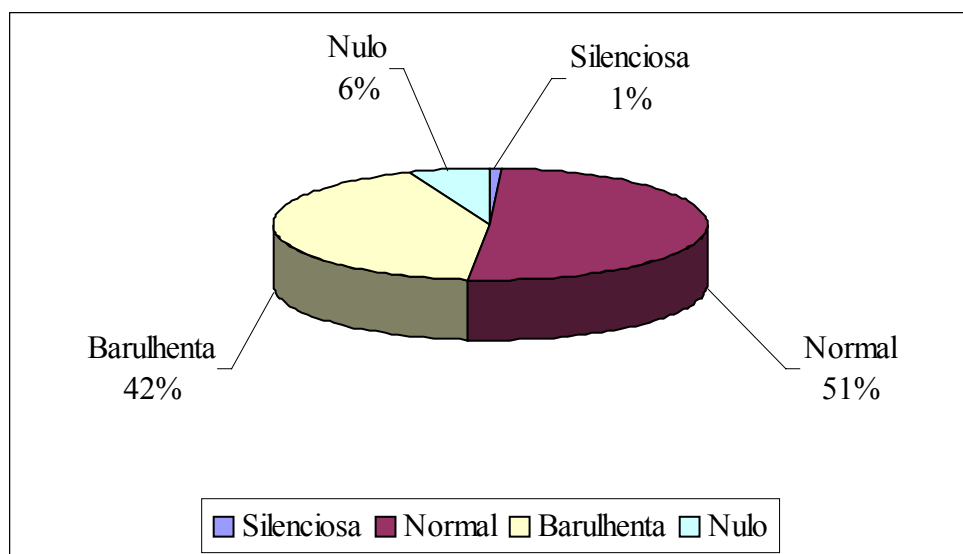
A Figura 21 apresenta que 79% dos alunos ouvem barulhos de salas vizinhas. Esse é um problema de isolamento que já era previsto no levantamento físico-constructivo. Já as figuras 22 e 23 mostram que tanto a escola como a sala de aula são consideradas barulhentas por 42% dos respondentes. Esses dados indicam preliminarmente que o ambiente acústico nas escolas e salas de aula está precário.



**Figura 21** – Resultados para pergunta: Você consegue ouvir sons ou barulhos de salas vizinhas?

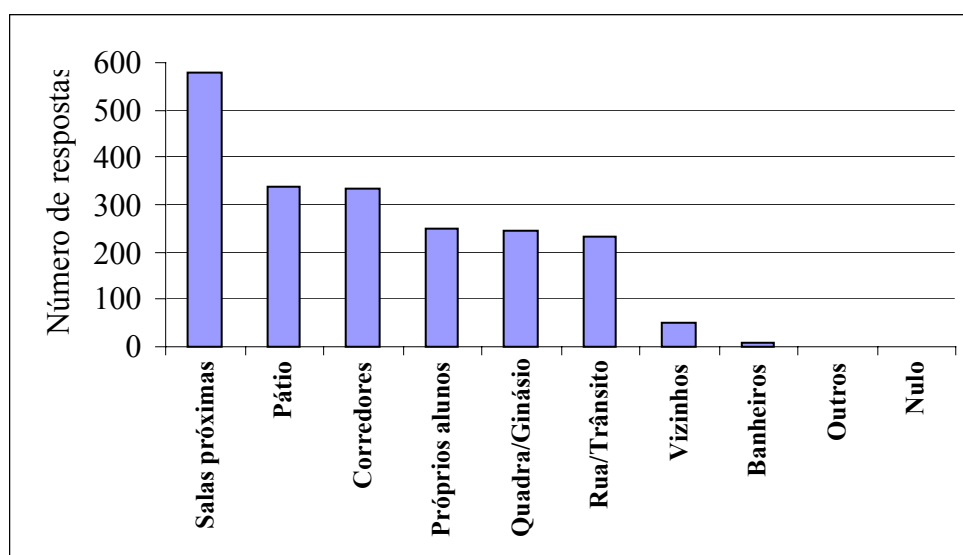


**Figura 22** – Resultados para pergunta: Como você considera sua sala de aula?



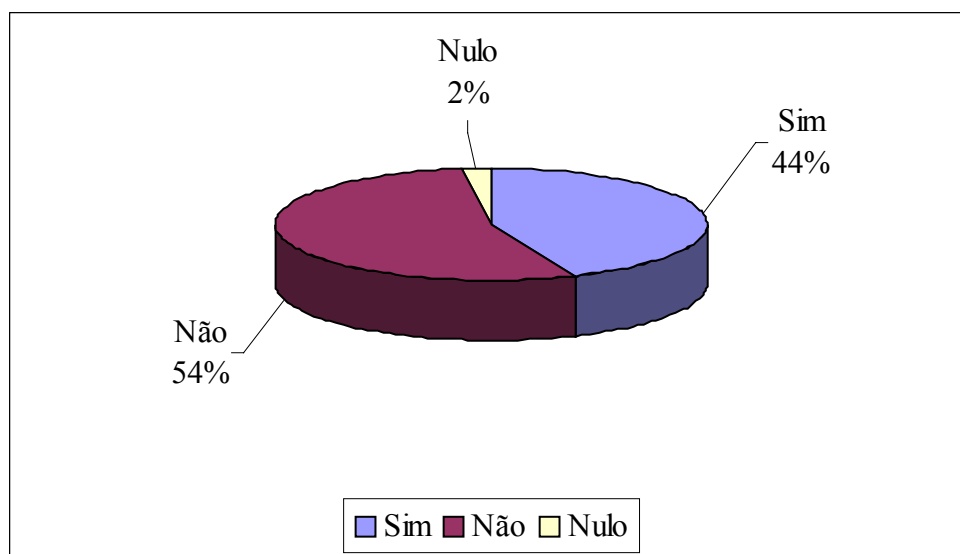
**Figura 23** – Resultados para pergunta: Como você considera sua escola?

Com relação às fontes sonoras, são responsáveis pelas maiores ocorrências, as salas próximas, o pátio e os corredores, conforme Figura 24. Não foram estabelecidas porcentagens pois era admitido que cada aluno apontasse mais de uma fonte sonora. Ainda sobre as fontes, para 44%, existe um comportamento diferenciado do ruído dentro da sala de aula, o que pode ocorrer devido aos elementos portas e janelas abertas ou conversas internas por exemplo (Figura 25).



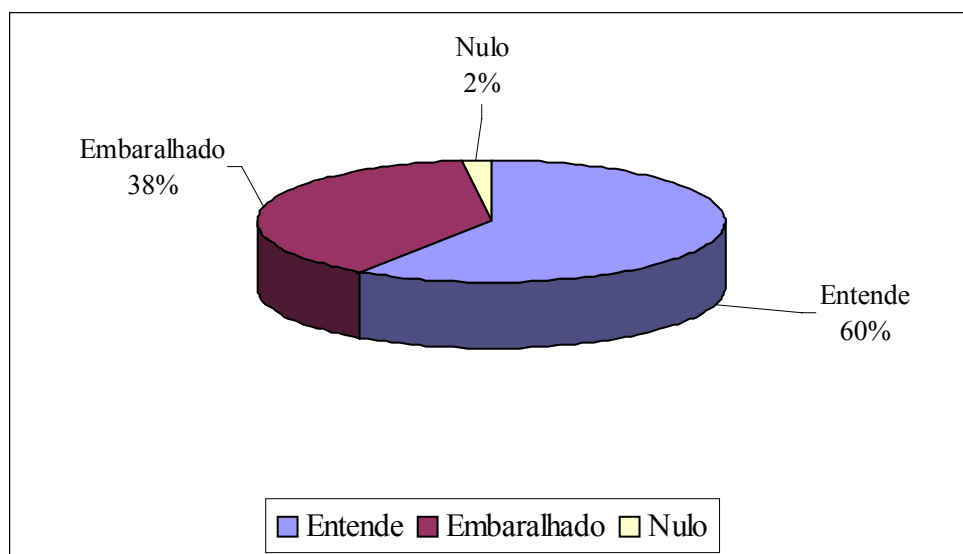
**Figura 24** – Resultados para pergunta: O barulho que você ouve vem de onde?



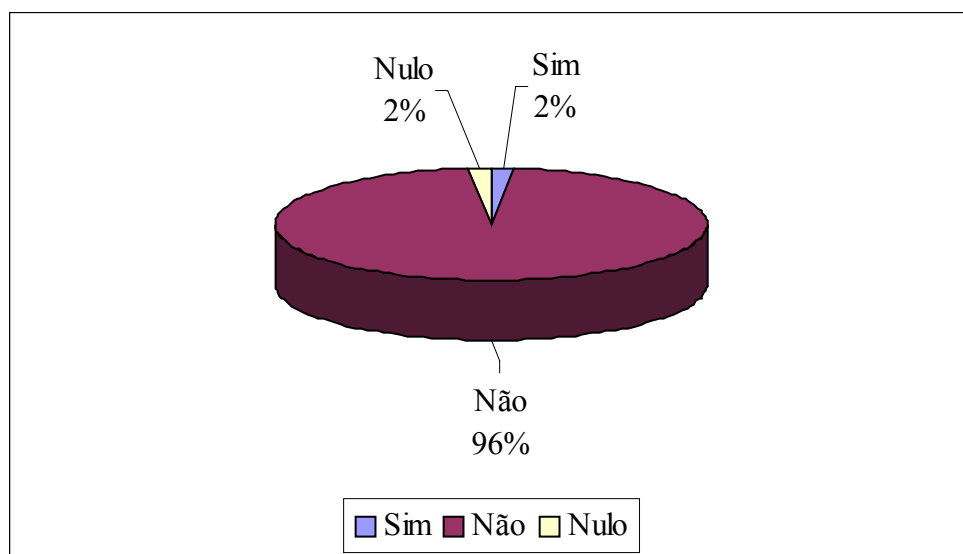


**Figura 25** – Resultados para pergunta: Você acha que algum local da sala seja muito ou mais barulhento?

Em relação a percepção da fala, 38% dos alunos afirmaram que a voz do professor parece embaralhada (Figura 26). Este é um dado muito relevante, pois é um indicativo de baixa inteligibilidade. Os alunos que não entendem corretamente o professor, terão certamente dificuldade em assimilar a matéria, e essa é uma consequência direta do aspecto anterior. A questão pode ser causada por dois aspectos: problemas de audição individual e/ou problemas acústicos da sala de aula. Em relação aos problemas de audição, 96% afirmaram que não possuem problemas auditivos, segundo Figura 27, restando, então, como causa principal, os problemas acústicos da sala. Certamente esta informação não pode ser considerada sem a devida constatação médica, pois certamente muitos alunos, especialmente nessa faixa etária, desconhecem eventuais problemas auditivos ou até mesmo podem não se sentir à vontade em admitir que possuem o problema. Já com relação aos problemas acústicos, as análises estão levando a uma conclusão nesse sentido.

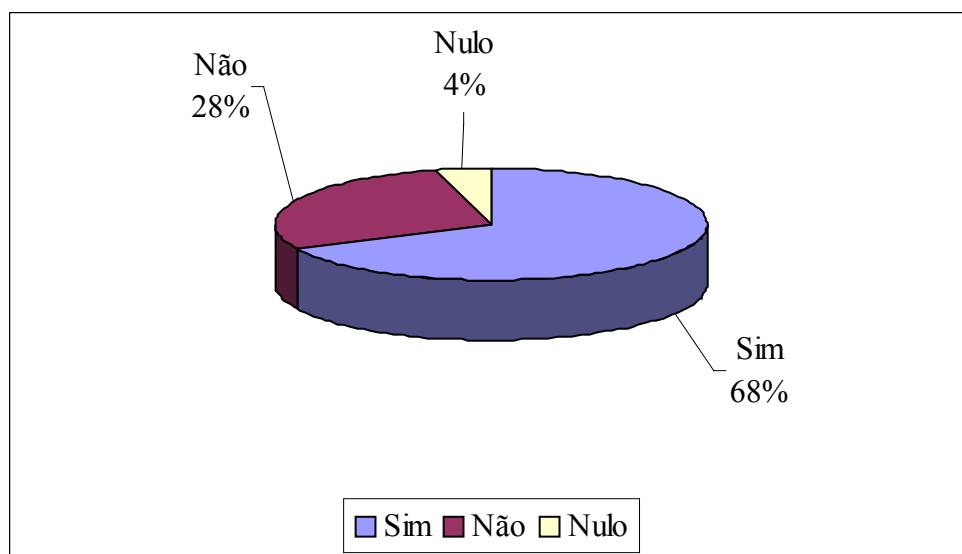


**Figura 26** – Resultados para pergunta: Quando o professor está falando você consegue entender claramente o que está sendo dito ou o som parece embaralhado?



**Figura 27** – Resultados para pergunta: Você tem algum problema auditivo?

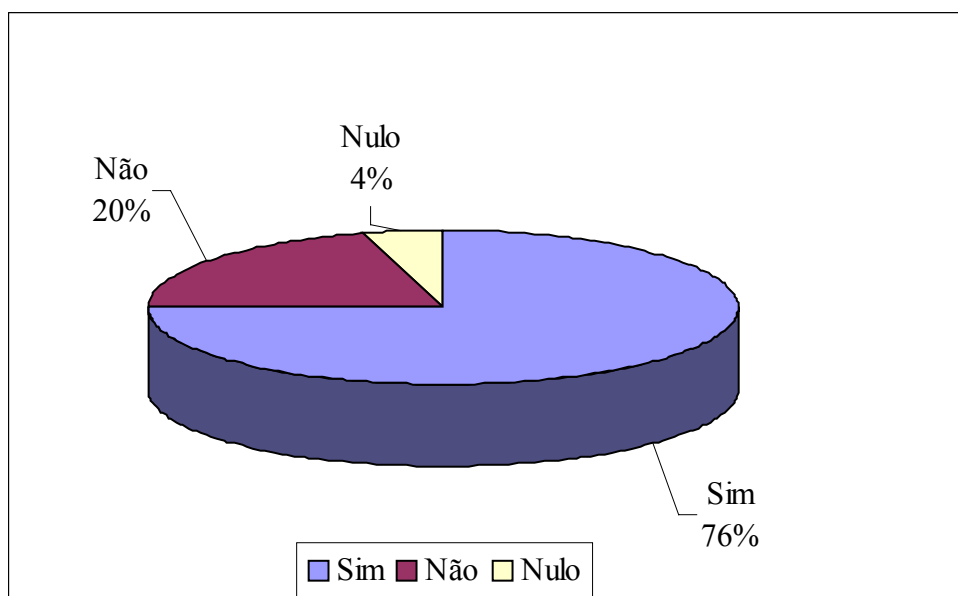
Por fim, a Figura 28 mostra que os alunos têm consciência que o barulho pode comprometer o aproveitamento escolar, já que 68% responderam afirmativamente quando perguntados sobre a questão. Um ponto a se considerar é a resposta afirmativa dos alunos para essa questão, podendo ser uma justificativa para baixo desempenho escolar. Estes dados serão comparados com as respostas dos professores (Figura 35) no item 4.3 a seguir.



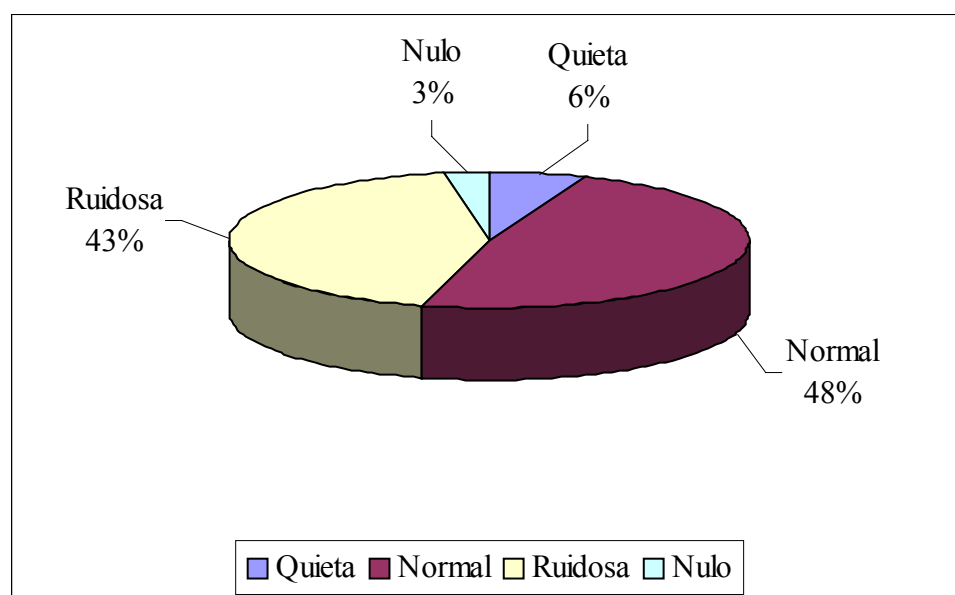
**Figura 28** – Resultados para pergunta: Na sua opinião o barulho influencia no aproveitamento escolar?

### 5.3. Questionários aplicados aos professores

O questionário dos professores foi dividido de maneira a se investigar questões envolvendo a audição e a fala. As repostas dos professores frente à perguntas similares feitas aos alunos, têm indicações bastante parecidas. A Figura 29 mostra que 76% dos professores escutam ruídos de salas vizinhas. Para os alunos esta porcentagem é de 79%, confirmando então, a precária situação de isolamento entre salas de aula. A Figura 30 revela que 43% dos professores consideram sua sala de aula ruidosa, contra 42% dos alunos, ou seja, resultado quase idêntico.



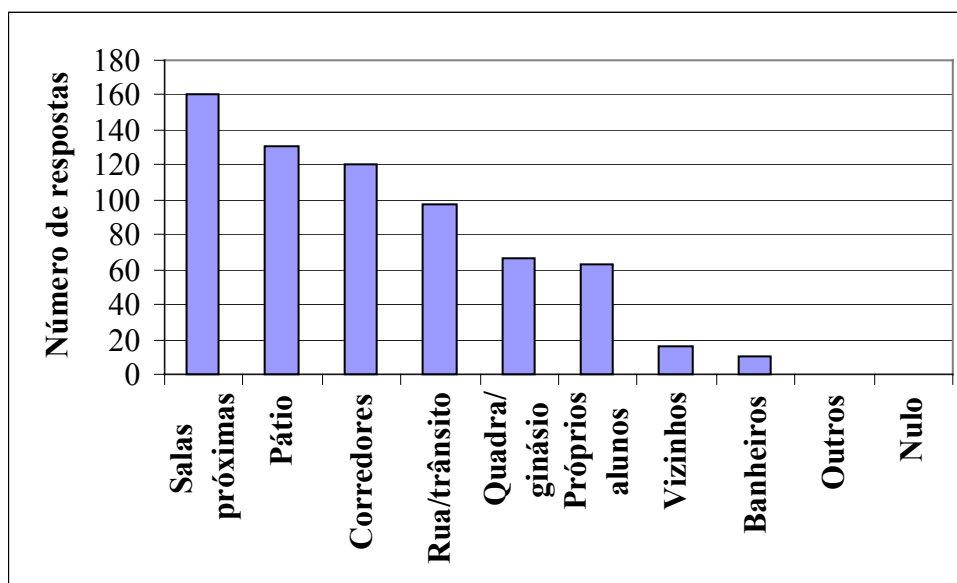
**Figura 29** – Resultados para pergunta: O sr(a). consegue ouvir sons ou barulhos de salas vizinhas?



**Figura 30** – Resultados para pergunta: Como o sr(a). considera sua sala de aula?

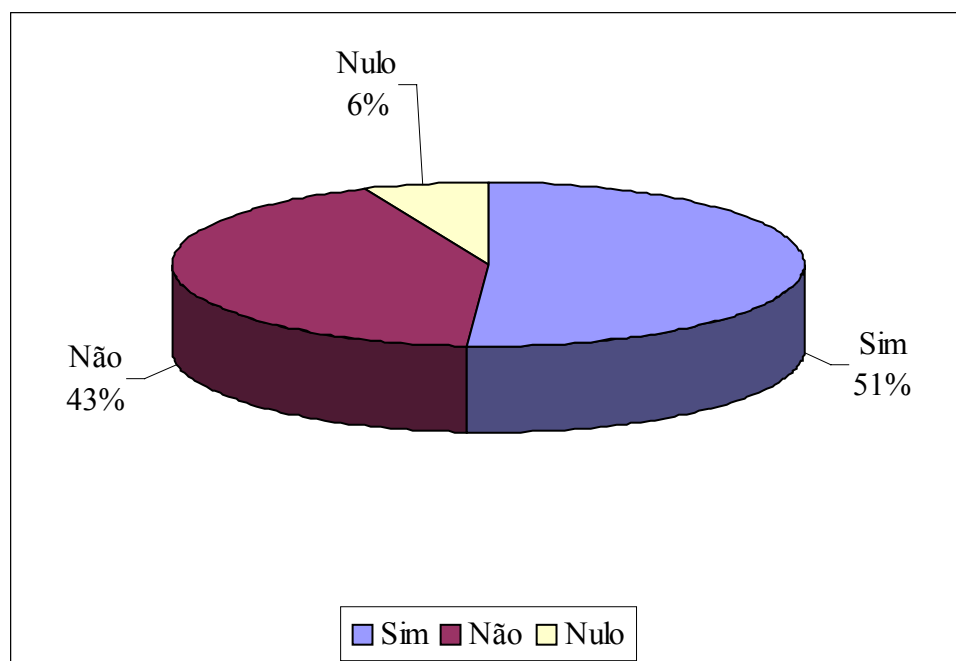
Com relação as fontes de ruído, segundo a Figura 31, as mais citadas foram as salas próximas, o pátio e os corredores. Estes são os lugares que estão fisicamente mais próximos as salas de aula, portanto reforça a teoria de que o correto zoneamento das edificações escolares no terreno pode

criar melhores ou piores condições acústicas para a sala de aula. Este resultado também é idêntico ao apontado pelos alunos.

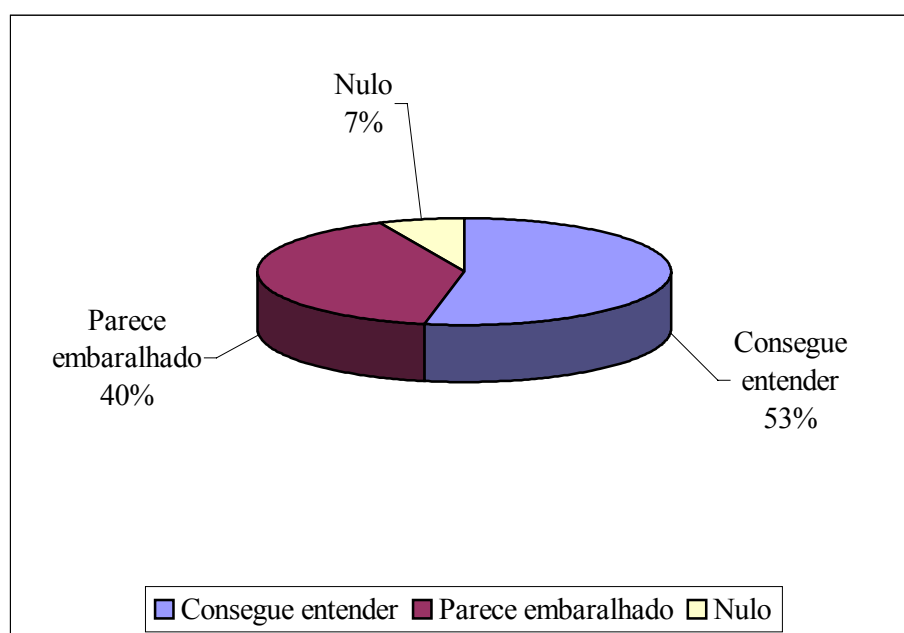


**Figura 31** – Resultados para pergunta: Com relação as fontes de ruído, são oriundas de onde?

Para 43% dos professores, os alunos reclamam que a sala de aula é muito ruidosa, o que compromete o aproveitamento escolar diretamente. (Figura 32). Já a figura 33, apresenta que os professores também têm grandes problemas de entendimento dos alunos quando são perguntados (43%), resultado parecido com o reportado pelos alunos (38%), e mais uma vez, um indicativo de baixa inteligibilidade.



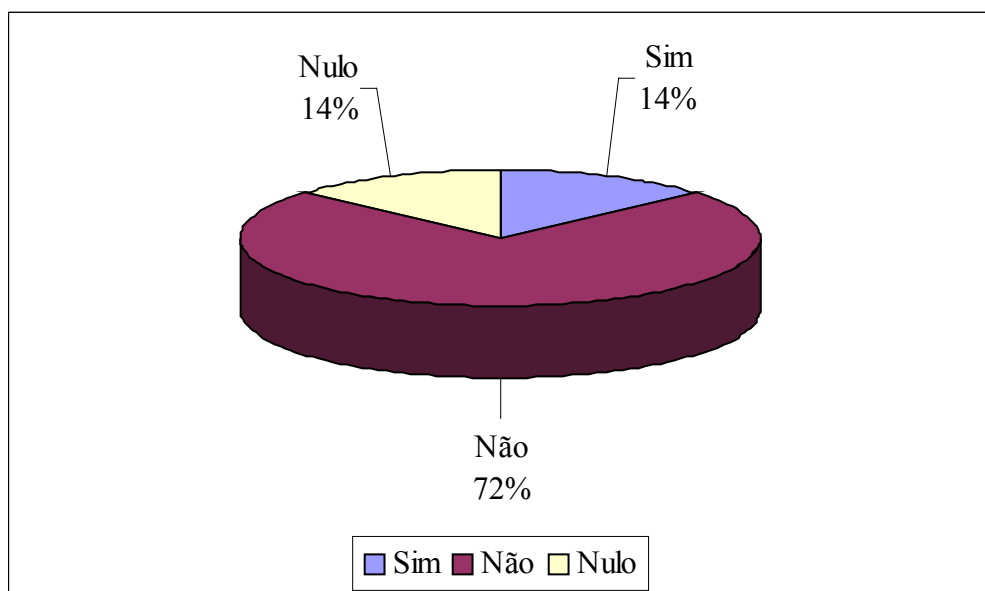
**Figura 32** – Resultados para pergunta: Os alunos reclamam que a sala de aula é barulhenta?



**Figura 33** – Resultados para pergunta: Quando um aluno faz uma pergunta o sr(a). consegue entender claramente o que está sendo dito ou o som parece embaralhado?

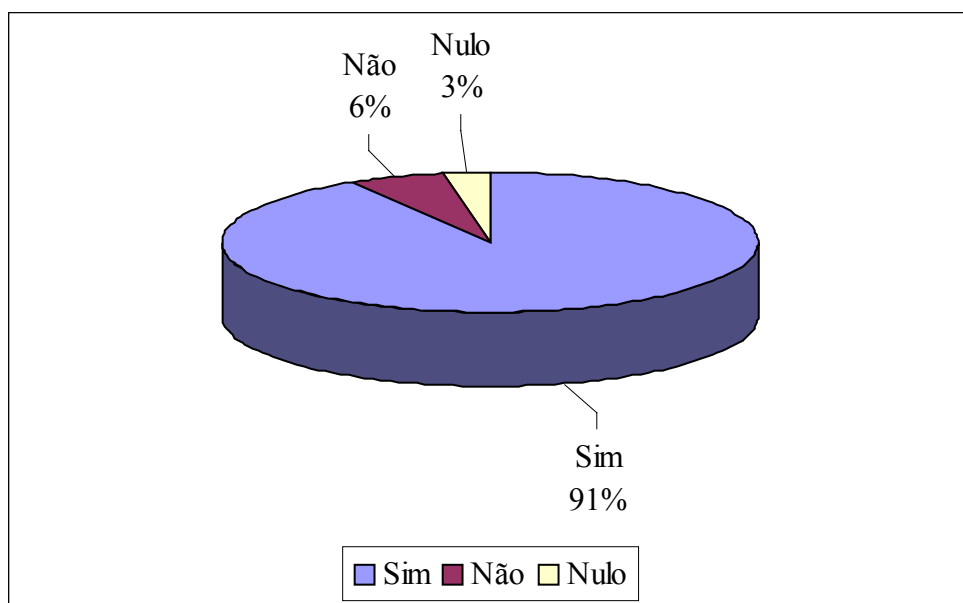
A Figura 34 mostra que os professores afirmaram que 14% dos alunos em suas aulas têm algum problema auditivo, colaborando então para uma maior dificuldade no aprendizado dos mesmo.

Esta percentagem é maior que aquela relatada pelos próprios alunos (Figura 33) onde apenas 2% admitem ter tais problemas.



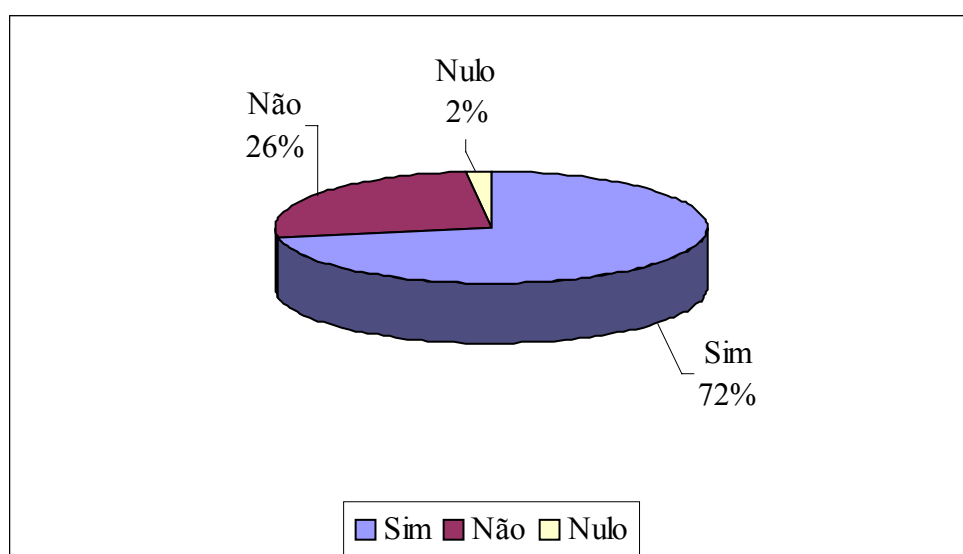
**Figura 34** – Resultados para pergunta: Existem alunos com deficiências auditivas em suas aulas?

Finalizando a série de perguntas em relação aos problemas auditivos, os mestres são quase unânimes em afirmar que o ruído influencia no aproveitamento escolar, pois 91% afirmaram positivamente (Figura 35). Comparando-se as respostas entre professores e alunos (Figura 28) para essa questão, percebe-se uma percentagem expressivamente maior de respostas afirmativas pelos professores. Considerando que estes são mais esclarecidos, pode-se concluir que os alunos não usaram essa pergunta como justificativa para baixo desempenho escolar.



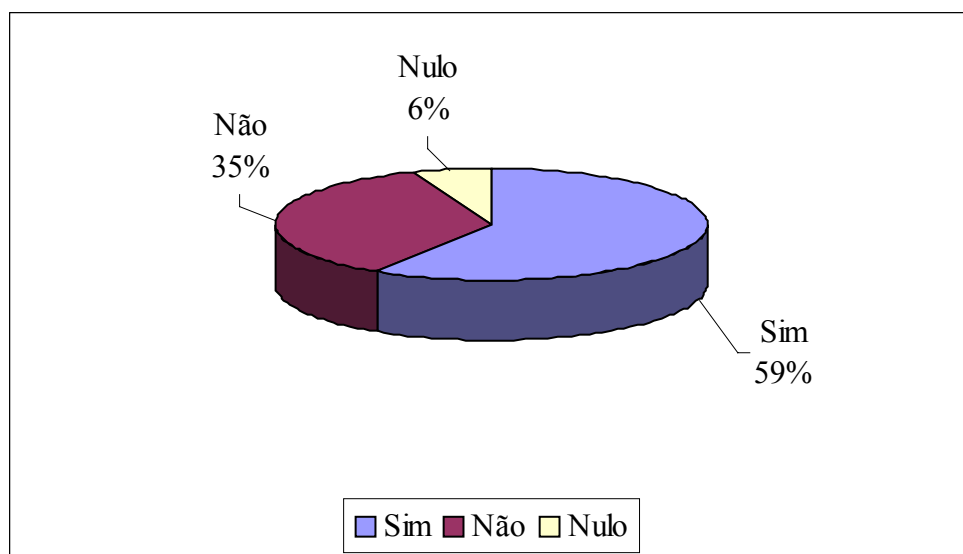
**Figura 35** – Resultados para pergunta: Na sua opinião, o ruído influencia no aproveitamento escolar?

Em relação aos problemas de origem vocal, a Figura 36 mostra que 72% dos entrevistados consideram necessário aumentar o tom de voz para lecionar. Esta necessidade invariavelmente traz problemas vocais, considerando que a voz é o principal instrumento de trabalho do professor. A Figura 37 confirma esta teoria, já que 59% dos professores já tiveram problemas vocais.



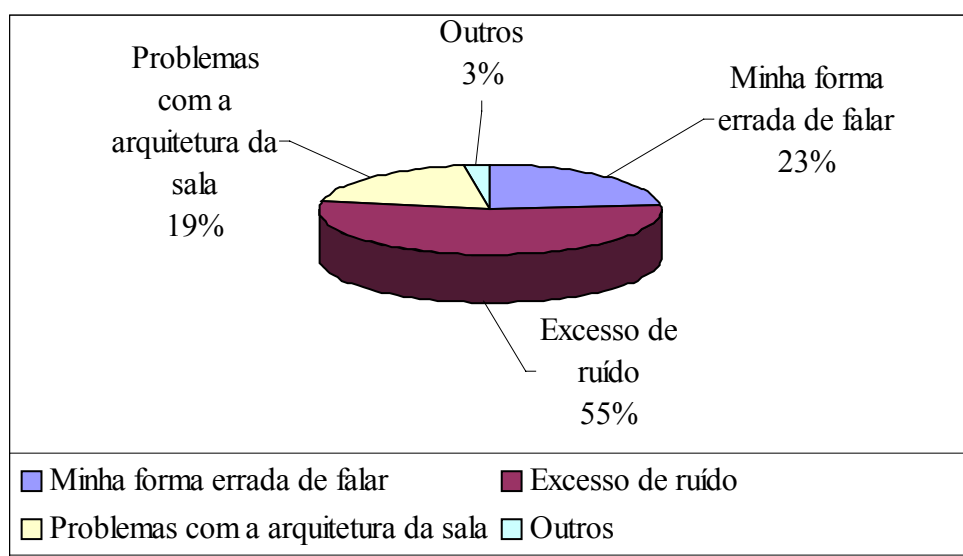
**Figura 36** – Resultados para pergunta: O sr(a). considera necessário aumentar o tom de voz para lecionar?





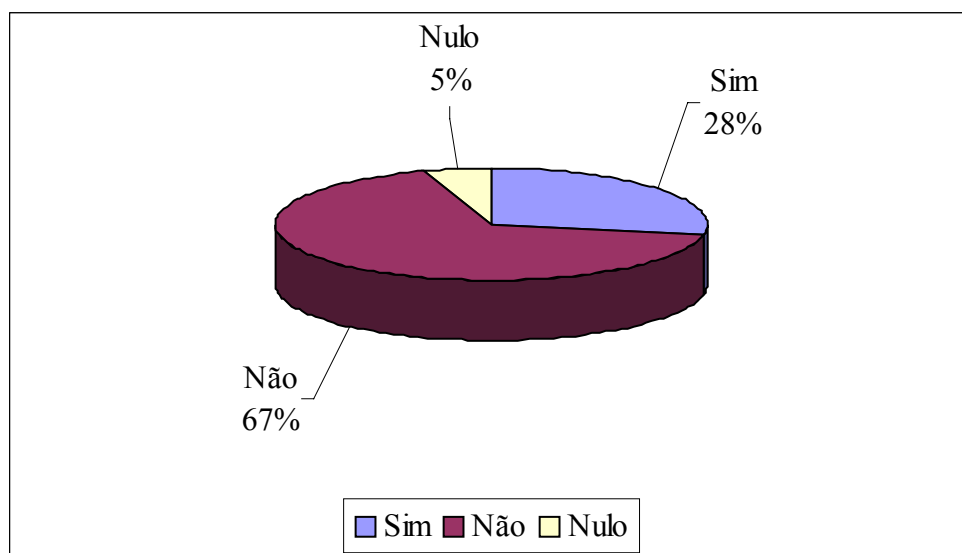
**Figura 37** – Resultados para pergunta: O sr(a) tem ou já teve problemas vocais em função do uso da voz como professor?

Ainda como causa dos problemas vocais, os mestres afirmaram, como mostrado na Figura 38, que o excesso de ruído é a principal causa (55%), seguido pela forma errada de falar (23%) e problemas com a arquitetura da sala (19%). Esta é uma importante informação, visto que a idéia disseminada de que apenas tratamentos fonoaudiológicos seriam responsáveis pela correção dos problemas, é desmistificada. Os problemas de excesso de ruído juntamente com problemas com a arquitetura são responsáveis por 74% das causas de problemas vocais segundo os professores.

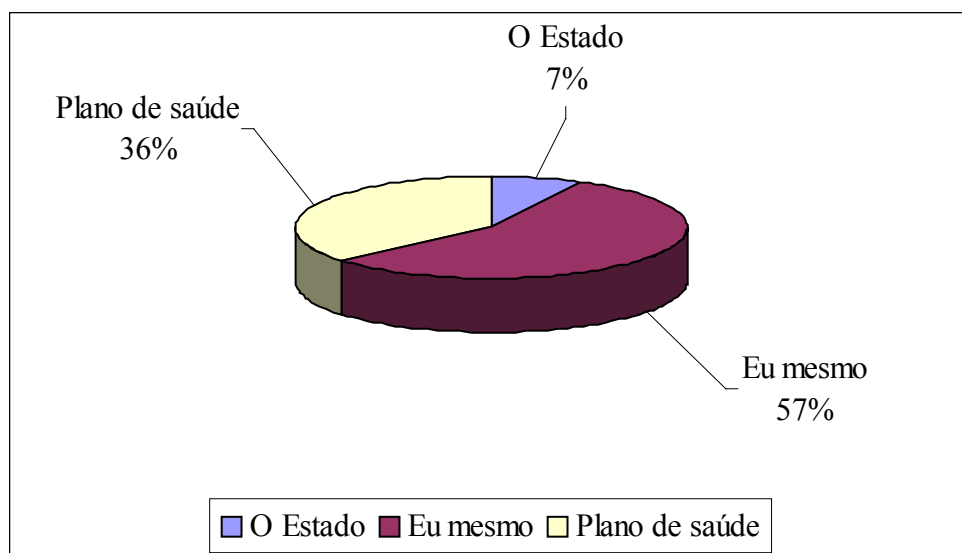


**Figura 38** – Resultados para pergunta: Na sua opinião, qual a causa dos seus problemas vocais?

Na Figura 39, é possível verificar que 28% já precisaram passar por tratamentos vocais, resultado bastante elevado, considerando que o Estado não é o principal responsável pelo financiamento deste tratamento, conforme Figura 40. A questão, então, se torna ainda mais crítica, pois o Estado é o responsável pela causa mas omite-se em arcar com as conseqüências.

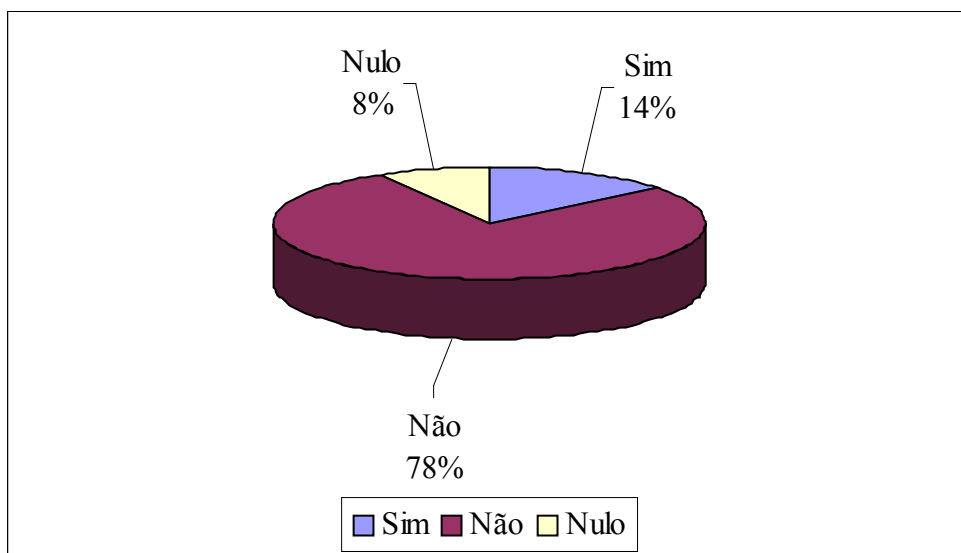


**Figura 39** – Resultados para pergunta: O sr(a). já precisou passar por tratamento em função de problemas vocais?

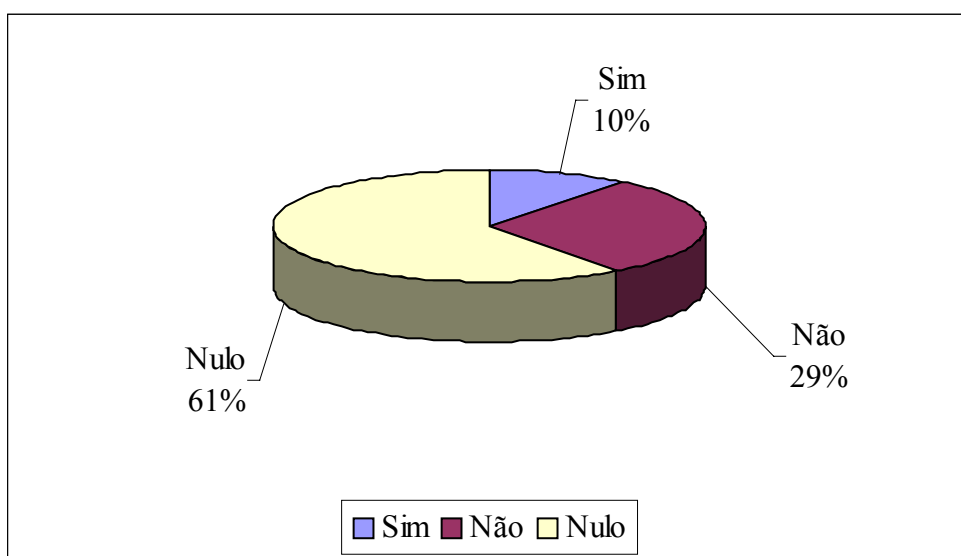


**Figura 40** – Resultados para pergunta: Quem financiou o seu tratamento?

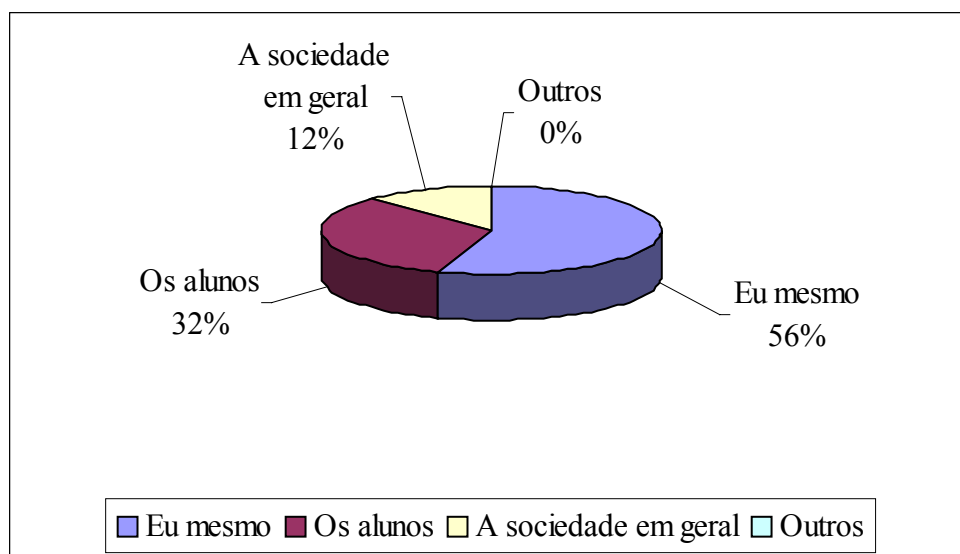
Por fim, as Figuras 41, 42 e 43 apresentam os resultados finais sobre as conseqüências dos problemas vocais dos professores e seus respectivos afastamentos, para si próprios, para os alunos e para a comunidade em geral.



**Figura 41** – Resultados para pergunta: O sr(a). já precisou pedir licença em função de problemas vocais?



**Figura 42** – Resultados para pergunta: Na sua opinião, houve prejuízo para os alunos em função de seu afastamento?



**Figura 43** – Resultados para pergunta: Na sua opinião, quem é o maior prejudicado pelos seus problemas vocais?

#### 5.4. Conclusões

Os resultados dos questionários aplicados junto aos alunos e professores demonstram que os mesmos tem a percepção de que as condições acústicas de suas escolas e salas de aula estão abaixo do desejado. Como afirmado por eles, a situação é bastante precária, confirmando os resultados das avaliações físico-construtivas que indicavam problemas nesse sentido. As respostas dos alunos e professores apontam resultados bastante parecidos entre si, o que se torna um dado importante, visto que diferentes classes de usuários dessas edificações têm opiniões semelhantes. O método de investigação e avaliação, através de questionários, é bastante subjetivo, mas torna-se preciso na medida que existem grandes similaridades dos resultados quando comparados com diferentes métodos de avaliação.

Um primeiro aspecto a concluir é que a grande maioria de alunos e professores conseguem ouvir sons e/ou ruídos oriundos de salas adjacentes. Isso mostra a baixa capacidade de isolamento entre os ambientes das escolas analisadas. Qualitativamente, os ambientes escolares são considerados barulhentos por pelo menos 42% dos usuários, porcentagem que pode ser considerada elevada. Dentre as possíveis causas estão, além da baixa capacidade de isolamento entre salas, a distribuição funcional não adequada espacialmente, colocando lado a lado

ambientes com requisitos de níveis sonoros mínimos antagônicos. Esse ponto já era antecipado pelos levantamentos físico-construtivos.

As fontes sonoras mais citadas por alunos e professores foram as salas próximas, pátios e corredores, seguidos das demais fontes levantadas pela revisão bibliográfica. Internamente, para 44% dos alunos a sala tem um comportamento diferenciado em relação a locais mais ou menos ruidosos, sendo o fundo da sala e locais próximos a portas e janelas os relatados como mais críticos.

Em relação a percepção auditiva há dificuldade que alunos e professores entendam uns aos outros em sala de aula. 38% dos alunos relataram que quando o professor está falando o som parece embaralhado e 40% dos professores responderam similarmente em relação a quando os alunos fazem perguntas. Esse é um indicativo de baixos índices de inteligibilidade em função de problemas acústico-arquitetônicos, já que apenas 2% dos alunos reportaram ter algum problema auditivo.

As conseqüências dos problemas e dificuldades de ordem auditiva podem aparecer como baixo aproveitamento escolar em função das dificuldades de inteligibilidade entre alunos e professores. Há altos níveis de ruído em sala, com conseqüente diminuição da razão S/R, bem como problemas com a arquitetura da sala, com elevados tempos de reverberação e de decaimento inicial.

Outra importante conclusão, agora no que diz respeito aos problemas vocais, é que 59% dos professores têm ou já tiveram problemas vocais em função do uso da voz profissionalmente. As causas apontadas pelos mesmos são o excesso de ruído (55%) e a arquitetura da sala (19%), que somados chegam a 74%. Os tratamentos fonoaudiológicos, apesar de ajudarem, não são suficientes para corrigir os problemas vocais dos professores, pois de nada adianta curá-lo e devolvê-lo ao mesmo ambiente que originou os problemas .

Assim, os elementos mais importantes causadores de problemas vocais são conseqüências diretas da atuação do projetista das edificações e não na falta dos fonoaudiólogos, como comumente se imagina. Por último, destaca-se que o Estado é o responsável pelo ambiente de trabalho de professores da rede estadual, propiciando, como constatado, espaços não adequados à atividade

de ensino. Entretanto, o Estado se ausenta das conseqüências que os problemas acústico-arquitetônicos causam, pois como relatado pelos mestres, apenas 7% dos professores que passaram por tratamentos foram financiados pelo Estado.

O capítulo 6 aborda as medições acústicas, nas quais, através de métodos objetivos, são quantificados os problemas acústicos aqui discutidos.

# Capítulo 6

## MEDIÇÕES ACÚSTICAS

### 6.1. Introdução

Para caracterizar a situação do ponto de vista acústico, foi planejado uma série de medições em determinadas escolas. As medições contaram com a colaboração do Laboratório de Acústica Ambiental – Industrial e Conforto Acústico do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná – UFPR, através do professor Dr. -Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin, que disponibilizou a instrumentação necessária para o trabalho. Estas medições objetivam quantificar os seguintes parâmetros acústicos:

- Nível de ruído de fundo –  $L_{eq A (3min.)}$  e  $NPS_{máximo}$
- Tempo de reverberação – TR
- Tempo de decaimento inicial – TDI

Devido a inviabilidade de se executar medições acústicas nas 39 escolas, selecionou-se um grupo de amostra das escolas. O critério adotado foi a seleção por tipologia arquitetônica da escola e características geométricas das salas de aula, juntamente com a disponibilidade da escola para realização das medições. Alguns diretores deixavam bastante clara o desejo de colaborar e de se realizar as medições em suas escolas. Desta forma, selecionaram-se cinco escolas para amostra, como apresentado na Tabela 11.

**Tabela 11** – Escolas selecionadas para medições acústicas.

Cód.	Região	Bairro	ESCOLA
7	2	Capoeiras	EEB Dayse Werner Salles
8	2	Capoeiras	EEB Edith Gama Ramos
17	3	Centro	EEB Lauro Muller
18	3	Centro	EEF Prof. Antonieta de Barros
28	5	Costeira	EEF Júlia da Costa Neves

No processo de seleção levaram-se alguns aspectos em consideração. A escola Edith Gama Ramos possui tipologia padrão 1, conforme capítulo 4, e as demais escolas possuem tipologias variadas em diferentes configurações. Assim, escolhendo escolas com tipologias distintas, espera-se avaliar as condições de ruído de fundo nas tipologias arquitetônicas existentes e diferentes fontes sonoras que influenciam nas salas de aula. Em relação as características das salas de aula, a escola Dayse Werner Salles possui salas com forma geométrica peculiar, semelhante a uma pirâmide de base quadrada em seu telhado, fato que levou a sua seleção para investigação do comportamento acústico, principalmente no que se refere a TR e TDI. As escolas Edith Gama Ramos e Julia da Costa Neves possuem salas de aula com planta padrão (6m x 8m) com grande proximidade de avenidas com grande fluxo de tráfego, sendo assim, relevante a análise do ruído de fundo. E as salas de aula das escola Lauro Muller e Antonieta de Barros possuem pé-direito elevado, características comuns das edificações mais antigas. Estas escolas estão entre as mais antigas analisadas, sendo interessante sua avaliação de TR e TDI. Assim, as escolas selecionadas configuram uma amostra bastante heterogênea, cujos resultados de medição comporão uma visão ampla das diversas condições acústicas das escolas. As características físicas das escolas e salas de aula selecionadas encontram-se nos Apêndices E à I.

## 6.2. Instrumentação

Os equipamentos de medição utilizados foram os seguintes:

- Medidor de Nível de Pressão Sonora com filtro de banda de 1/3 e 1/1 oitava, marca Briel & Kjaer, modelo Investigator BK 2260 D;
- Tripé para medidor;
- Microfone *free field* 1/2", marca Briel & Kjaer, modelo 4190;
- Protetor de vento para microfone, marca Briel & Kjaer, modelo UA 0237;
- Amplificador de potência, marca Briel & Kjaer, modelo 2716;
- Fonte sonora omnidirecional, marca Briel & Kjaer, modelo 4296;
- Tripé para fonte sonora;
- Calibrador acústico, marca Briel & Kjaer, modelo 4231;
- *Software Building Acoustics*, marca Briel & Kjaer, modelo BZ 7204.



Foi realizada a calibração do medidor de NPS antes das medições em cada escola. Após as medições, logo a seguir, era calibrado na escola seguinte.

As medições de ruído de fundo foram feitas no ponto central da sala, com  $L_{eq(A)}$  processado para 3 minutos de sinal, extraíndo-se também, o  $NPS_{máx}$  obtido, na opção *Fast*. O tempo de aquisição desse sinal foi determinado em função da análise de estudos similares e da compatibilização entre a disponibilidade da instrumentação e da escola.

Foram planejadas duas situações para medição de ruído de fundo que caracterizam-se respectivamente por serem a condição mais desfavorável (medição 1) e a mais favorável (medição 2). No primeiro caso, a porta e as janelas estão abertas e no segundo, fechadas. Assim, investigam-se diferentes condições de isolamento sonoro da sala. Ambas as medições foram feitas em momento de funcionamento normal, no período matutino ou vespertino, durante dia de semana. Outras configurações específicas das medições serão comentadas no item relativo de cada escola. Infelizmente, a disponibilidade da instrumentação era somente durante o mês de dezembro/2002, sendo assim, os ensaios em algumas escolas ocorreram após o término do ano letivo, todas entre os dias 11 e 12 de dezembro de 2002.

As medições de tempo de reverberação seguiram as indicações da norma ISO 3382 – *Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters* [131]. Foram medidos valores de TR em bandas de 1/3 de oitava, entretanto, utilizados somente valores para as frequências de 500, 1k e 2k Hz. Os TRs medidos são referentes a  $T_{20}$  ou  $T_{30}$ , conforme preconiza a norma ISO em questão. Isso significa que o TR é relativo a queda de 20 ou 30 dB, respectivamente, na curva de decaimento (-5 e -25 dB ou -5 e -35 dB), e não 60 dB como conceitualmente o TR é definido. Na seqüência multiplica-se o valor por 2 ou por 3, conforme o caso, para determinação do tempo de reverberação. Esse procedimento é adotado em função do nível de ruído de fundo ser alto, propiciando, então, a correta aquisição de dados.

Como padrão de medição para todas as salas em diferentes escolas, a fonte sonora foi locada na posição do professor, em frente ao quadro-negro. Os pontos de medição de TR foram distribuídos ao longo da sala, conforme consta em planta baixa nos Apêndices E à I. A altura do microfone foi mantida aproximadamente inalterada nas diversas escolas, em posição acima do ponto de recepção pelos ouvintes (aluno sentado), procurando a proximidade do centro da sala

no que diz respeito à altura. O microfone utilizado foi do tipo *free-field* sendo o disponível. O método de medição foi o de interrupção e, em cada ponto foram realizadas três leituras, para obtenção do valor médio. O sinal foi do tipo ruído rosa.

Por fim, os valores de TDI foram retirados das curvas de decaimento geradas pela medição de TR. Os valores de TDI são referentes a queda do NPS entre 0 e -10 dB [131]. Alguns valores medidos de TR e TDI foram considerados espúrios por possuírem diferença significativa dos demais valores, em frequências que não justificam comportamentos modais significativos. Esses, quando estiverem nas frequências avaliadas serão desconsiderados, para todas as medições nas diversas escolas, bem como curvas espúrias em todas as frequências.

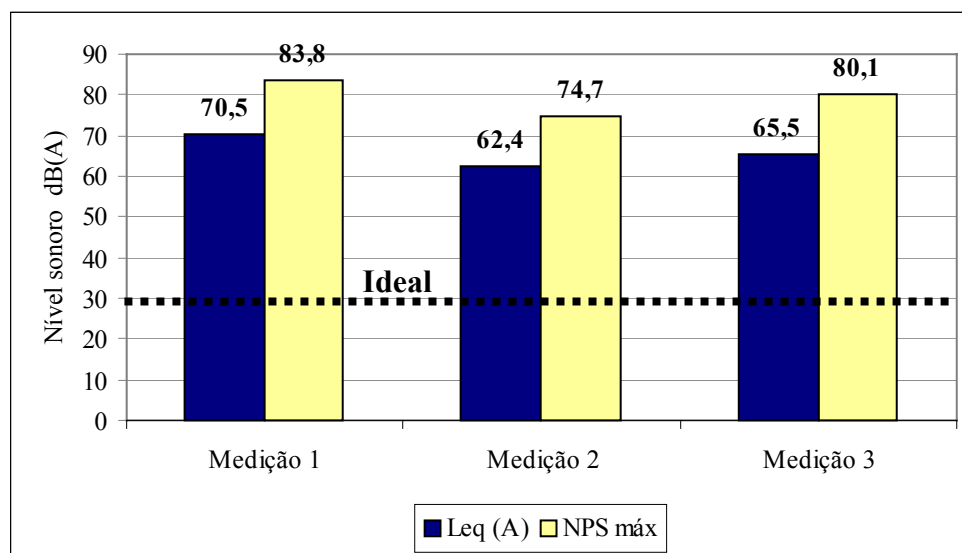
### **6.3. Análises dos resultados**

#### **6.3.1. Escola Dayse Werner Salles**

Na primeira escola avaliada, decidiu-se executar três medições de ruído de fundo, sendo na primeira e terceira com porta e janelas abertas. A segunda foi executada com porta e janelas fechadas. Os resultados, conforme a Figura 44, mostram uma pequena diferença entre as condições de utilização entre as medições 2 e 3, o que pode ser considerado normal, já que a janela ocupa uma grande dimensão de uma das paredes, os vidros são simples e alguns estão quebrados. Uma diferença um pouco maior é obtida entre as medições 1 e 2, mas ainda pequena considerando a necessidade de isolamento encontrada. A escola estava sendo utilizada para eventos recreativos, sendo bastante similar ao uso em condições de recreio. Assim, a principal fonte sonora para a sala parece ser a atividade recreativa, que estava ocorrendo no pátio e em algumas salas de aula adjacentes. Não há indícios de influência dos ruídos oriundos da avenida Ivo Silveira e da rua São Cristóvão, a menos que esses estejam mascarados pelo ruído da recreação. Os valores de  $NPS_{m\acute{a}x}$  indicam picos bastante altos, o que compromete a concentração em sala durante as aulas, bem como interrompendo o professor.

Portanto, os valores de ruído de fundo estão muito acima dos recomendados, sendo necessário, para o caso da medição 1, pelo menos 85 dB(A) de nível sonoro da voz do professor para poder lecionar nesta sala, garantindo-se, então, uma razão S/R de 15 dB(A). Considerando-se as

condições necessárias, portanto, é impossível obter uma situação satisfatória nesta sala, tanto acústica quanto vocal e auditiva, seja para professores ou alunos.

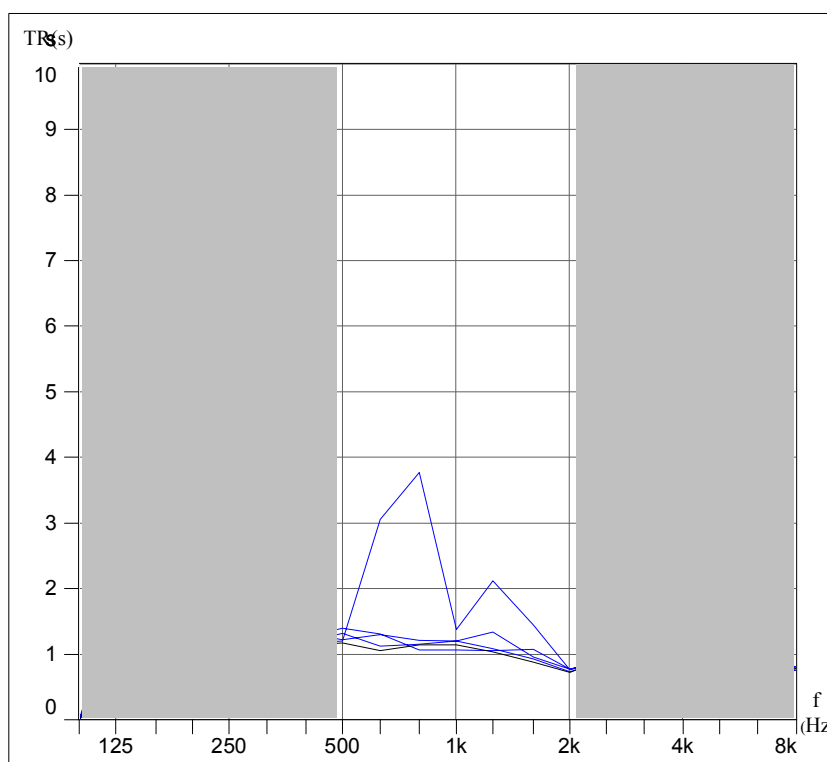


**Figura 44** – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Dayse W. Salles, em diferentes condições de isolamento da sala..

No que diz respeito as medições do tempo de reverberação, foram executadas em cinco pontos, com 15 pessoas na sala, caracterizando uma situação de uso normal com sala ocupada, conforme adotado pela norma ISO 3382. Os resultados estão apresentados na Tabela 12 e Figura 45 e mostram valores bastante elevados e acima do valor ideal de 0,5 s sugerido por BRALEY [15].

**Tabela 12** – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Dayse W. Salles.

Pto./ Freq.(Hz)	Dayse		TR
	500	1k	2k
1	1,40	1,06	0,77
2	1,32	1,20	0,77
3	1,22	1,20	0,73
4	1,20	1,38	0,76
5	1,17	1,14	0,72
<b>Média</b>	<b>1,26</b>	<b>1,20</b>	<b>0,75</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>0,02</b>



**Figura 45** – Valores de TR para cinco pontos medidos da escola Dayse W. Salles.

A Figura 45 apresenta as cinco curvas de TR medidas em pontos diferentes da sala. A região mais escura do gráfico está fora da faixa de frequência de interesse. Também, uma das curvas apresenta comportamento distinto das outras. Como, porém, tais valores ocorreram em frequências que não as consideradas nesse estudo, não foi adotado nenhum procedimento especial no tratamento dos dados relativos a essa curva.

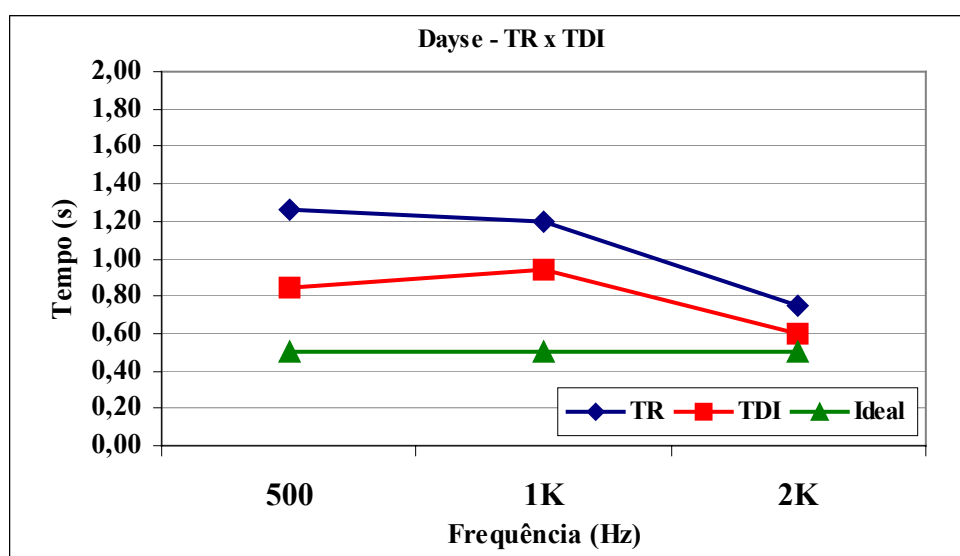
O comportamento geral das curvas apresenta uma situação quase linear nas bandas de frequência, o que pode ser uma consequência da distribuição sonora interna devido a forma geométrica do forro. O volume de  $190 \text{ m}^3$  pode ser considerado pequeno, e sendo assim, contrabalança com os materiais das superfícies que são refletores, para produção de um ambiente com TR e TDI acima do recomendado, mas ainda assim, não tão crítico quanto outras situações.

Os valores de tempo de decaimento inicial estão apresentados na Tabela 13. Para as frequências de 500 Hz e 1 kHz, ocorrem TDI acima do recomendado pela literatura, no capítulo 2. Já para a frequência de 2 kHz os valores se aproximam do ideal. Quanto ao desvio padrão, o comportamento foge um pouco do esperado, que é um menor espalhamento dos valores de TDI

em relação ao TR, pois o início da curva de decaimento, de um modo geral, tem comportamento mais regular que o final, onde o amortecimento dos modos, e os próprios modos em si tem comportamento mais destacado. A Figura 46 mostra a comparação dos valores de TR com TDI.

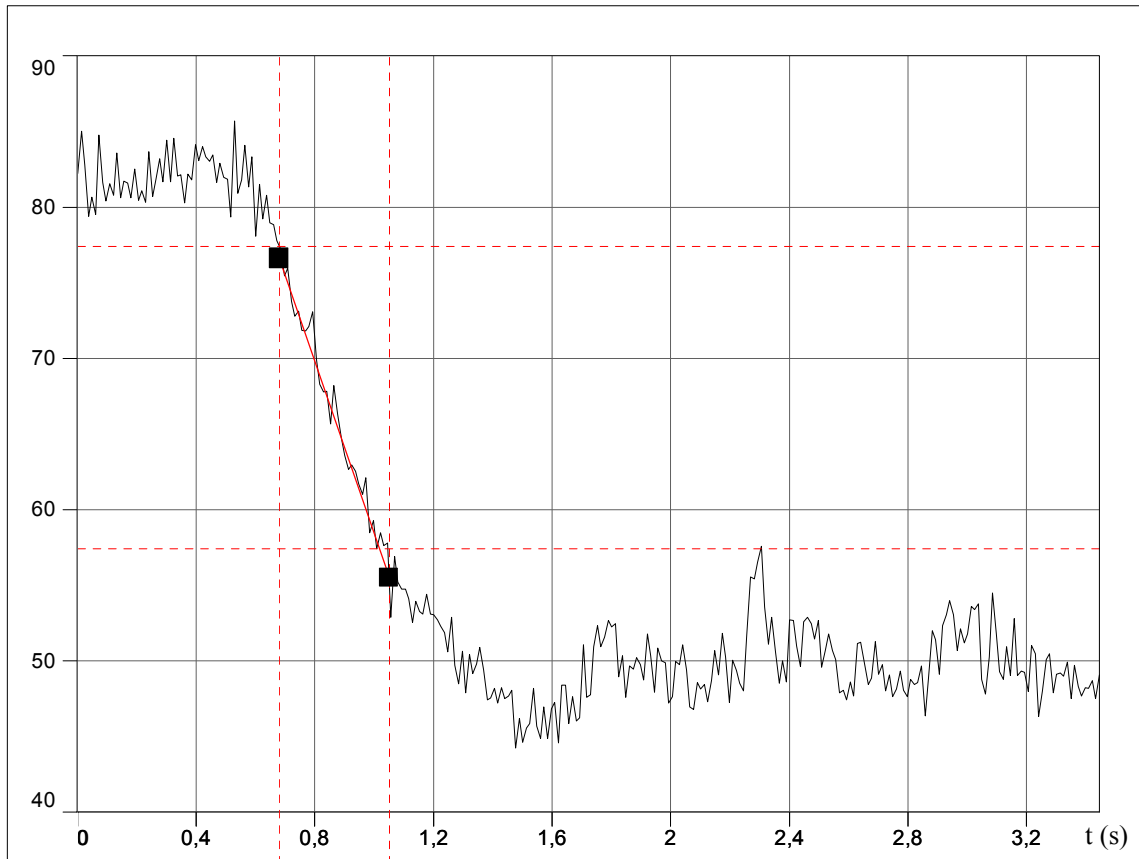
**Tabela 13** – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Dayse W. Salles.

Pto./ Freq.(Hz)	Dayse		TDI	
	500	1k	1k	2k
1	0,72	1,01		0,58
2	0,65	0,93		0,62
3	1,17	1,02		0,67
4	1,01	0,84		0,53
5	0,64	0,90		0,60
<b>Média</b>	<b>0,84</b>	<b>0,94</b>		<b>0,60</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,24</b>	<b>0,08</b>		<b>0,05</b>



**Figura 46** – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Dayse W. Salles.

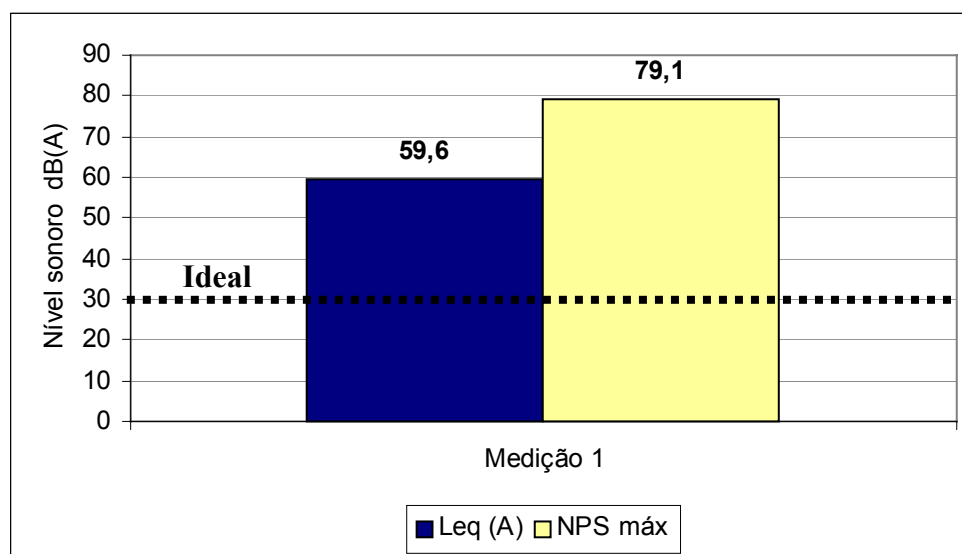
A título ilustrativo, a Figura 47 apresenta uma curva de decaimento sonoro de um dos pontos para a frequência de 1 kHz. A reta na diagonal mostra a região utilizada para levantamento do TR.



**Figura 47** – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1 kHz da escola Dayse W. Salles.

### 6.3.2. Escola Edith Gama Ramos

Os valores medidos de ruído de fundo para a sala de aula dessa escola estão apresentados na Figura 48. Foi realizado uma medição com a situação de porta e janelas abertas e ventilador ligado e, excepcionalmente, estava ocorrendo uma chuva leve. O resultado mostra que o valor de 59,6 dB(A) está elevado para uma sala de aula, conseqüência natural de sua posição no terreno, já que ela encontra-se a apenas pouco mais de 6 metros de uma importante avenida com grande fluxo de tráfego, dela separada apenas por um muro. Ainda, no entorno próximo existe um ponto de ônibus, o que piora a situação, já que ruídos de frenagens e acelerações de ônibus influenciam fortemente no ruído de fundo para a sala de aula. Apesar da medição ter ocorrido com chuva, ela não deve ser desconsiderada, já que essa é uma situação possível de ocorrer na prática. É necessário, portanto, também a previsão dessa condição. Os ensaios ocorreram em período de férias, não existindo portanto, fontes sonoras internas à escola.



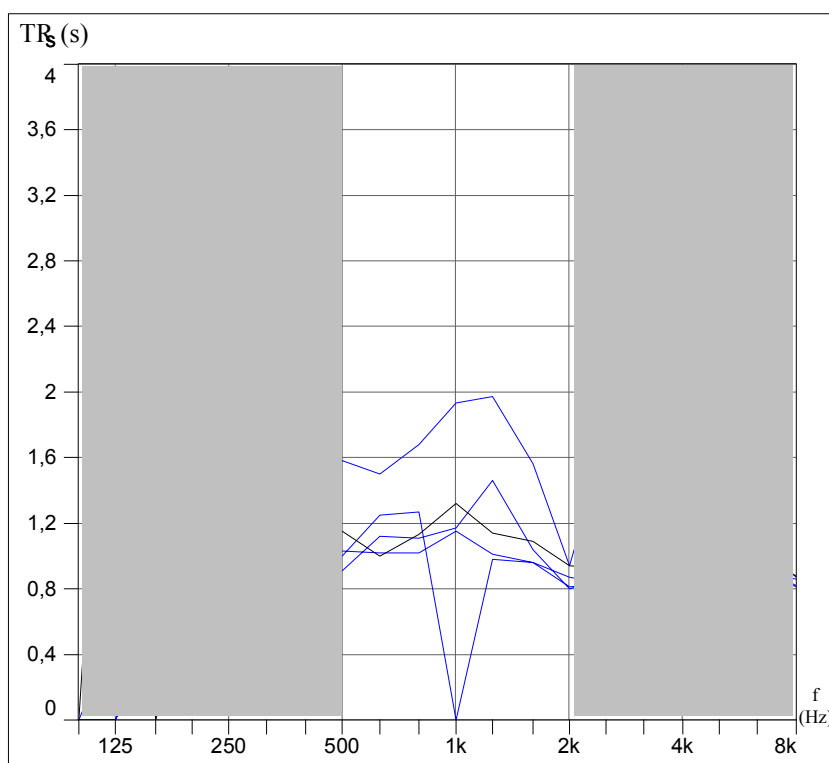
**Figura 48** – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Edith G. Ramos.

As medições do TR, cujos resultados encontram-se na Tabela 14, contaram com a seguinte condição: porta e janelas abertas e sala ocupada apenas pelos operadores da instrumentação. O valor no ponto 4 para 1 kHz foi excluído da média, pois a instrumentação não conseguiu processar o sinal. Os tempos de reverberação encontrados estão acima do recomendado, como apresentado na Figura 49, assim como os tempos de decaimento inicial, conforme Tabela 15.

Assim como no caso do TR, o valor do ponto 4 também foi desconsiderado. A comparação entre esses parâmetros estão apresentados na Figura 50.

**Tabela 14** – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Edith G. Ramos.

Pto./ Freq.(Hz)	Edith	TR	
	500	1k	2k
1	1,03	1,15	0,81
2	1,58	1,93	0,94
3	0,91	1,17	0,80
4	1,00	espúrio	0,87
5	1,15	1,32	0,94
<b>Média</b>	<b>1,13</b>	<b>1,39</b>	<b>0,87</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,26</b>	<b>0,37</b>	<b>0,07</b>



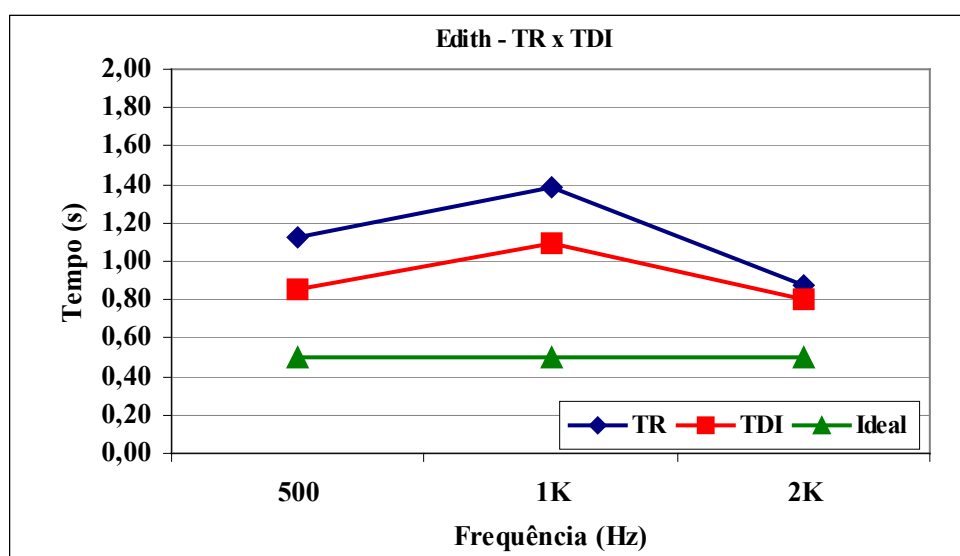
**Figura 49** – Valores de TR para cinco pontos medidos da escola Edith G. Ramos



Ampliando-se a análise e incluindo-se toda a faixa de frequência medida, observa-se que os valores na baixa frequência possuem diferenças significativas entre os pontos. Esse fato pode ser justificado, talvez, pelas características geométricas da sala. O pé direito baixo (2,93 m), o volume pequeno (145 m<sup>3</sup>) e a situação de porta e janelas abertas são significativos para propiciar um ambiente pouco difuso, refletindo-se nos valores díspares de TR. Essa situação é característica não somente na baixa frequência mas ao longo de todo o espectro de frequência.

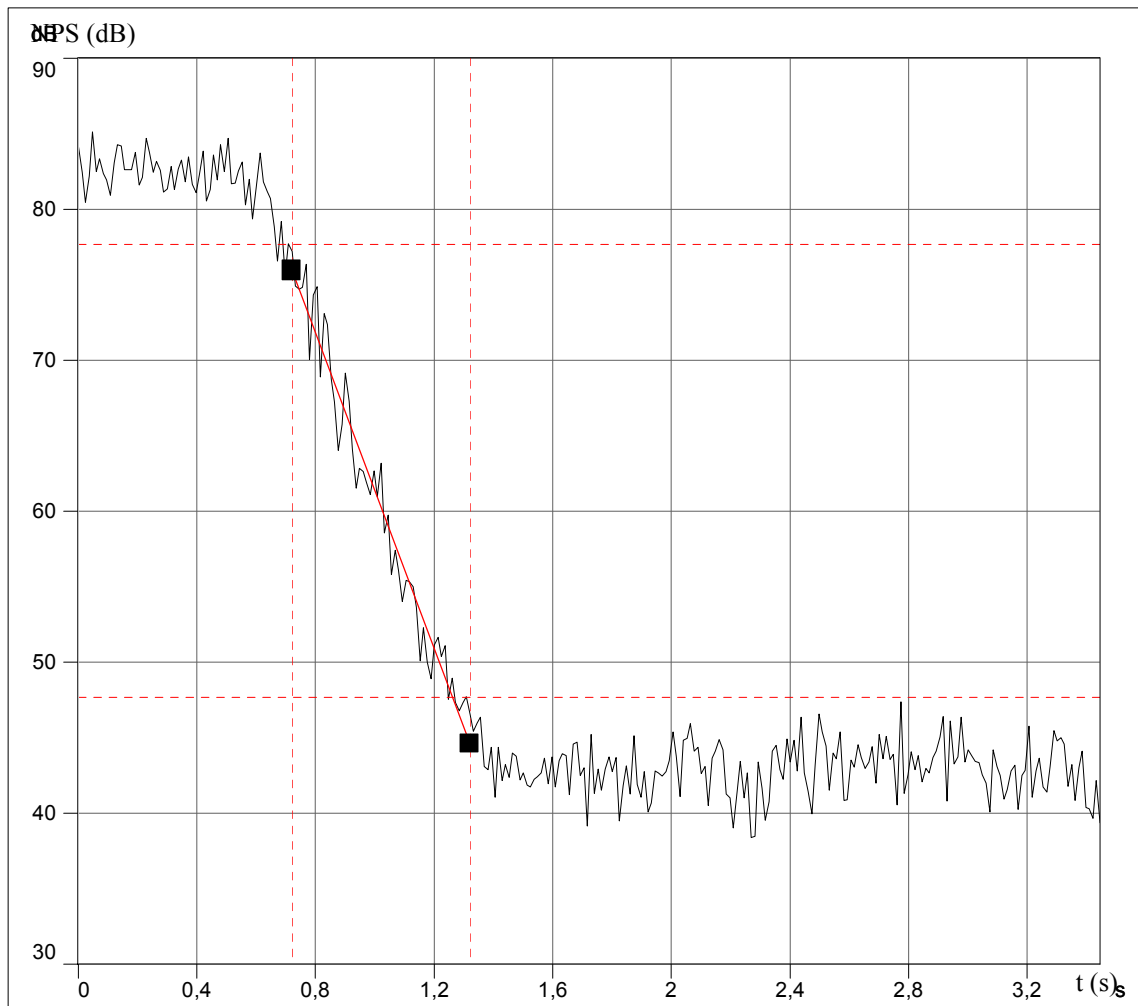
**Tabela 15** – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Edith G. Ramos.

Pto./ Freq.(Hz)	Edith	TDI	
	500	1k	2k
1	0,80	0,92	0,84
2	0,97	1,10	0,77
3	0,79	1,15	0,74
4	0,84	espúrio	0,80
5	0,84	1,19	0,88
<b>Média</b>	<b>0,85</b>	<b>1,09</b>	<b>0,81</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,07</b>	<b>0,12</b>	<b>0,06</b>



**Figura 50** – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Edith G. Ramos.

A Figura 51 apresenta a curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1 kHz.

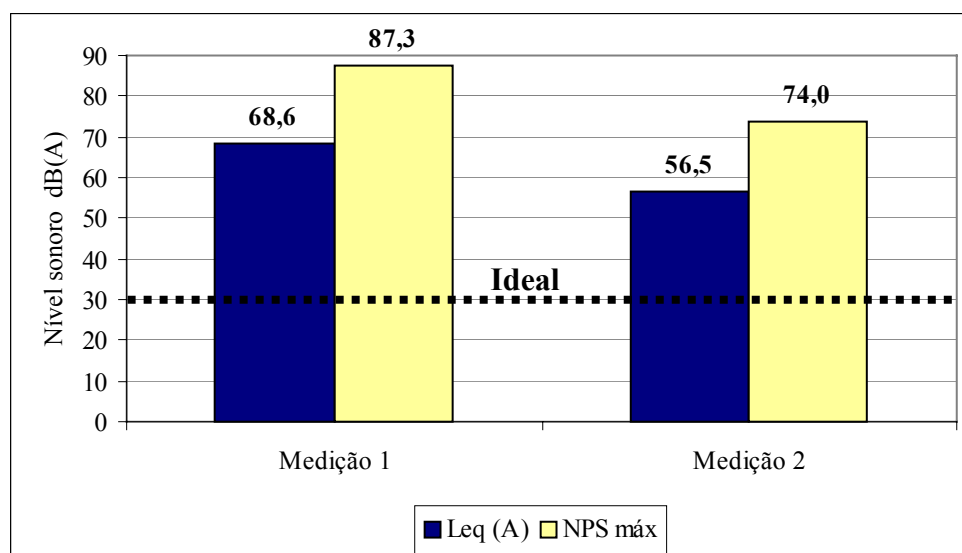


**Figura 51** – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1kHz da escola Edith G. Ramos.

### 6.3.3. Escola Lauro Muller

Os valores medidos de ruído de fundo encontram-se na Figura 52. As condições de utilização foram as seguintes: para a primeira medição, uma porta e as janelas estavam abertas. Para a segunda medição, todas estavam fechadas. A escola não estava em seu funcionamento normal, pois os alunos já estavam em férias. Também, acrescenta-se que havia uma máquina de lavagem à pressão ligada no pátio coberto a aproximadamente 15 metros da sala. Apesar de ser um fato excepcional, ele pode ocorrer durante o período normal das aulas e, portanto, o grau de isolamento sonoro das salas deve atender a essas condições.

Os valores são elevados e a diferença entre as medições pode ser considerada significativa, colaborando para propiciar uma melhor condição em dias com temperaturas mais amenas que não necessitem todas as janelas abertas. De qualquer maneira, os valores apontam para uma situação longe da ideal. Para uma melhor avaliação, deveria se repetir estas medições no período normal de aula.



**Figura 52** – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Lauro Muller, em diferentes condições de isolamento da sala.

As condições de medição para o TR e TDI da sala foram com porta e janelas abertas, para as medições de 1 à 5 e portas e janelas fechadas para a sexta medição, conforme Tabelas 16 e 17. A sexta medição foi executada a título de comparação entre uma situação normal de uso (medições

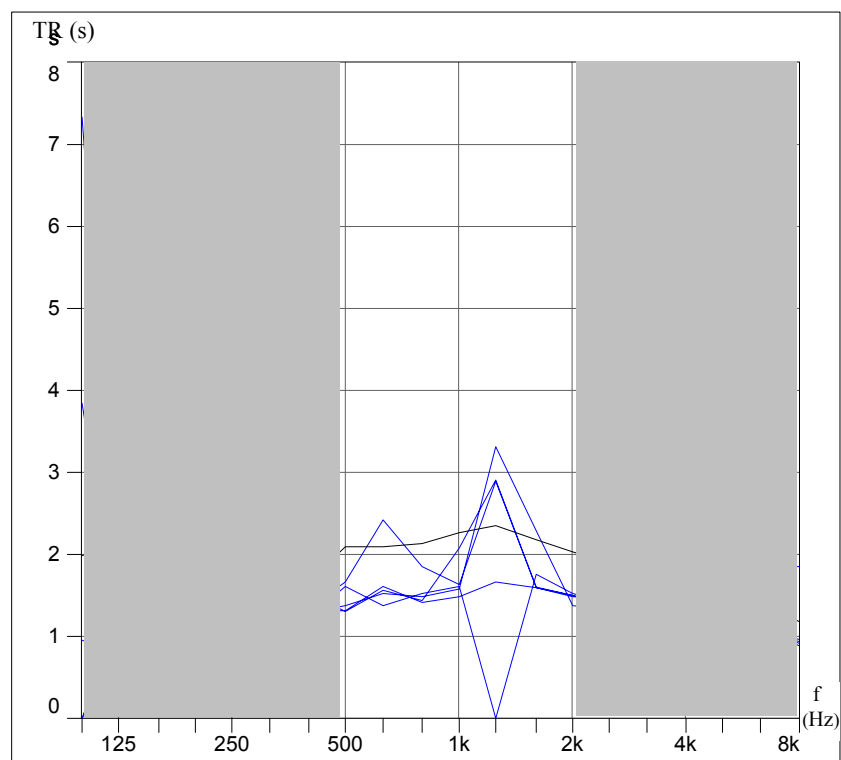
1 à 5) e uma possível situação de uso durante dias mais frios no inverno, onde tudo se encontraria fechado. A ocupação da sala foi apenas com os operadores da instrumentação. Todos os valores estão acima do admitido, conferindo uma situação muito precária e inadequada de utilização.

**Tabela 16** – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Lauro Muller.

<b>Pto./ Freq.(Hz)</b>	<b>Lauro</b>		<b>TR</b>	
	<b>500</b>	<b>1k</b>	<b>2k</b>	
<b>1</b>	1,37	1,58	1,37	
<b>2</b>	1,30	2,08	1,50	
<b>3</b>	1,61	1,61	1,52	
<b>4</b>	1,31	1,48	1,48	
<b>5</b>	1,66	1,63	1,50	
<b>Média</b>	<b>1,45</b>	<b>1,57</b>	<b>1,47</b>	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,17</b>	<b>0,23</b>	<b>0,06</b>	
<b>6</b>	2,09	2,26	2,03	

Na Figura 53 são mostrados os valores medidos de TR para seis pontos. A sala possui pé direito bastante alto (4,65 m), e possui, o maior volume entre as salas analisadas. Essas características, somadas aos materiais de revestimento reflexivos, conferem os valores de TR e TDI mais altos do estudo. Também, como esperado, a medição 6 apresentou os maiores valores, pois é a situação onde a energia sonora leva mais tempo para se dissipar, já que grandes áreas de absorção (janelas abertas) foram transformadas em áreas de reflexão quando fechadas.

Assim como na escola Dayse W. Salles, há resultados que poderiam ser considerados espúrios em certas frequências que não fazem parte da análise. Assim, foram mantidos os valores para essas curvas nas frequências de interesse. A figura 54 apresenta a comparação entre TR e TDI e a Figura 55 mostra uma curva de decaimento sonoro no para a frequência de 1 kHz.



**Figura 53** – Valores de TR para seis pontos medidos da escola Lauro Muller.

**Tabela 17** – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Lauro Muller.

	<b>Lauro</b>		<b>TDI</b>	
<b>Pto./ Freq.(Hz)</b>	<b>500</b>	<b>1k</b>	<b>2k</b>	
<b>1</b>	1,54	1,08	1,38	
<b>2</b>	1,08	1,41	1,13	
<b>3</b>	0,90	1,33	1,39	
<b>4</b>	0,90	1,59	1,08	
<b>5</b>	0,98	1,10	1,17	
<b>Média</b>	<b>1,08</b>	<b>1,30</b>	<b>1,23</b>	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,27</b>	<b>0,22</b>	<b>0,15</b>	

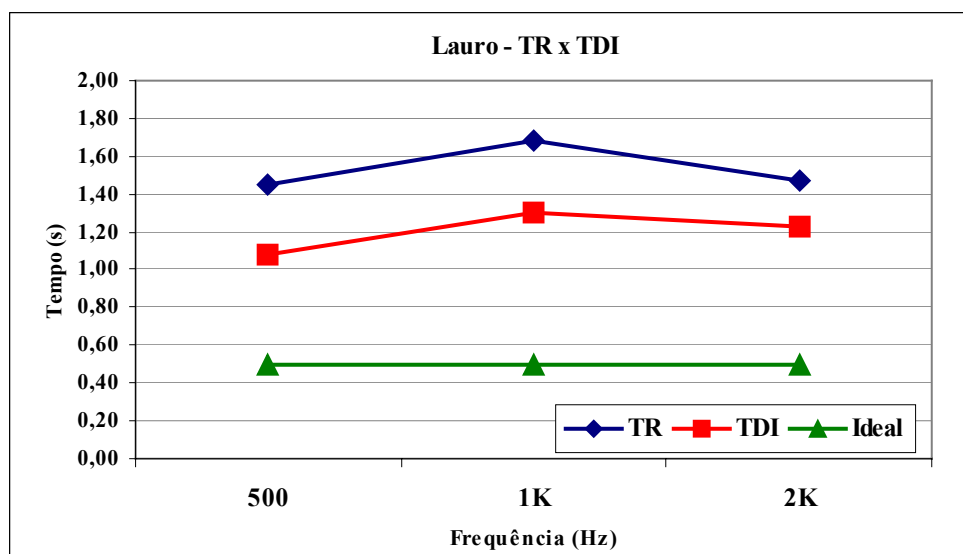


Figura 54 – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Lauro Muller.

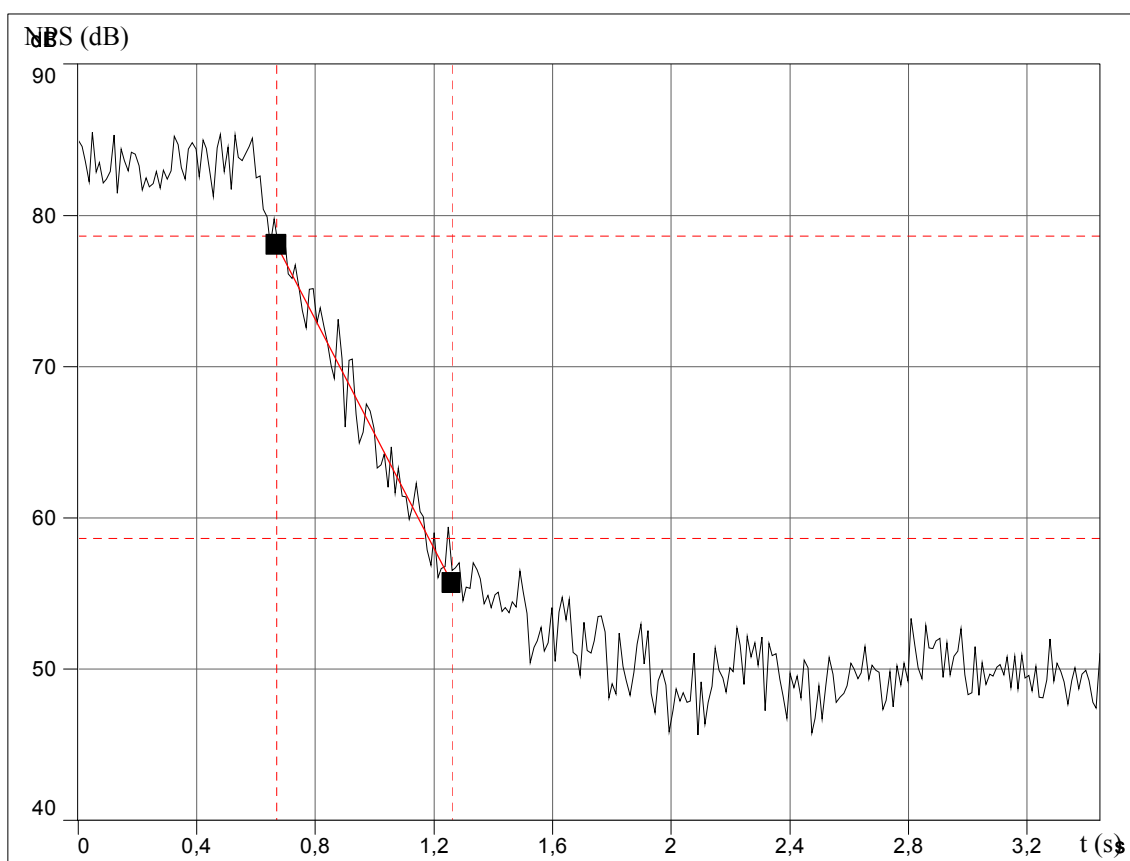
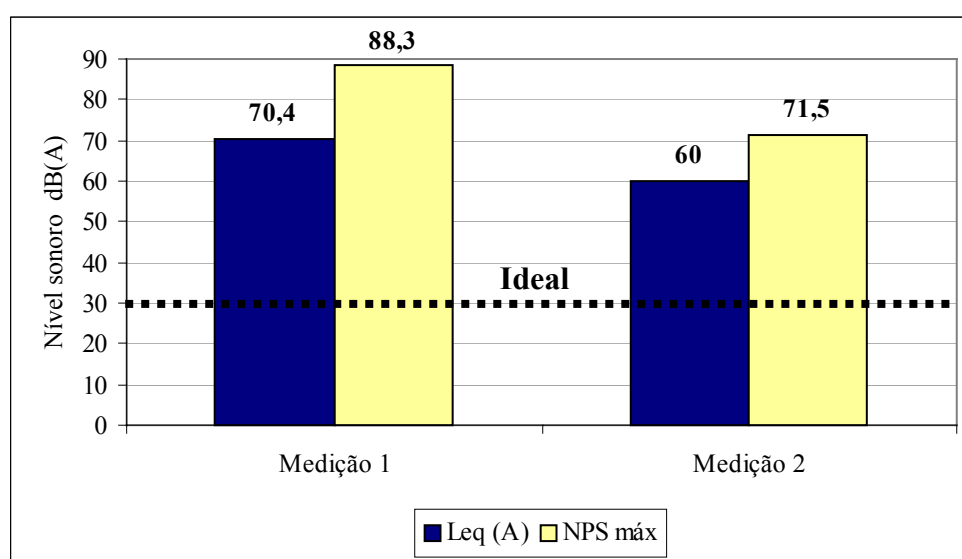


Figura 55 – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1kHz da escola Lauro Muller.

### 6.3.4. Escola Antonieta de Barros

Para determinação do ruído de fundo foram feitas duas medições. Na primeira, a porta e as janelas estavam abertas e, na segunda, fechadas. No momento de ambas as medições estava ocorrendo o recreio, com o uso do pátio interno e a quadra externa, que também serve como área de recreação. Os valores medidos, apresentados na Figura 56, estão bastante elevados e fora do padrão aceitável. Apesar de ser um momento em que não havia aula devido ao recreio, a avaliação pessoal do autor sobre o nível de ruído, é que este era bastante similar ao encontrado com o uso da quadra para aula de educação física, minutos antes, ao mesmo tempo em que haviam atividades normais nas salas de aula. Assim, o nível de ruído de fundo encontrado na sala de aula torna-a proibitiva ao uso. Os valores de  $NPS_{máx}$  chegam à níveis de valores tratados pelo ruído ocupacional.



**Figura 56** – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Antonieta de Barros, em diferentes condições de isolamento da sala..

Os dados de TR e TDI mostram valores muito elevados (Tabelas 18 e 19, respectivamente), o que já era esperado em função do pé-direito alto e dos materiais refletores sonoros empregados nas superfícies internas. A medição contou com a presença de 11 alunos, sendo considerada ocupada. Mesmo com uma quantidade baixa de pessoas, considerou-se a sala ocupada, pois diversas turmas desta escola são pequenas. A porta e as janelas estavam abertas.

**Tabela 18** – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Antonieta de Barros.

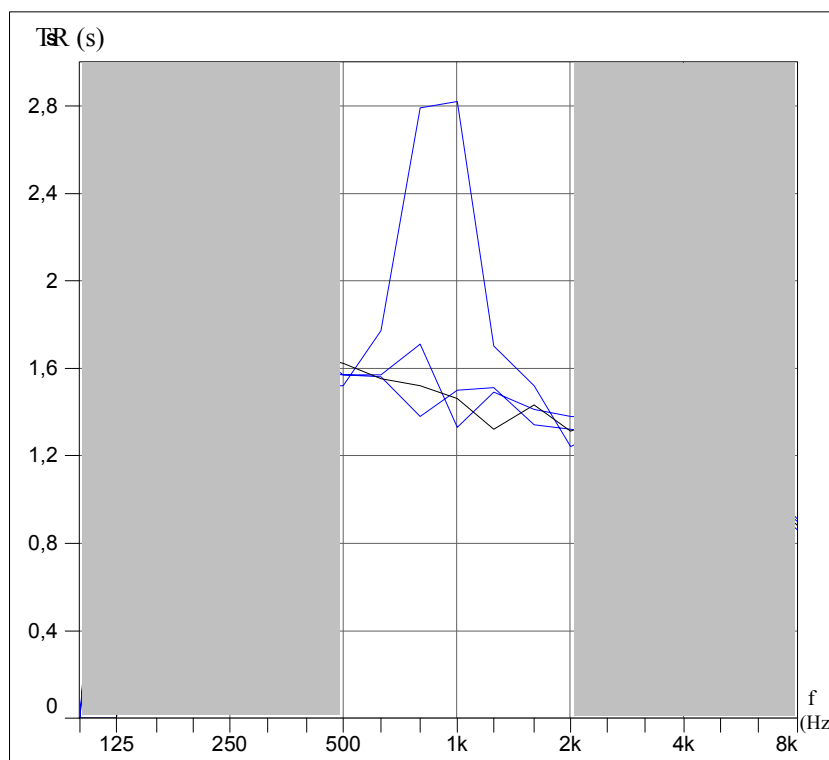
<b>Pto./ Freq.(Hz)</b>	<b>Antonieta</b>		<b>TR</b>	
	<b>500</b>	<b>1k</b>	<b>2k</b>	
<b>1</b>	espúrio	espúrio	espúrio	
<b>2</b>	1,57	1,50	1,32	
<b>3</b>	1,57	1,33	1,38	
<b>4</b>	1,62	1,46	1,31	
<b>Média</b>	<b>1,59</b>	<b>1,43</b>	<b>1,34</b>	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,03</b>	<b>0,09</b>	<b>0,04</b>	

As Figuras 57, 58 e 59 apresentam respectivamente: os valores de TR medidos em quatro pontos para diferentes bandas de frequências, a comparação do TR com o TDI e uma curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1 kHz.

Da análise da Figura 57, pode-se perceber um comportamento decrescente em relação ao tempo à medida que cresce a frequência. Essa característica ocorre pela primeira vez entre as salas avaliadas e significa que as frequências mais altas estão sendo mais absorvidas do que as baixas, fato esperado. Esse é o comportamento da curva em ambientes com melhores condições de distribuição sonora. O pé-direito alto (3,80 m) e o volume significativo (182,4 m<sup>3</sup>) contribuem para isso. A curva que apresentou valor próximo a 2,8 s para 1 kHz foi descartada.

Assim como as demais salas de aula avaliadas, esta não apresenta boas condições acústicas. Entretanto, o que a difere das outras é que esta escola acabou de passar por uma reforma geral em suas instalações, apresentando, agora, ótima aparência. O aspecto negativo é que embora tenha sido renovada, a qualidade acústica não foi incorporada na reforma, resultando, assim, em gastos não aplicados em busca de um melhor ambiente acústico.





**Figura 57** – Valores de TR para quatro pontos medidos da escola Antonieta de Barros.

**Tabela 19** – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Antonieta de Barros.

Pto./ Freq.(Hz)	Antonieta		TDI	
	500	1k	1k	2k
1	espúrio	espúrio	espúrio	espúrio
2	1,44	1,13	1,13	1,10
3	1,04	1,15	1,15	1,04
4	0,94	0,95	0,95	1,26
<b>Média</b>	<b>1,14</b>	<b>1,08</b>	<b>1,08</b>	<b>1,13</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,26</b>	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>

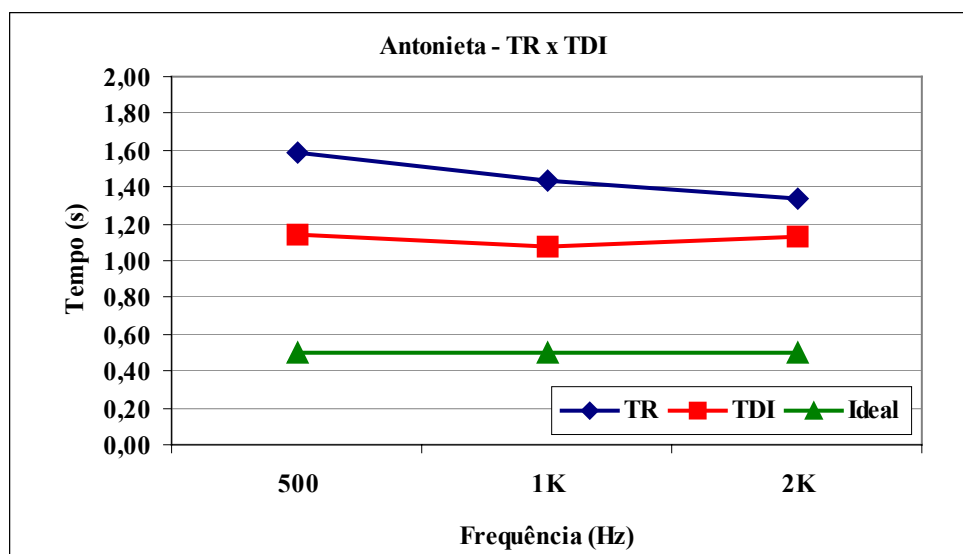


Figura 58 – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Antonieta de Barros.

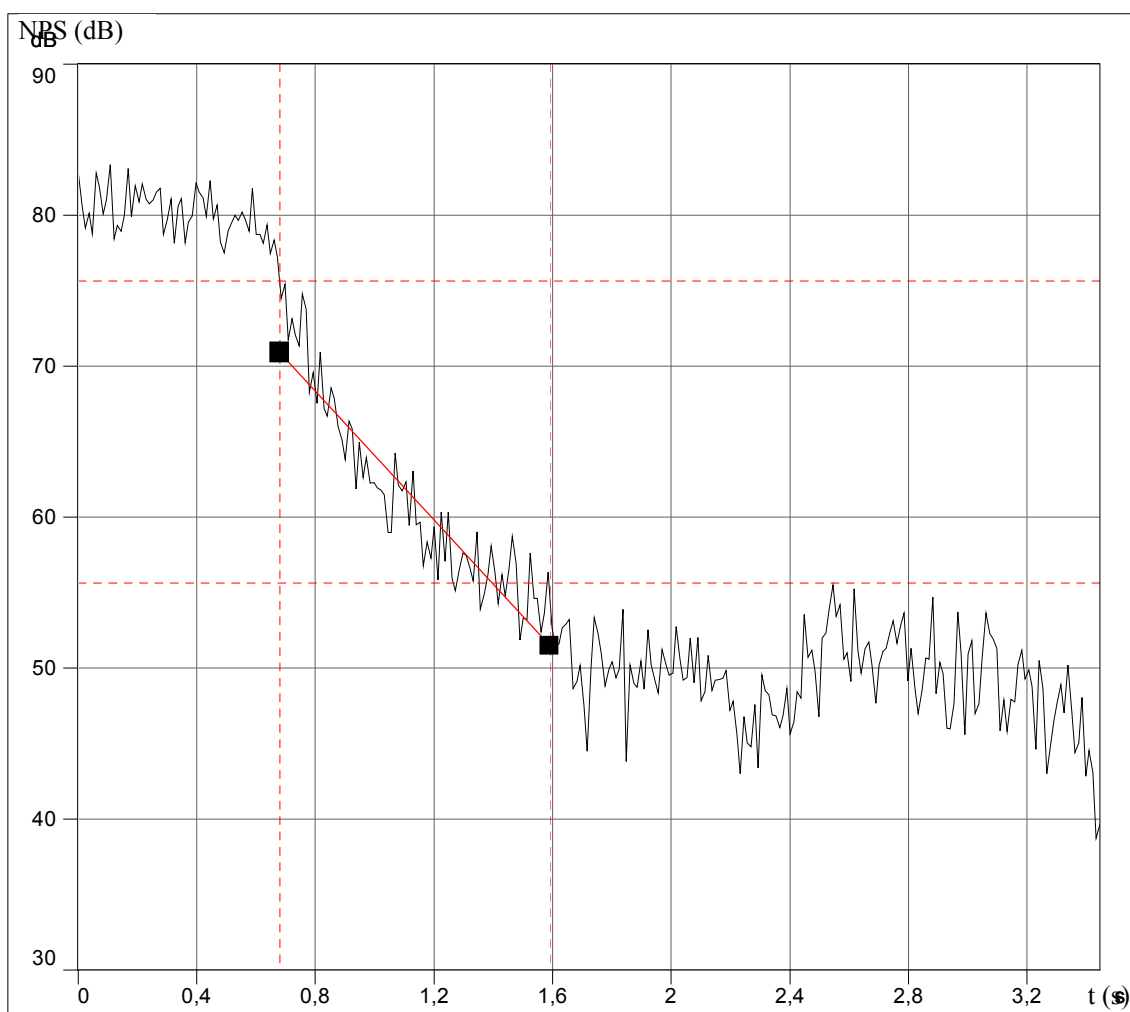
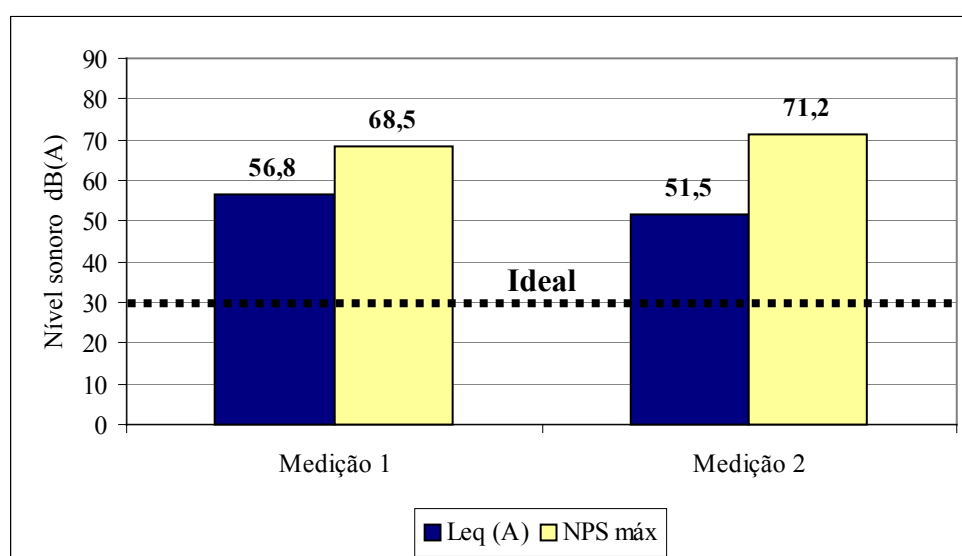


Figura 59 – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1kHz da escola Antonieta de Barros.

### 6.3.5. Escola Júlia da Costa Neves

A última sala de aula avaliada foi na escola Júlia da Costa Neves. Essa sala apresentou os menores valores de ruído de fundo dentre as cinco salas das diferentes escolas avaliadas. Entretanto, como todas as demais, os valores são elevados, conforme apresentado na Figura 60. Esta sala tem características semelhantes à sala avaliada na escola Edith Gama Ramos, que está locada próxima a uma avenida de grande fluxo de tráfego, mas, agora, existe maior proximidade. Comparando-se com a escola citada, os menores valores para essa sala podem ser justificados devido ao menor fluxo de tráfego dessa avenida, que possui apenas duas faixas de rolamento, enquanto a outra possui quatro faixas. A primeira medição foi executada com porta e janelas abertas e a segunda com porta e janelas fechadas. Durante as medições, havia apenas atividades administrativas na escola, pois já era período de férias. A pequena diferença mostrada entre os valores das diferentes medições, indica a baixa capacidade de isolamento sonoro das janelas.

Nesta escola, a fonte sonora que mais contribuiu foi o ruído de tráfego provindo da avenida. Uma situação mais crítica pode acontecer, com o uso da quadra no centro da escola, durante aulas de educação física. Como a escola já estava em período de férias não foi possível quantificar a influência de ambas as fontes, então, uma futura avaliação que as considere é sugerida para estudos complementares.



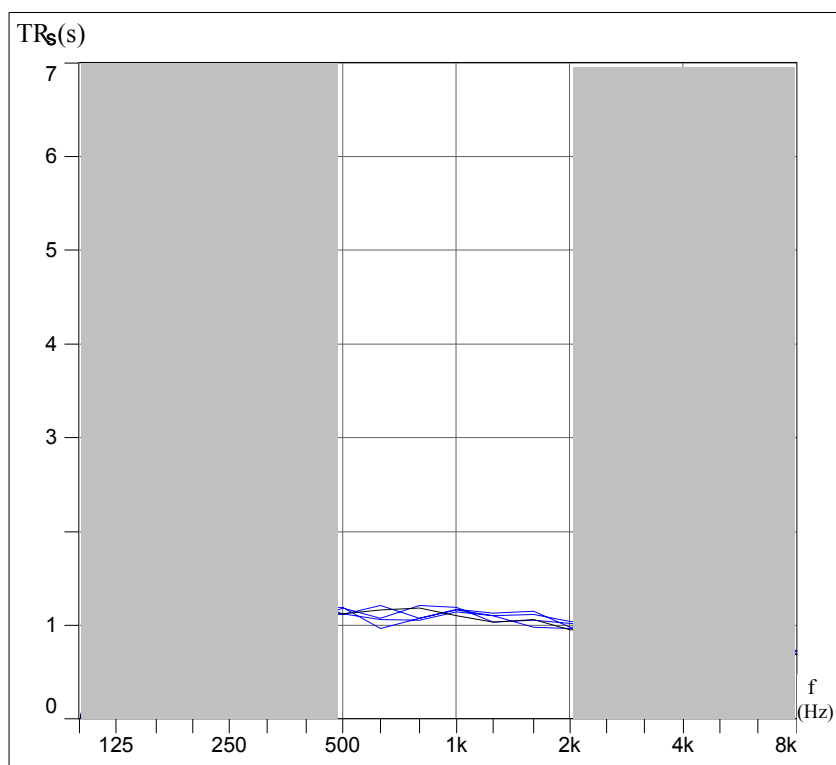
**Figura 60** – Resultados das medições de ruído de fundo de uma sala da escola Júlia da Costa Neves, em diferentes condições de isolamento da sala..

A Tabela 20 apresenta os valores de TR medidos e a Tabela 21, os valores de TDI. Como todas as demais salas avaliadas, ambos estão acima do ideal, porém os valores de TDI estão mais baixos e mais próximos do valor de 0,5 segundos recomendado. O pé-direito baixo (2,73 m) e o pequeno volume colaboram para estes resultados, colocando esta sala como a mais próxima do ideal entre as avaliadas. Como as medições contaram apenas com a presença dos operadores, é esperado que quando a sala esteja em uso normal os valores de TR e TDI se aproximem mais do valor adequado.

**Tabela 20** – Resultados das medições de tempo de reverberação da escola Júlia da Costa Neves.

Pto./ Freq.(Hz)	Júlia		TR	
	500	1k	1k	2k
1	1,12	1,14	1,14	0,96
2	1,19	1,17	1,17	0,98
3	1,18	1,19	1,19	1,02
4	1,11	1,16	1,16	1,04
5	1,12	1,10	1,10	0,95
<b>Média</b>	<b>1,14</b>	<b>1,15</b>	<b>1,15</b>	<b>0,99</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>

As Figuras 61, 62 e 63 apresentam, respectivamente, os valores de TR medidos em cinco pontos, para diferentes bandas de frequências, a comparação do TR com o TDI e uma curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1 kHz.



**Figura 61** – Valores de TR para cinco pontos medidos da escola Júlia da Costa Neves.

**Tabela 21** – Resultados das medições de tempo de decaimento inicial da escola Júlia da Costa Neves.

	<b>Júlia</b>	<b>TDI</b>	
<b>Pto./ Freq.(Hz)</b>	<b>500</b>	<b>1k</b>	<b>2k</b>
<b>1</b>	0,82	0,71	1,06
<b>2</b>	0,94	0,81	1,03
<b>3</b>	0,68	0,99	0,82
<b>4</b>	0,72	0,82	1,08
<b>5</b>	0,75	0,82	0,79
<b>Média</b>	<b>0,78</b>	<b>0,83</b>	<b>0,96</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	<b>0,14</b>

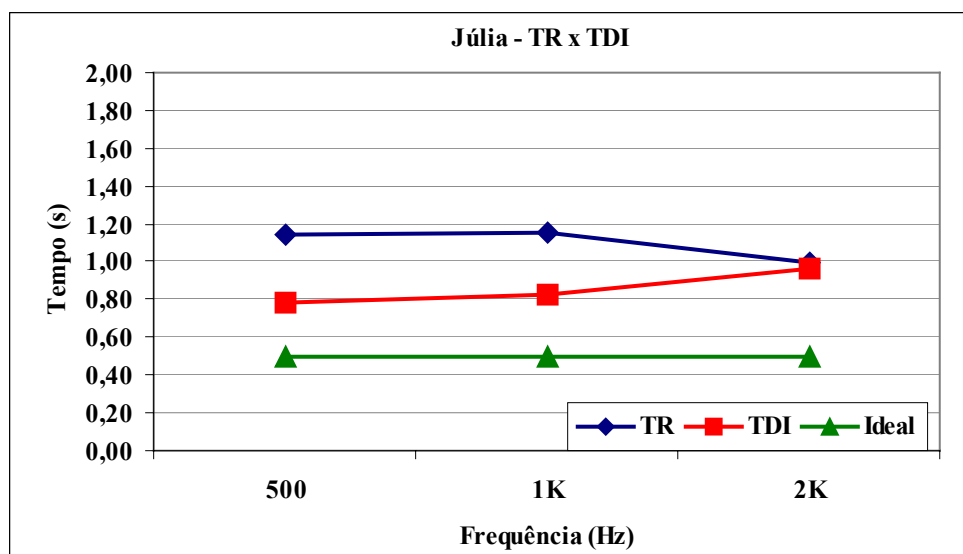


Figura 62 – Comparação dos valores de TR e TDI da escola Júlia da Costa Neves.

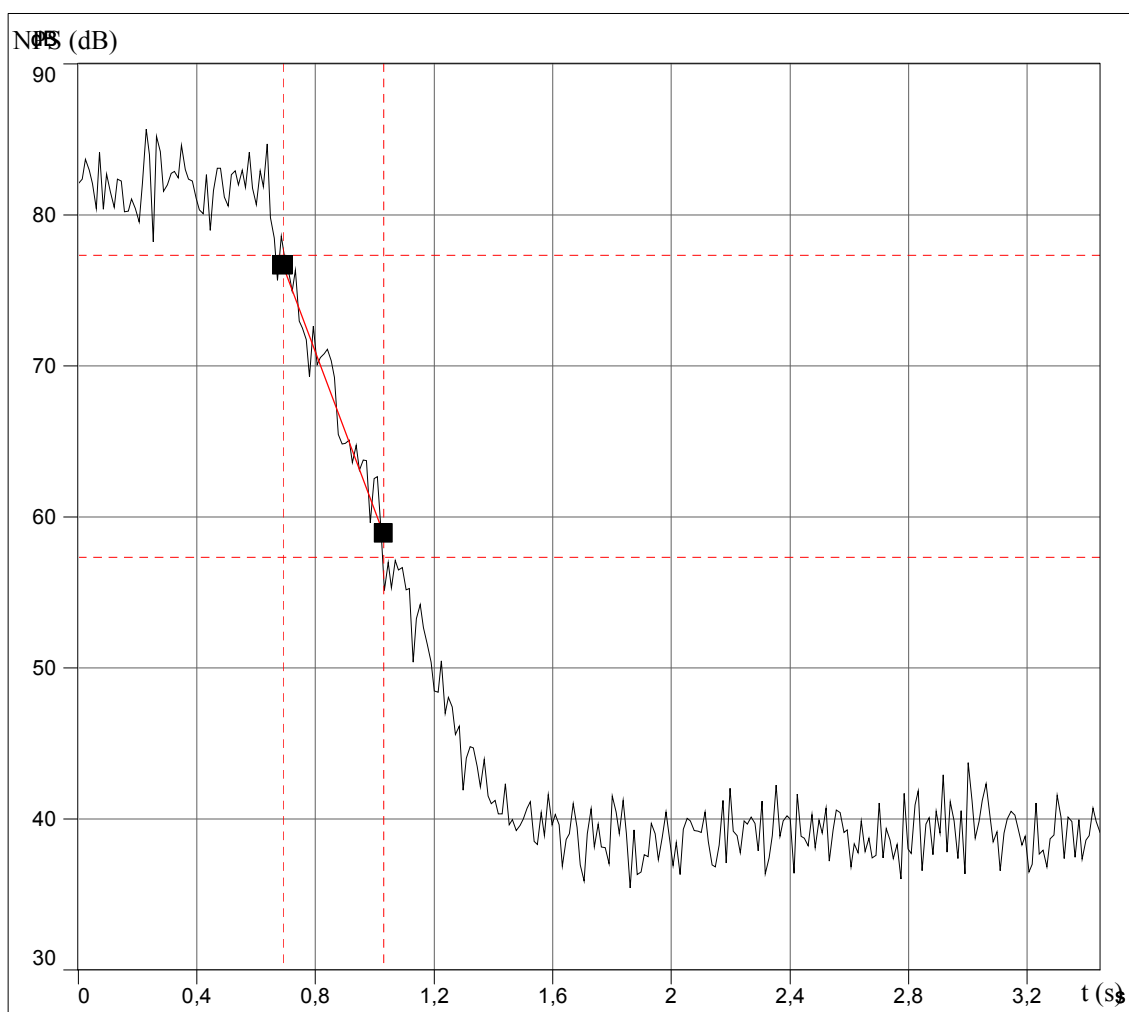
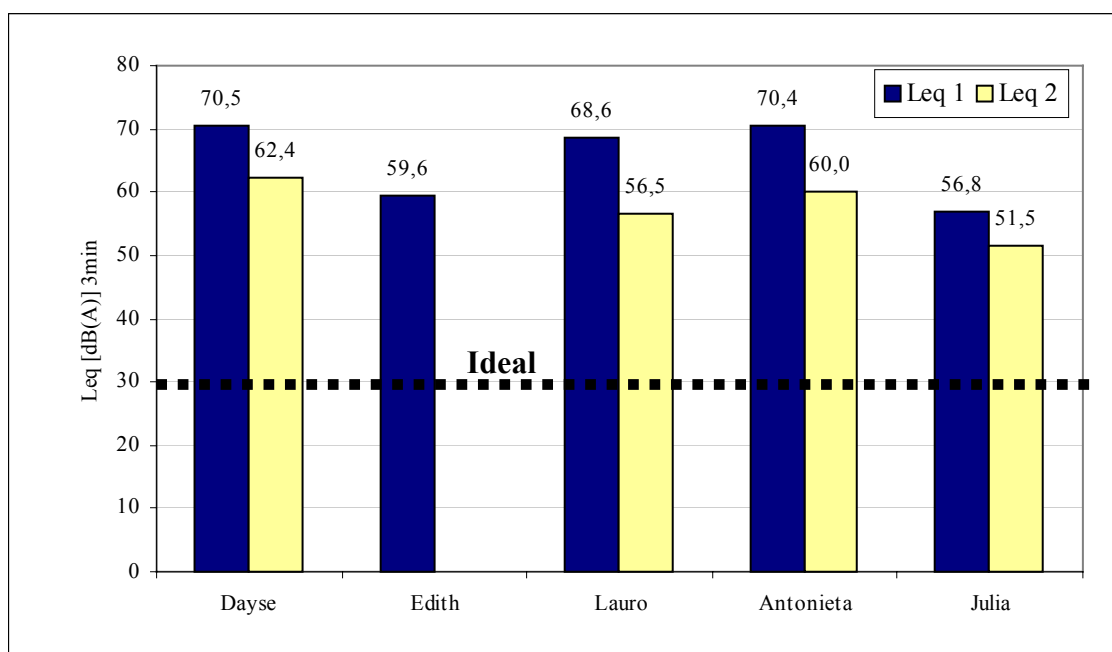


Figura 63 – Curva de decaimento sonoro para um ponto na frequência de 1kHz da escola Júlia da Costa Neves.

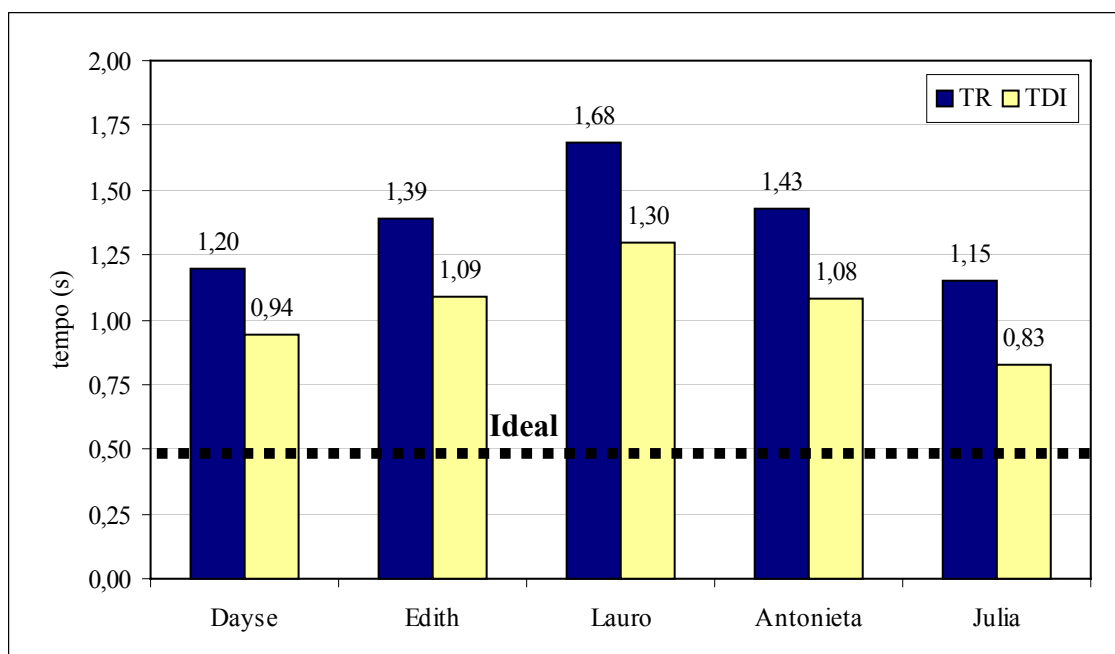
### 6.3.6. Avaliações Gerais

A Figura 64 apresenta os valores de ruído de fundo ( $L_{eq}$ ), agora para todas as escolas avaliadas. Os valores “ $L_{eq}$  1” representam a situação com a pior condição, ou seja, a medição 1 conforme adotado no estudo, e o “ $L_{eq}$  2”, a melhor condição, ou a medição 2. Comparativamente, percebe-se que a escola Júlia da Costa Neves é a que possui melhores condições. Entretanto, mesmo a melhor condição encontrada está muito distante da condição ideal de 30 dB(A). Assim, pode-se concluir que os indicativos de altos níveis de ruído de fundo encontrados nas avaliações físico-construtivas e nos questionários confirmaram-se, caracterizando uma situação inadequada em termos de ruído de fundo.



**Figura 64** – Valores de ruído de fundo no ponto central da sala, de todas as escolas avaliadas.

Para o TR e TDI, cujos resultados encontram-se na Figura 65, a situação é bastante similar à encontrada com o ruído de fundo. A escola Júlia da Costa Neves também é a que possui melhores condições, mas os valores encontram-se muito altos, longe do 0,5 s recomendado. As escolas Lauro Muller e Antonieta de Barros são as mais precárias, fato esperado em virtude da característica sonora dos materiais de revestimento das paredes, piso e teto, do elevado pé-direito e, conseqüente, maior volume.

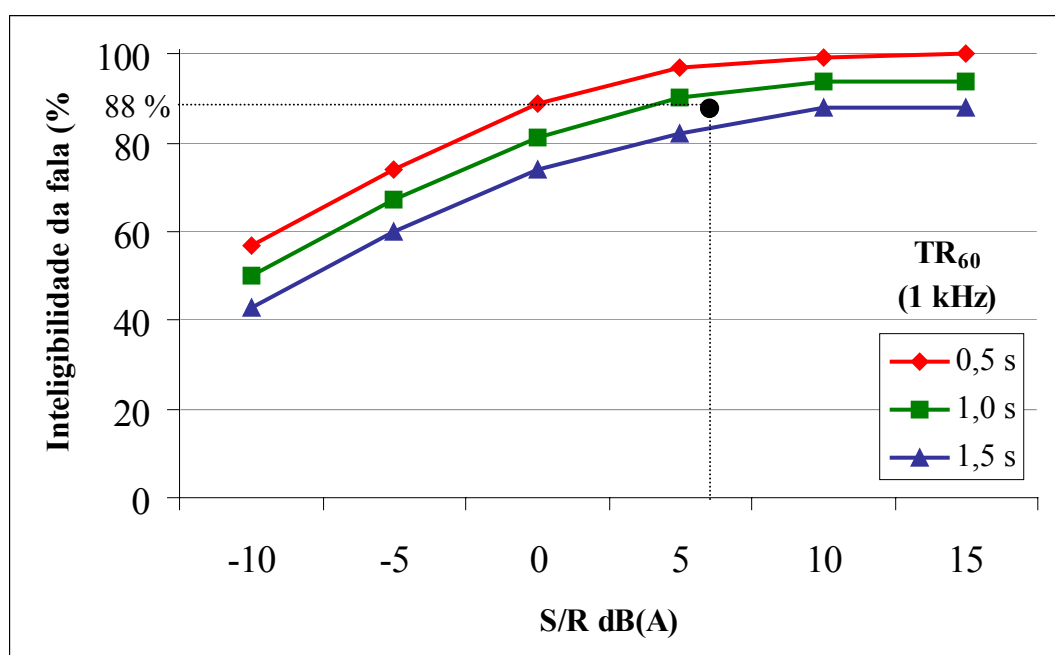


**Figura 65** – Média dos valores de TR e TDI, para 1 kHz, das escolas avaliadas.

Aparentemente a forma interna da sala da escola Dayse W. Salles, com forro inclinado em forma de pirâmide de base quadrada, pouco influenciou no TR e TDI, já que os valores estão em um patamar intermediário quando comparados as escolas Edith Gama Ramos e Júlia da Costa Neves, que são salas típicas, com plantas retangulares e pé-direito constante.

Com objetivo de quantificar o nível de inteligibilidade, selecionou-se a escola Júlia da Costa Neves, em virtude de ser a que apresentou os melhores resultados, para avaliação através do método de estimativa apresentado por BRADLEY [46]. Adotando-se que o NPS da fala é de 63 dB(A) a 1 metro de distância [42], e com o  $L_{eq}$  de 56,8 dB(A), obtido na medição 1, obtém-se uma razão S/R de 6,2 dB(A). Com este valor e o TR de 1,15 s, obtém-se um nível de inteligibilidade da fala de 88%, conforme preconizado por BRADLEY [46] e apresentado na Figura 66. Esse valor é baixo considerando que essa é a melhor condição de inteligibilidade possível na sala. Assim, justifica-se a afirmação feita por alunos e professores nos questionários, nos quais eles afirmavam que tinham dificuldade de entender uns aos outros durante as aulas.





**Figura 66** – Estimativa do nível de inteligibilidade esperado para sala com melhores condições acústicas.

#### 6.4. Conclusões

Neste capítulo foram apresentados os resultados experimentais das condições acústicas de cinco salas de aulas representativas das demais analisadas neste estudo. Os parâmetros avaliados foram o ruído de fundo, o tempo de reverberação e o tempo de decaimento inicial. Através da correlação desses valores pôde-se fazer uma estimativa no nível de inteligibilidade existente.

Em todas as cinco salas avaliadas os valores de ruído de fundo [ $L_{eq}(A)$  3min] estão muito acima dos valores recomendados por BRADLEY [14] e por diversas normas internacionais [38]. Esses resultados mostram que valores excessivamente altos de ruído de fundo impedem a correta utilização da sala de aula para o fim que ela se destina. Com os valores encontrados, seria necessário que o professor elevasse sua voz para níveis próximos de 85 dB(A) em algumas escolas, o que fisiologicamente não é possível de ser obtido sem que haja sérias conseqüências vocais, considerando o longo período de trabalho diário do professor. Em nenhuma sala foi encontrada condição de obter-se os 15 dB(A) de razão S/R como recomendado pela literatura. A conseqüência disso é que ou o professor vai tentar compensar aumentando a voz e surgindo

então, problemas vocais, ou os alunos vão ter dificuldade em compreender o que o professor fala.

As diversas tipologias construtivas parecem ter grande influência para os níveis de ruído de fundo, já que as fontes sonoras, para os casos estudados, não são segregadas das salas de aula. As características construtivas bem como a manutenção das edificações também influenciam diretamente na capacidade de isolamento sonoro, contribuindo para uma situação ainda mais crítica. Esses resultados eram esperados e apontam para o mesmo sentido das avaliações físico-construtivas e dos questionários.

Em relação ao tempo de reverberação, foram objeto de análise os resultados nas bandas de frequência de 500, 1k e 2k Hz. Assim como os valores de ruído de fundo, todas as salas avaliadas apresentam valores muito acima de 0,5 s como sugerido por BRADLEY [15]. A não observância deste parâmetro impede e/ou prejudica uma boa inteligibilidade entre alunos e professores, prejudicando, assim, a assimilação dos conteúdos pelos alunos.

Os valores de tempo de decaimento inicial também encontram-se muito elevados, estando, entretanto, abaixo dos valores de TR, como era esperado.

De maneira geral, os parâmetros avaliados encontram-se com valores muito além daqueles permitidos para uma adequada utilização da sala de aula, reforçando as análises feitas nos capítulos anteriores, que já indicavam esta situação.

Por fim, foram correlacionados os valores medidos de TR e RF com uma situação para a razão S/R, a fim de se obter o nível de inteligibilidade esperado para a melhor situação encontrada. Neste caso, os valores da escola Júlia da Costa Neves mostram um nível de inteligibilidade de 88%, que pode ser considerado baixo em ambientes onde é necessário uma total compreensão da fala.

# Capítulo 7

## CONCLUSÕES

### 7.1. Introdução

Este trabalho objetivou gerar diretrizes projetuais e construtivas para novas edificações escolares da rede estadual de ensino em Santa Catarina. Primeiramente, foi feita uma avaliação das condições acústicas das escolas localizadas no município de Florianópolis, SC. Essa análise foi executada através de três maneiras: levantamentos físico-construtivos das edificações, questionários aplicados a alunos e professores e medições dos parâmetros acústicos ruído de fundo, tempo de reverberação e tempo de decaimento inicial, com intuito de avaliar o nível de inteligibilidade.

As análises tipológicas e construtivas levaram a concluir que as escolas não são projetadas considerando aspectos acústicos. Existe inadequação entre as características físicas dos edifícios e a sua utilização como escola. As tipologias arquitetônicas desconsideram o entorno e suas fontes sonoras, bem como a disposição interna da planta dos edifícios, pois não há preocupação em se proteger as salas de aulas de ruídos externos à ela. Construtivamente, existem muitos problemas com materiais, dimensões e formas não adequados para as salas de aula, o que levam a de tempos de reverberação e tempos de decaimento inicial altos. A precária manutenção de elementos como portas, fechaduras e janelas contribuem para a baixa capacidade de isolamento das partições.

Os resultados dos questionários aplicados junto aos alunos e professores mostram que os mesmos têm ciência das condições acústicas de suas escolas e salas de aula. Como afirmado pelos mesmos, a situação é precária, reforçando os resultados das avaliações físico-construtivas que indicavam sérios problemas. As respostas dos alunos e professores mostram resultados bastante parecidos entre si, o que se torna um importante dado, visto que diferentes classes de usuários dessas edificações têm opiniões semelhantes.

A baixa capacidade de isolamento é evidenciada através da constatação de que os usuários em sua maioria ouvem ruídos de salas adjacentes. No que diz respeito a percepção auditiva, alunos e

professores têm dificuldade de entender uns aos outros, já que aproximadamente 40% afirmaram isso. Mais uma vez um dado que reforça o baixo nível de inteligibilidade existente em sala. Quanto aos problemas de ordem vocal, segundo os professores, os tratamentos fonoaudiológicos não são suficientes para sanar seus problemas vocais. Esses afirmam que as principais causas de seus problemas vocais são o excesso de ruído (55%) e a arquitetura da sala (19%), que somados chegam a 74%. Estes elementos são, portanto, de responsabilidade do projetista das edificações e não dos fonoaudiólogos.

As medições acústicas nas salas de aula confirmaram que os níveis de ruído de fundo das salas de aula são muito acima dos valores admitidos. Em nenhuma das salas avaliadas foi encontrado valor pelo menos próximo dos 30 dB(A) recomendado por BRADLEY [14]. A faixa de valores de  $L_{eqA(3min)}$  encontrados foi de 56,8 até 70,5 dB(A), para condições de porta e janelas abertas. Esses valores colocam as salas em condições completamente fora de possibilidade de utilização normal. A razão sinal/ruído nessas condições é muito baixa, podendo até mesmo ficar negativa. Assim, na tentativa de compensar a situação, o professor eleva sua voz, acarretando em problemas vocais. Se não o fizer, os alunos não tem condições de entender o que está sendo proferido.

Os valores de tempo de reverberação, também, estão muito acima do padrão adequado de 0,5 s. Este parâmetro impede a correta inteligibilidade entre alunos e professores. Para 1 kHz, a faixa de valores encontrados ficou entre 230 e 336% acima do valor ideal. Os valores de tempo de decaimento inicial também estão altos, mas em melhor condição quando comparados aos de TR.

Através da correlação dos valores medidos de ruído de fundo e TR, e da estimativa da razão sinal/ruído, para a sala de melhores condições acústicas, conclui-se que um nível de inteligibilidade máximo de 88% é alcançado. Essa condição é apenas para alunos a 1 metro de distancia do professor, encontrando-se todos os demais em pior situação. Essa constatação vai ao encontro aos resultados obtidos pelos levantamentos físico-construtivos e pelos questionários, cujos resultados apontam para uma condição acústica bastante desfavorável.

Assim, conclui-se que as escolas estaduais de ensino fundamental de Florianópolis avaliadas não apresentam condições satisfatórias em relação aos aspectos acústico-arquitetônicos, cabendo,

então, a proposta de diretrizes projetuais e construtivas para as novas edificações a serem implantadas, a fim de se garantir uma melhor qualidade acústica dessas edificações.

## 7.2. Sugestões para trabalhos futuros

- Avaliar salas de aula através do método de medição MLS (*Maximum Length Sequence*) que, através da resposta impulsiva, deriva diversos parâmetros de análise, inclusive tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, razão de energia inicial/final ( $C_{50}$ ) e isolamento das partições ( $R_w$ ). A utilização dessa técnica de medição muito provavelmente contribuirá para a diminuição do espalhamento dos resultados de TR e TDI. A formulação teórica da resposta impulsiva mostra que um decaimento sonoro obtido dessa forma equivale a amostra média sobre todas as curvas obtidas pelo método clássico [31];
- Avaliar outros critérios tais como o ruído de impacto e parâmetros de inteligibilidade (AI, STI), etc.;
- Simular através de um programa computacional, a influência de parâmetros específicos (níveis sonoros, materiais e revestimentos) em diferentes tipologias arquitetônicas, para avaliação de melhores soluções acústico-arquitetônicas. Somente a simulação, diferentemente dos ensaios em salas reais, permite separar a influência de diversas variáveis;
- Avaliar as condições acústicas necessárias em outros ambientes das escolas além das salas de aula, tais como bibliotecas, salas de estudo, ginásios, pátios internos e externos e outros.

## 7.3. Diretrizes para projeto e implantação

As recomendações projetuais e construtivas apresentadas a seguir não tem a função de obrigar ou exigir que sejam seguidas e implantadas em sua totalidade, pois não se pretende padronizar os projetos das edificações escolares. Objetivam, então, garantir um ambiente qualificado acusticamente ao mesmo tempo que permitem a liberdade compositiva do projeto. O intuito é que estas recomendações sejam um documento de auxílio aos arquitetos projetistas das edificações escolares em Santa Catarina, cabendo ao mesmo as decisões finais de cada projeto. Por fim, reafirma-se que estas recomendações são baseadas nas constatações das deficiências

encontradas na investigação desta dissertação, servindo como referência para se evitarem os equívocos já cometidos anteriormente.

## **LOCALIZAÇÃO**

O primeiro ponto a considerar é a implantação das edificações no terreno. Neste momento deverão ser localizadas as fontes sonoras já existentes no entorno, tais como o ruído de tráfego e os vizinhos, e locar os edifícios de forma a proteger as áreas que requerem mais silêncio longe das áreas ruidosas. Terrenos situados em avenidas e ruas muito ruidosas e com grande fluxo de tráfego não são recomendadas para receberem escolas. Deverão ser consideradas, também, as fontes sonoras internas na própria escola, como pátios, estacionamentos, quadras esportivas, sanitários e outras, segregando-as também, e/ou utilizando-as como áreas de transição.

## **MEDIÇÕES PRELIMINARES**

Se houver disponibilidade de instrumentação, deverão ser feitas medições do nível de pressão sonora no terreno que foi destinado à escola, para se preverem os níveis de ruído de fundo. Poderá ser elaborado um estudo através de um mapeamento sonoro, facilitando, assim, a visualização das áreas mais ruidosas e silenciosas.

## **RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA ISOLAMENTO**

Do ponto de vista do isolamento sonoro, os materiais a serem empregados nas edificações de maneira geral deverão ser tijolos ou blocos maciços nas partições externas e internas. No caso de não ser possível, devem-se priorizar tijolos ou blocos mais densos. A estrutura poderá ser a mesma dos tipos empregados atualmente, convencional com pilares vigas e lajes de concreto ou alvenaria estrutural. Os tetos das salas de aula deverão ser de laje, independentemente do número de pavimentos. Quando houver mais de um pavimento, deverá se prever uma camada de material resiliente na laje, de forma a se construir um “piso flutuante”.

Devem-se evitar materiais metálicos nos panos dos telhados, pois as telhas metálicas produzem maior nível de ruído quando sofrem impacto da chuva.

## RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA AMBIENTES INTERNOS

Os materiais leves como gesso, madeira e outros devem ser evitados pois têm menor capacidade de isolamento e sofrem com o problema da deprecação por serem materiais mais “frágeis”.

Os detalhes construtivos devem receber especial atenção, inclusive no momento da execução da obra. Frestas e aberturas em paredes, portas ou janelas devem ser evitadas. Uma execução incorreta irá comprometer a capacidade de uma parede de isolar o som. Paredes divisórias entre ambientes, especialmente quando um destes for uma sala de aula, deverão se erguer até a cumeeira, a fim de se evitar o vazamento sonoro. Os aparelhos sanitários (vasos, pias, mictórios) não deverão ser locados em paredes que dividem o banheiro da sala de aula.

A fim de se conseguir um maior isolamento, em casos especiais, poderão ser usadas janelas com vidros duplos, com espessuras diferentes em cada lâmina de vidro. Para uma solução mais efetiva, quando usada essa alternativa, deve-se utilizar um sistema de condicionamento de ar mecânico. Os caixilhos das portas devem receber um filete de borracha no batente a fim de se evitarem ruídos decorrentes do fechamento e da utilização das mesmas, bem como proporcionar um bom selamento. Por serem elementos “fracos” acusticamente, as portas e janelas não devem ter dimensões muito grandes e fora dos padrões usuais construtivos. Os pés das carteiras (mesas e cadeiras) dos alunos devem ter uma capa de borracha a fim de se evitar o ruído de impacto e o ruído de arrastar.

O ruído de fundo máximo nas salas de aula deverá ser de 40 dB(A). Valores maiores deverão ser reduzidos através da adoção de medidas posteriores à construção da escola. Estas medidas poderão ser a utilização de janelas com vidro duplo ao invés de simples e utilização de muros em substituição a grades e portões, para servirem como barreiras acústicas. Salienta-se que estas medidas corretivas acarretarão elevação de custos, cabendo ao projetista a adoção de medidas adequadas ainda em fase de projeto.

As salas de aula, ambientes que requerem baixo nível de ruído, podem ter as medidas já estipuladas de 6m x 8m. O pé direito não deverá ser demasiadamente alto, para se evitar um tempo de reverberação elevado. A fórmula de Sabine [1,2], apresentada no item 2.3, poderá ser usada para prever o tempo de reverberação em função das dimensões e revestimentos internos da

sala. Os valores dos coeficientes de absorção dos materiais usados deverão ser retirados da literatura específica. Devem ser consideradas a absorção sonora das pessoas que utilizarão a sala (alunos e professores) para obtenção do tempo de reverberação final.

Não são estipuladas medidas padrão para garantir um  $TR_{60}$  adequado, pois caberá ao projetista a definição das dimensões e dos materiais de revestimento com intuito de garantir a liberdade compositiva. Desta maneira, recomenda-se que o  $TR_{60}$  seja de 0,5 segundos, para as bandas de frequência entre 500 e 2k Hz.

A distribuição de material de absorção e reflexão sonora deverá garantir uma boa distribuição do som em toda sala. Uma opção adequada poderá ser a colocação de material de reflexão no entorno próximo ao professor, no piso e na parte central do teto. O material de absorção poderá ser colocado nas regiões dos encontros entre parede e teto. Esta solução poderá contribuir, também, para o aumento das reflexões iniciais. Deve-se tomar cuidado com o material de absorção utilizado e sua posição na sala, a fim de se evitar o desgaste excessivo e a diminuição da vida útil.

Com relação a geometria da sala, deverão ser evitadas superfícies côncavas, especialmente na parede do fundo e no teto da sala. Superfícies irregulares são recomendadas para facilitar o espalhamento sonoro. Vigas cruzando o teto em qualquer sentido não são recomendadas.

Estas recomendações acústicas devem ser compatibilizadas com diferentes necessidades ambientais, construtivas, econômicas e outras, cabendo ao arquiteto projetista a decisão final de cada alternativa. Deverão ser considerados custos e benefícios, a fim de se obter a solução ideal em cada caso específico.

Por fim, eventuais avaliações pós-ocupação das novas edificações escolares poderão ser feitas utilizando questionário similar ao utilizado nesta dissertação, objetivando quantificar e comparar a situação das escolas que venham a ter em sua concepção projetual o cuidado acústico, com as demais.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BATISTA, N.; SLAMA, J. *Uma avaliação da interação entre o projeto arquitetônico e o projeto acústico*. In: Anais do I Congresso Ibero-Americano de Acústica, I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul, 18º encontro da SOBRAC. Florianópolis, 1998. p. 523-526.
- [2] MACHADO, P. *Direito Ambiental Brasileiro*, 7ª ed. São Paulo: Malheiros, 1998. Cap.8. p. 545-562.
- [3] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo Nacional 2000*. <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em nov./2002.
- [4] SANTA CATARINA (Estado). SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO E DESPORTO. *Censo Escolar de Santa Catarina. 2002*.
- [5] SEEP, B.; GLOSEMEYER, R.; HULCE, E.; LINN, M.; AYTAR, P.; COFFEEN, R. *Classroom Acoustics: A resource for creating learning environments with desirable listening conditions*. Acoustical Society of America. 2000.
- [6] BRASIL. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
- [7] SANTOS, M.; SLAMA, J. *Ruído no ambiente escolar: Causas e conseqüências*. In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/93. Florianópolis, 1993. p. 301-306.
- [8] PEDRAZZI, T., ENGEL, D.; KRÜGER, E.; ZANNIN, P. *Avaliação do desempenho acústico em salas de aula do Cefet-PR*. In: ENCAC – 2001. São Pedro. 2001.
- [9] TAVARES, M., CLÍMACO, R. *Análise do conforto sonoro em escolas do Distrito Federal*. In: ENCAC – 99. Fortaleza. 1999.
- [10] KOWALTOWSKI, D. *et al.* *O conforto no ambiente escolar: elementos para intervenções de melhoria*. In: ENTAC – 2002. Foz do Iguaçu. 2002.
- [11] URA, A.; BERTOLI, S. *A acústica das salas de aula das escolas da rede estadual de Campinas-SP*. In: ENTAC – 98. Florianópolis. 1998. p. 333-337.
- [12] MATOS, J.; MACHADO, J.; MADRIL, V.; SANTOS, J.; SANTOS, J. *Conforto ambiental no centro de tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria*. In: I Congresso Iberoamericano de Acústica, I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul, 18º Encontro da SOBRAC. Florianópolis, 1998. p. 487-490.
- [13] PAIXÃO, D. X. *Ruído ambiental e sua influência no processo ensino-aprendizagem, a partir da relação saúde/doença em alunos de primeiro grau de escola da rede pública municipal de Santa Maria- RS*. In: I Congresso Iberoamericano de Acústica, I Simpósio

de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul, 18º Encontro da SOBRAC. Florianópolis, 1998. p. 463-466.

- [14] BRADLEY, J. S. *Speech intelligibility in classrooms*. Journal of the Acoustical Society of America, 80 (3), 846-854, 1986.
- [15] BRADLEY, J. *Optimising Sound Quality for Classrooms*. In: XX Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA. Rio de Janeiro. 2002.
- [16] ASTOLFI, A.; CORRADO, V. *Objective Assessment of Speech Intelligibility in Rooms for Direct Communication*. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [17] ASTOLFI, A.; PERINO, M.; PICCALUGA, A. *Experimental and Numerical Analysis of the Sound Field in University Classrooms*. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [18] BONDI, P., PICCININNI, F.; STEFANIZZI, P. *Acoustic Performance of Rectangular Classrooms*. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [19] DODD, G.; WILSON, O.; VALENTINE, J.; HALSTEAD, M.; MCGUNNIGLE, K. *Classroom Acoustics – A New Zealand Perspective*. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [20] HODGSON, M. *Experimental investigation of the acoustical characteristics of university classrooms*. Journal of the Acoustical Society of America. 106(4), 1810-1819, 1999.
- [21] NOGUEIRA, F. *Análise Paramétrica do Campo Acústico de Escritórios Panorâmicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – PPGEC/UFSC. Florianópolis. 2002.
- [22] KNUDSEN, V.; HARRIS, C. *Acoustical Design in Architecture*. Acoustical Society of America. 1988. Chapter 9. p. 151-188.
- [23] GERGES, S. *Ruído: Fundamentos e Controle*. Florianópolis: NR Editora, 2000. Capítulo 7. p. 259-312.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Acústica – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento: NBR 10.151/2000*. Rio de Janeiro, 2000.
- [25] MOORE, J. *Design for Good Acoustics and Noise Control*. Macmillan Education LTD. 1978. Chapter 4. p. 138-204.
- [26] SHIELD, B.; JEFFERY, R.; DOCKRELL, J.; TACHMATZIDIS, I. *A Noise Survey of Primary Schools in London*. In: Proceedings of the International Symposium on Noise Control for Educational Buildings. Istanbul, 2000. p. 109-118.

- [27] KINSLER, L.; FREY, A.; COPPENS, A.; SANDERS, J. *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley & Sons. 1982. Chapter 12. p. 279-312.
- [28] GERGES, S. *Ruído: Fundamentos e Controle*. Florianópolis: NR Editora, 2000. Capítulo 5. p. 187-234.
- [29] SLAMA, J.; NIEMEYER, M. *Estratégias para elaboração de uma legislação para o controle de ruído urbano em região de clima tropical úmido*. In: I Congresso Iberoamericano de Acústica, I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul, 18º Encontro da SOBRAC. Florianópolis, 1998. p. 499-502.
- [30] AIREY, S. *The effects of Classroom Acoustics on School Teachers*. In: Proceedings of the International Symposium on Noise Control for Educational Buildings. Istanbul, 2000. p. 21-30.
- [31] VIVEIROS, E. *Evaluation of the Acoustical Performance of Louvre by Impulse Response Analysis*, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – POSMEC/UFSC. Florianópolis. 1998.
- [32] MACKENZIE, D. *Classroom Acoustics – The way ahead*. In: Proceedings of Institute of Acoustics. vol.20. part. 4. 1998. p. 35-41.
- [33] KNUDSEN, V.; HARRIS, C. *Acoustical Design in Architecture*. Acoustical Society of America. 1988. Chapter 16. p. 296-314.
- [34] GIBBS, B. *Acoustic Comfort by Architectural Design*. Mini-curso. I Congresso Iberoamericano de Acústica, I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul, 18º Encontro da SOBRAC. Florianópolis, 1998.
- [35] REYNOLDS, D. *Engineering Principles of Acoustics*. Allyn and Bacon. Boston. 1981. Chapter 10. p. 384-416.
- [36] VIVEIROS, E. *Excelência Acústica: O Objetivo de um Projeto de uma Edificação Escolar*. XIX Encontro da SOBRAC. Belo Horizonte, 2000.
- [37] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Níveis de ruído para conforto acústico: NBR 10.152/1987*. Rio de Janeiro, 1987.
- [38] VALLET, M. *Some European Standards on Noise in Educational Buildings*. In: Proceedings of the International Symposium on Noise Control for Educational Buildings. Istanbul, 2000. p. 13-20.
- [39] Building Regulations and Approved Document, DETR, UK, 2001.
- [40] ELLIOT, L. *Effects of Noise on Perception of Speech by Children and Certain Handicapped Individuals*. Journal of Sound and Vibration (16) 10-14. 1982.
- [41] PICARD, M.; BRADLEY, J. *Revisiting Speech Interference in Classrooms*. Audiology; 40:221-244. 2001.

- [42] EGAN, M. *Architectural Acoustics*. McGraw-Hill, Inc. 1988. Chapter 1. p.1-36.
- [43] KINSLER, L.; FREY, A.; COPPENS, A.; SANDERS, J. *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley & Sons. 1982. Chapter 13. p. 313-343.
- [44] KNUDSEN, V.; HARRIS, C. *Acoustical Design in Architecture*. Acoustical Society of America. 1988. Chapter 8. p. 112-150.
- [45] NABELEK, A.; PICKETT, J. *Reception of Consonants in a Classroom as Affected by Monaural and Binaural Listening, Noise, Reverberation and Hearing Aids*. Journal of the Acoustical Society of America, 56 (2), 628-639, 1974. *apud* BRADLEY, J. *Speech intelligibility in classrooms*. Journal of the Acoustical Society of America, 80 (3), 846-854, 1986.
- [46] BRADLEY, J. *Predictors of Speech Intelligibility in Rooms*. Journal of the Acoustical Society of America, 80 (3), 837-845, 1986.
- [47] FERNANDES, A. *Impacto do Ruído de Tráfego em Edificações Escolares: Um Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – PPGEC/UFSC. Florianópolis. 2002.
- [48] BISTAFÀ S., BRADLEY, J. *Predicting Reverberation Times in a Simulated Classroom*. Journal of the Acoustical Society of America, 108 (4), 1721-1731, 2000.
- [49] NEUBAUER, R. *Classroom acoustics – Do existing reverberation time formulae provide reliable values?* In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [50] KUTTRUFF, H. *Room Acoustics*. Applied Science Publishers LTD. 2<sup>nd</sup> ed. London. 1979. Chapter IX. p. 242-266.
- [51] JUNQUA, J. *The Lombard reflex and its role on human listeners and automatic speech recognizers*. Journal of the Acoustical Society of America, 93 (1), 510-524, 1993.
- [52] BERANEK, L. *Concert and Opera Halls: How They Sound*. Acoustical Society of America. 1996.
- [53] HODGSON, M. *Empirical Prediction of Speech Levels and Reverberation in Classrooms*. Building Acoustics. v.8. n<sup>o</sup> 1. 2001. p. 1-14.
- [54] KUTTRUFF, H. *Room Acoustics*. Applied Science Publishers LTD. 2<sup>nd</sup> ed. London. 1979. Chapter VII. p. 165-206.
- [55] HODGSON, M., NOSAL, E. *Effect of Noise and Occupancy on Optimal Reverberation Times for Speech Intelligibility in Classroom*. Journal of the Acoustical Society of America, 111 (2), 931-939, 2002.
- [56] KUTTRUFF, H. *Room Acoustics*. Applied Science Publishers LTD. 2<sup>nd</sup> ed. London. 1979. Chapter IV. p. 77-94.

- [57] AIREY, S. *A survey of acoustical standards in UK classroom and their effect on pupils and teachers*. In: Proceedings of Institute of Acoustics. Vol.20 part. 4. 1998.
- [58] VERMEIR, G.; GEETERE, L. *Classrooms acoustics in Belgium schools: experiences, analysis, design*. In: Proceedings of INTERNOISE 2002. Dearborn. 2002.
- [59] BRADLEY, J.; REICH, R.; NORCROSS, S. *On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility*. Journal of the Acoustical Society of America, 106 (4), 1820-1828, 1999.
- [60] BISTAFA, S.; BRADLEY, J. *Reverberation time and maximum background-noise level for classroom from a comparative study of speech intelligibility metrics*. Journal of the Acoustical Society of America, 107 (2), 861-875, 2000.
- [61] KRYTER, K. *The effects of noise on man*. Menlo Park: Academic Press INC., 1985. Chapter 1. p. 1-3.
- [62] YERGES, L. *Sound, Noise and Vibration Control*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1978. Section 1. p. 1-16.
- [63] HALPERN, S.; SAVARY, L. *Som – Saúde*. Rio de Janeiro: Tek Box, 1985. Cap.9. p.115-127.
- [64] SOUZA, F. *Efeito do ruído no homem dormindo e acordado*. Revista Acústica e Vibrações. nº 25. jul. 2000. p. 2-17.
- [65] SCHAFER, R. *O mundo dos sons*. O Correio (UNESCO). 4(1) 4-8. 1977.
- [66] COSTA, V. *O ruído e suas interferências na saúde e no trabalho*. Revista Acústica e Vibrações. vol.13. jul/1994. p. 41-60.
- [67] SANTOS, U. *Ruído: Riscos e Prevenção*. 3ª ed. São Paulo: Editora Hucitec, 1999. Cap. 8. p. 89-91.
- [68] SANTOS, U. *Ruído: Riscos e Prevenção*. 3ª ed. São Paulo: Editora Hucitec, 1999. Cap. 4. p. 43-54.
- [69] GERGES, S. *Ruído: Fundamentos e Controle*. Florianópolis: NR Editora, 2000. Capítulo 2. p. 41-77.
- [70] QUICK, T.; LAPERTOSA, J. *Contribuição ao estudo das alterações auditivas e de ordem neuro-vegetativa atribuíveis ao ruído*. Revista Brasileira de Saúde Ocup., 9(36):50-6, 1981.
- [71] GOMEZ, J. *Sordera por ruído. El trauma acustico y los accidentes auditivos en la industria*. Bol. of. Sanit. Panam. 95(1):14-20, 1983.

- [72] NUDELMANN, A.; COSTA, E.; SELIGMAN, J.; IBAÑEZ, R. ***PAIR – Perda Auditiva Induzida pelo Ruído***. Porto Alegre: Ed. Bagagem Comunicação, 1997. Capítulo – Sintomas e sinais de PAIR. p. 143-151.
- [73] RUSSO, I. ***A importância da acústica e da psicoacústica para a audiologia: A influência da acústica das salas de aula na percepção da fala***. Revista Acústica e Vibrações. nº16. dez./1995. p. 18-22.
- [74] MARTINS, M.; TAÚ, M.; UNZUETA, V.; MOMENSOHN-SANTOS, T. ***A interferência do ruído no reconhecimento da fala: Análise do ambiente e da voz do professor***. In: XX Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA. Rio de Janeiro. 2002.
- [75] CELANI, A.; BEVILACQUA, M.; RAMOS, C. ***Ruído em escolas***. Revista Pró-Fono. vol. 6, nº 2, set/1994. p. 1-4.
- [76] LUKAS, J. S. ***Noise, Classroom Behavior and Third and Sixth Grade Reading Achievement***. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [77] SILVA, P. ***Os efeitos “pernilongo e cascata”***. Revista Acústica e Vibrações. vol. 9 jun/1991. p. 19-25.
- [78] EVANS, G.; LERCHER, P.; MEIS, M.; ISING, H.; KOFLER, W. ***Community noise exposure and stress in children***. Journal of the Acoustical Society of America. 109 (3), march/2001. p. 1023-1027.
- [79] DREOSSI, R. ***A interferência do ruído sobre a leitura e aprendizagem***. Monografia de especialização. São Paulo: CEFAC – CEDIAU. 2000.
- [80] LUKAS, J. S. *et al.* ***Effects of Noise on Academic Achievements and Classroom Behavior***. State of California Report FHWA/CA/DOHS-81/01, Berkley. 1981. *apud* BRADLEY, J. S. ***Speech intelligibility in classrooms***. Journal of the Acoustical Society of America, 80 (3), 846-854, 1986.
- [81] BRONZAFT, A.; MCCARTHY, D. ***The Effect of Elevated Train Noise on Reading Ability***. Environment and Behavior 7(4), 517-527. 1975.
- [82] CARIC, I., CUDINA, M. ***Disturbing Effects of Noise in Classroom of a Primary School***. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [83] CELIK, E.; KARABIBER, Z. ***A Pilot Study on the Ratio of Schools and Students Affected from Noise***. In: Proceedings of the International Symposium on Noise Control for Educational Buildings. Istanbul, 2000. p. 1-12.
- [84] SEBALLOS, S.; MATAMALA, P.; MARTINEZ, L. ***Risk Factor for Learning Process***. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [85] SUTHERLAND, L.; LUBMAN, D. ***The Impact of Classroom Acoustics on Scholastic Achievement***. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.

- [86] RANTALA, L.; VILKMAN, E. *Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers' voices*. Journal of Voice. vol.13, nº 4. 1999. p. 484-495.
- [87] FABIANO, S.; BRASOLOTO, A. *Efeitos acústicos do uso profissional da voz pelo professor*. (resumo). Laringologia e voz hoje. Temas do IV Congresso Brasileiro de Laringologia e Voz. Org. Behlau, H.; Revinter, 1998. p. 399.
- [88] LIVRAMENTO ANJOS, M. *Perfil do paciente com perda auditiva associada à disfonia*. (resumo). Laringologia e voz hoje. Temas do IV Congresso Brasileiro de Laringologia e Voz. Org. Behlau M., Revinter. 1998. p. 199.
- [89] AUGSPACH, F. *La voz en la comunicacion humana*. Rev. Fonoaud. v.38, 1993. p. 63-77. *apud* JOSÉ DE DEUS, M. *Os efeitos da exposição à música e avaliação acústica do ambiente de trabalho em professores de academia de ginástica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) PPGEP/UFSC. Florianópolis. 1999.
- [90] SARFATI, J. *Readaptation vocale des enseignants*. Rev. Laryngol. Otorhinol. v.110, nº4, 1989. p. 393-395. *apud* JOSÉ DE DEUS, M. *Os efeitos da exposição à música e avaliação acústica do ambiente de trabalho em professores de academia de ginástica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) PPGEP/UFSC. Florianópolis. 1999.
- [91] PENTEADO, R.; PEREIRA, I. *A Voz do Professor: Relações entre Trabalho, Saúde e Qualidade de Vida*. Rev. Bras. de Saúde Ocupacional. nº 95/96, v.25 p. 109-130.
- [92] GARCIA, O.; TORRES, R.; SHASAT, A. *Disfonias ocupacionais: estudio de 70 casos*. Revista Cubana de Medicina. v.25, 1986. p. 998-1009.
- [93] CASTRO, V.; KROOK, M. *Características da frequência fundamental da fala de indivíduos do sexo feminino falantes do português brasileiro*. Revista Pró-Fono. vol. 6, nº 2, set/1994. p. 5-7.
- [94] RANTALA, L.; LINDHOLM, P.; VILKMAN, E. *F0 change due to voice loading under laboratory and field conditions. A pilot study*. Log. Phon. Vocol. 1998; 23: 164-168.
- [95] LIVRAMENTO ANJOS, M. *Incidência de disfonia no Professor*. Monografia do Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica. Salvador. 1999.
- [96] PRECIADO, J.; TAPIA, R.; INFANTE, J. *Estudio de la prevalência de los transtornos de la voz em los profesionales de la enseñanza*. Acta Otorrinolaring. Esp. 49,2 (137-142), 1998.
- [97] AQUINO, J. *Considerações críticas sobre a metodologia de obtenção e coleta de dados de acidentes de trabalho no Brasil*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1996.
- [98] SANTA CATARINA (Estado). SECRETARIA DE ESTADO DA ADMINISTRAÇÃO. GERÊNCIA DO SERVIDOR. *Relatório de motivos com CID (classificação internacional de doenças)*. Florianópolis. 2002.

- [99] JOBIM, M. *Método de avaliação do nível de satisfação dos clientes de imóveis residenciais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) NORIE/UFRGS. Porto Alegre. 1997.
- [100] STEPHENSON, R.; VULKAN G. *Traffic Noise*. Journal of Sound and Vibration. 1968. 7, 247-262.
- [101] BLOKLAND, G. *Integral approach to reduce traffic noise emission, an introduction*. In: Proceedings of EuroNoise 98. München. 1998. p. 209-214.
- [102] NUNES, M.; DOS SANTOS, J. *Estudo do ruído de tráfego veicular urbano em Santa Maria*. In: Anais do I Congresso Ibero Americano de Acústica, I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul, 18<sup>o</sup> encontro da SOBRAC. 1998. p. 511-514.
- [103] PRIEDE, T. *Origins of automotive vehicle noise*. Journal of Sound and Vibration. 15(1). 1971. p. 61-73.
- [104] ALVES FILHO, J. *Influência da composição do tráfego sobre o ruído gerado por rodovias*. Dissertação de mestrado/ PPGEM/UFSC. Florianópolis. 1997.
- [105] BURNS, W. *Noise and Man*. London: Printed by William Clowes & Sons, 1973. Chapter 8. p. 115-147.
- [106] KIHLMAN, T. *City Traffic Noise- a local or global problem?* In: Proceeding of INTERNOISE 99. Fort Lauderdale, 1999. p. 1923-1928.
- [107] ARANA, M.; GARCIA, A. *A comparison between the noise surveys carried out in two Spanish cities (Valencia and Pamplona)*. In: Proceeding of INTERNOISE 97. Budapest, 1997. p. 819-822.
- [108] GIMENEZ, A.; SANCHIS, A. *Evaluation of the atmospheric sound quality in Gandia, Spain*. In: Proceedings of INTERNOISE 97. Budapest, 1997. p. 823-826.
- [109] DOCKRELL, J.; TACHMATZIDIS, I.; SHIELD, B.; JEFFERY, R. *Children's perceptions of noise in schools*. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [110] TACHIBANA, H.; YANO, H. *The contribution of heavy vehicles to road traffic noise*. In: Proceedings of Internoise 97. Budapest. 1997. p. 907-910.
- [111] BJORKMAN, M.; RYLANDER R. *Maximum noise levels in road traffic noise*. In: Proceedings of Internoise 96. Liverpool. 1996. p. 2325-2328.
- [112] SCHMID, C.; THIBAUT, L. *Classroom Acoustics- Success through Partnering between a Scientific Society and the U. S. Government*. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.



- [113] McLAREN, S.; DICKINSON P. *Noise in Early Education Facilities and Impacts on the Children and Teaching Staff*. In: Proceedings of INTERNOISE 2002. Dearborn. 2002.
- [114] JIANG, T. *Can Noise levels at school gymnasia cause hearing loss: A case study of a physical education teacher*. NoiseCon 97. The Pennsylvania State University Park. 1997. p. 15-17.
- [115] NIEDERSTAETTER, C. *Acoustics of Primary School Canteens*. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [116] MULLER, S.; NABUCO, M.; MASSARINI, P. *Medição de Inteligibilidade da Palavra em Duas Escolas Estaduais do Rio de Janeiro*. In: XX Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA. Rio de Janeiro. 2002.
- [117] BISTAFA, S. *Conscientização para o problema do ruído nas instalações hidráulicas prediais*. Revista Acústica e Vibrações, vol.9. jun/1991. p. 5-17.
- [118] BOMAN, E.; ENMARKER, I. *Noise annoyance in schools – An interview study with pupils*. In: Proceedings of INTERNOISE 2002. Dearborn. 2002.
- [119] ENMARKER, I.; BOMAN, E. *Noise annoyance in schools – Teachers’ perceptions*. In: Proceedings of INTERNOISE 2002. Dearborn. 2002.
- [120] BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*: promulgada em 5 de outubro de 1988.
- [121] BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação*. Publicado no D.O.U. em 23 de dezembro de 1996.
- [122] MANUAIS DE LEGISLAÇÃO ATLAS. *Segurança e Medicina do trabalho. Lei. nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. NR 17 – Ergonomia*. 50<sup>a</sup> edição. 2002. p. 225-228.
- [123] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução nº1, de 8 de março de 1990*.
- [124] SANTA CATARINA (Estado). Constituição (1989). *Constituição do Estado de Santa Catarina*: promulgada em 5 de outubro de 1989.
- [125] SANTA CATARINA (Estado). *Decreto nº 30.436, de 30 de setembro de 1986*. Regulamenta o artigo 28 da Lei nº 6.320 de 20 de dezembro de 1983, que dispõe sobre estabelecimentos de ensino.
- [126] SANTA CATARINA (Estado). *Lei complementar nº 170, de 7 de agosto de 1998*. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Educação. 1998.
- [127] SANTA CATARINA (Estado). *Projeto Arquitetônico – EEB Orestes Guimarães*. Florianópolis. 2002.

- [128] LING, M.; HALL, R. *Guidance for Acoustics in Schools in the UK and the UK Building Regulations*. In: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [129] REIS, A. LAY, M. *As técnicas de APO como instrumento de análise do ambiente construído*. Curso ministrado durante o III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado. 1995.
- [130] KARABIBER, Z.; CELIK, E. *A case study on the applications of the acoustical surveys in classrooms*. In: Proceedings of INTERNOISE 2002. Dearborn. 2002.
- [131] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*. ISO 3382/1997.

## APÊNDICE A – Formulário de levantamento de dados das edificações escolares

LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE ESCOLAS ESTADUAIS						Responsável
<b>DADOS CADASTRAIS</b>						
Escola:					Data:	
Endereço					Cód.:	
Contato:						
Fone:						
<b>DADOS URBANOS LOCAIS</b>						
Zoneamento (IPUF):						
Tipo de logradouro:						
Tipo de pavimento:						
Fluxo do tráfego:				Gradiente da via:		
<b>DADOS DA ESCOLA</b>						
Ambiente externo:	silencioso <input type="checkbox"/>	normal <input type="checkbox"/>	barulhento <input type="checkbox"/>	N.Profs:		
Ano de construção:		Reformas		Número de pavimentos:		
Tipo da escola:	1 grau <input type="checkbox"/>	2 grau <input type="checkbox"/>	Salas de aula- Total:	Padrão:		
Total de alunos:	1grau:		Número de salas de aula tipo por pvto:	1	2	
7a:		8a:	Laboratório <input type="checkbox"/>	Sala de música <input type="checkbox"/>	Auditório <input type="checkbox"/>	
Outros tipos de sala:			Biblioteca <input type="checkbox"/>	Quadra/Ginásio <input type="checkbox"/>	Lanchonete <input type="checkbox"/>	
			Outros:			
Croquis: <b>EXTERNO</b> (lay out, vias, fontes sonoras, barreiras, norte, cruzamento, semáforo, lombada, sentido de tráfego e redutores de veloc.)			<b>INTERNO</b> (lay out das salas, bwc, corredores, ginásio/quadra,pátio, outras fontes sonoras, norte)			
<b>DADOS DA SALA DE AULA PADRÃO</b>						
Forma:	Retang. <input type="checkbox"/>	Quadrada <input type="checkbox"/>	Dimensões (m):	x	x	
Número médio de alunos por sala:			Volume (m3):			
Sistema construtivo:	Convencional <input type="checkbox"/>	Alvenaria estrutural <input type="checkbox"/>				
Espessura paredes internas (cm):			Espessura paredes externas (cm):			
Material das paredes	Alvenaria tijolos <input type="checkbox"/>	Madeira <input type="checkbox"/>	Divisória leve <input type="checkbox"/>			
Tipo de porta:	Abrir <input type="checkbox"/>	Correr <input type="checkbox"/>	Madeira <input type="checkbox"/>	Selam.	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>
Tipo de janela:			Madeira <input type="checkbox"/>	Alum. <input type="checkbox"/>	Selam.	Sim <input type="checkbox"/>
Vidros:	Simples <input type="checkbox"/>	Duplo <input type="checkbox"/>	Razão Parede/ janela (%):			
Pontes acústicas:	Forro Vazio <input type="checkbox"/>	Venezianas <input type="checkbox"/>	Outro:			
Equipamentos:	Ventilador Teto <input type="checkbox"/>	Ventilador parede <input type="checkbox"/>	Aquecedor <input type="checkbox"/>			
	Sist.amplif.sonora <input type="checkbox"/>	Janelas abertas <input type="checkbox"/>	Outro:			
Revestimento paredes internas						
Piso:	Cerâmico <input type="checkbox"/>	Madeira <input type="checkbox"/>	Vinílico <input type="checkbox"/>	Outro:		
Forro:	Laje <input type="checkbox"/>	Madeira <input type="checkbox"/>	PVC <input type="checkbox"/>	Outro:		
<b>DADOS DA FACHADA (Voltada para rua) (Caso sendo a sala de aula, não preencher)</b>						
Espessura paredes externas (cm):						
Material:	Alvenaria tijolos <input type="checkbox"/>	Madeira <input type="checkbox"/>	Outros:			
Tipo de janela:						
Material:	Madeira <input type="checkbox"/>	Alumínio <input type="checkbox"/>	Selamento:	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	
Vidros:	Simples <input type="checkbox"/>	Duplo <input type="checkbox"/>	Razão Parede/ janela (%):			

## APÊNDICE B – Manual de instruções para o diretor

Florianópolis, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2002

Prezado diretor,

Seguem as instruções para distribuição, aplicação, recolhimento e envio dos questionários.

O envelope contém \_\_\_\_ questionários para alunos e \_\_\_\_ questionários para professores.

Procedimento:

Distribuir os questionários para **todos** os professores de ensino fundamental e enfatizar que os mesmos devem devolvê-lo ao sr(a). até \_\_\_\_/\_\_\_\_/2002. Caso algum professor não queira se identificar ou responder não há problema

Aplicar os questionários para \_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) alunos da 7ª série e \_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) alunos da 8ª série. O sr(a). deve escolher quem vai responder de forma completamente aleatória. Recolher os questionários após alguns minutos.

Receber os questionários respondidos dos professores de volta até \_\_\_\_/\_\_\_\_/2002.

Colocar os questionários dos professores e dos alunos devidamente preenchidos no envelope (que já está selado e endereçado), fechar com cola e depositar na agência dos correios mais próxima.

O procedimento é simples. Em caso de dúvida, ligar para o fone 334-3283 e deixar recado na secretária eletrônica.

Lembre-se, os resultados deste levantamento poderão resultar em benefícios para sua própria escola. Assim, quanto mais professores devolverem o questionário respondido mais corretos e próximos da realidade serão os resultados.

Agradecemos a colaboração.

---

**Marco A. Losso**

Arquiteto

Mestrando PPGEC/UFSC

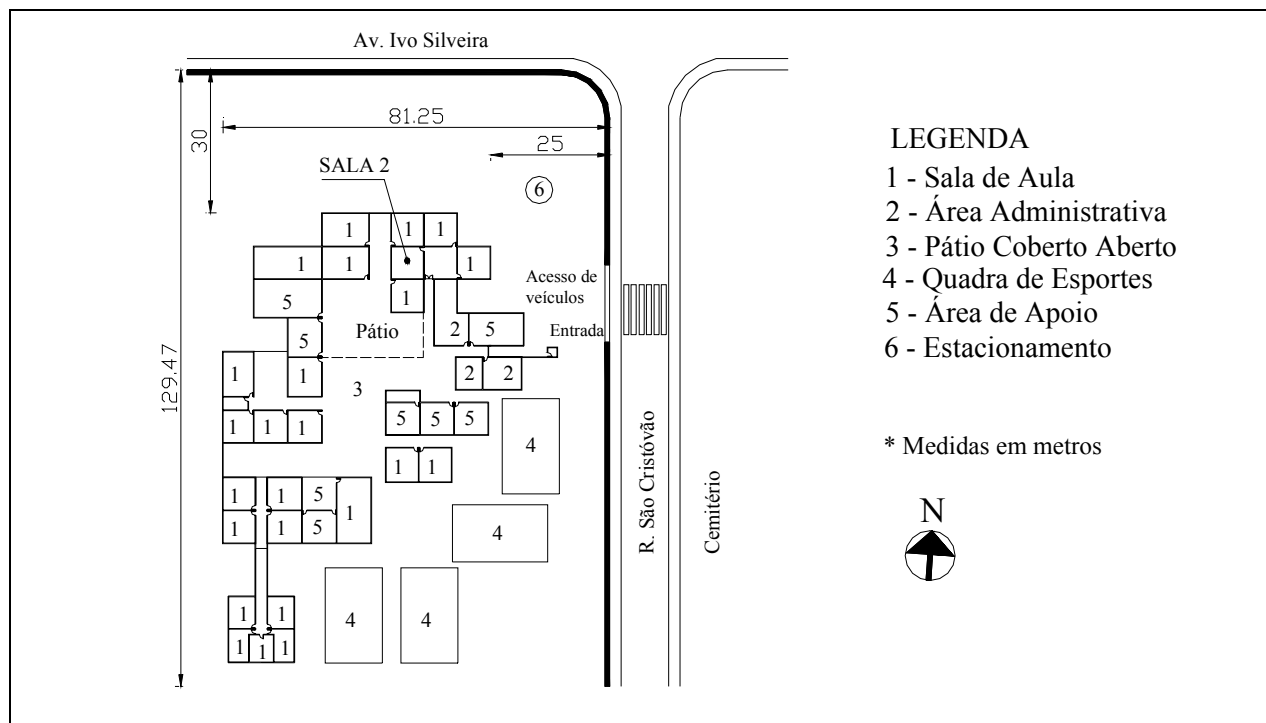
## APÊNDICE C – Questionário aplicado junto aos alunos

<b>APRESENTAÇÃO</b>			
Caro aluno, estamos realizando uma pesquisa para avaliar as condições acústicas da sua escola. Gostaríamos que você respondesse o questionário e devolvesse ao professor. Obrigado		<b>Série:</b>	Manhã <input type="checkbox"/> Tarde <input type="checkbox"/>
		<b>Sexo:</b>	Masc <input type="checkbox"/> Fem <input type="checkbox"/> <b>Data:</b>
<b>COM RELAÇÃO A SALA DE AULA E A ESCOLA (Assinale com um X ou responda)</b>			
Você consegue ouvir sons ou barulhos de salas vizinhas?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Você considera sua sala de aula:	Silenciosa <input type="checkbox"/>	Normal <input type="checkbox"/>	Barulhenta <input type="checkbox"/>
Você considera sua escola:	Silenciosa <input type="checkbox"/>	Normal <input type="checkbox"/>	Barulhenta <input type="checkbox"/>
Em que momento vc escuta mais barulho?			
O barulho que você ouve vem da onde:	Salas próximas <input type="checkbox"/>	Quadra/ginásio <input type="checkbox"/>	Corredores <input type="checkbox"/>
	Pátio <input type="checkbox"/>	Banheiros <input type="checkbox"/>	Vizinhos <input type="checkbox"/>
	Rua/ Trânsito <input type="checkbox"/>	Próprios alunos <input type="checkbox"/>	Outros, quais?
Qual o barulho que mais perturba?	Salas próximas <input type="checkbox"/>	Quadra/ginásio <input type="checkbox"/>	Corredores <input type="checkbox"/>
	Pátio <input type="checkbox"/>	Banheiros <input type="checkbox"/>	Vizinhos <input type="checkbox"/>
	Rua/ Trânsito <input type="checkbox"/>	Próprios alunos <input type="checkbox"/>	Outros, quais?
<b>COM RELAÇÃO A VOCÊ (Assinale com um X ou responda)</b>			
Você tem algum problema auditivo?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Caso afirmativo, qual?			
Você acha que tem algum local da sala que seja muito ou mais barulhento?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Caso afirmativo, qual?			
Quando o professor está falando, você consegue entender claramente o que está sendo dito ou o som parece embaralhado?			entende <input type="checkbox"/> fica embaralhado <input type="checkbox"/>
Na sua opinião o barulho influencia no aproveitamento escolar?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>

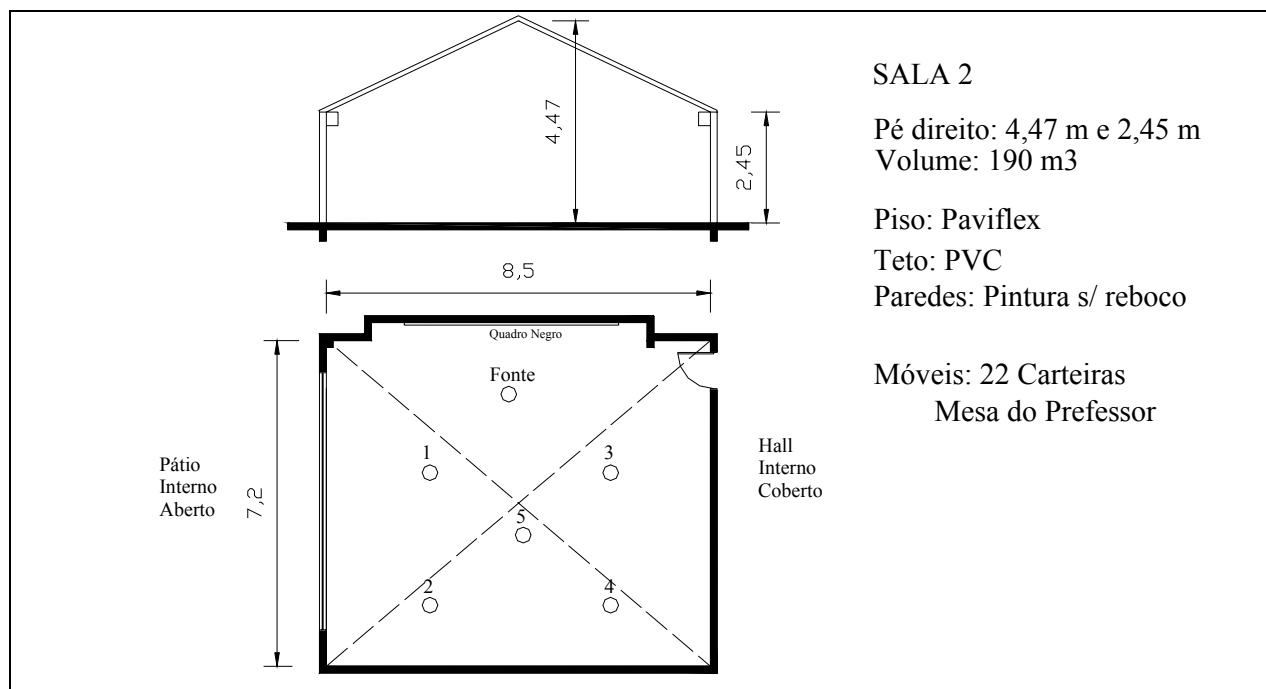
## APÊNDICE D – Questionário aplicado junto aos professores

<b>APRESENTAÇÃO</b>			
Caro Professor,			Data _____
Meu nome é Marco A. Losso. Sou arquiteto e mestrando na área de acústica de edificações escolares pela UFSC, orientado pela prof. Dra. Elvira Viveiros. Paralelamente representamos o <i>I-INCE, International Institute of Noise Control Engineering-TC4</i> , entidade internacional que congrega o estudo da acústica em edificações escolares em diversos países. Estamos realizando uma pesquisa visando a avaliação das atuais condições acústicas das escolas da grande Florianópolis, e gostaríamos de contar com a sua colaboração, respondendo o questionário, que servirá de embasamento para a dissertação de mestrado, assim como fornecerá base de dados para o <i>I-INCE</i> . Desde já agradecemos e informamos que o questionário deverá ser entregue para a direção da escola até o dia ____ / ____ /2002.			
Cordiais saudações.			
Instruções: Para responder o questionário, marque um X na alternativa(s) ou escreva a resposta. Assinalar mais de uma se necessário:			
<b>COM RELAÇÃO AO PROFESSOR</b>			
Nome:	_____	Sexo:	M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>
Idade:	_____	Tempo de trabalho nesta escola:	_____ como professor:
Carga horária média semanal das atividades em sala:	_____		
Matéria(s) que leciona:	_____	Série:	_____
O sr(a). considera necessário aumentar o tom de voz para lecionar?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
O sr(a). tem ou já teve problemas vocais em função do uso da voz como professor?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Caso afirmativo, quais?	Rouquidão <input type="checkbox"/>	Dor de Garganta <input type="checkbox"/>	Outro, qual? _____
Na sua opinião, a arquitetura da sala de aula influenciou em seus problemas vocais?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Na sua opinião, qual a causa dos problemas vocais?	Minha forma errada de falar <input type="checkbox"/> Excesso de ruído <input type="checkbox"/>		
Problemas com a arquitetura da sala <input type="checkbox"/>	Outro (qual): _____		
O sr(a). já precisou passar por tratamento em função de problemas vocais?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Quem financiou seu tratamento:	O Estado <input type="checkbox"/>	Eu mesmo <input type="checkbox"/>	Plano de saúde <input type="checkbox"/>
O sr(a). já precisou pedir licença em função de problemas vocais?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Caso afirmativo, por quanto tempo?	_____		
A escola teve que contratar ou relocar professor para substituí-lo?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Na sua opinião, houve prejuízo para os alunos em função de seu afastamento?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Na sua opinião, quem é o maior prejudicado pelos seus problemas vocais:	Eu mesmo <input type="checkbox"/> Os alunos <input type="checkbox"/> A sociedade em geral <input type="checkbox"/> Outro, qual? _____		
<b>COM RELAÇÃO A SALA DE AULA (Caso leccione em mais de uma sala, escolher a que o sr(a) considera pior)</b>			
O sr(a) consegue ouvir sons oriundos de salas vizinhas?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
O sr(a) considera sua sala de aula:	quieta <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> ruidosa <input type="checkbox"/>		
Qual o período mais barulhento?	manhã <input type="checkbox"/> tarde <input type="checkbox"/> noite <input type="checkbox"/>		
Qual o período mais silencioso?	manhã <input type="checkbox"/> tarde <input type="checkbox"/> noite <input type="checkbox"/>		
Com relação as fontes de ruído são oriundas de:	Salas próximas <input type="checkbox"/>	Quadra/ginásio <input type="checkbox"/>	Corredores <input type="checkbox"/>
	Pátio <input type="checkbox"/>	Banheiros <input type="checkbox"/>	Vizinhos <input type="checkbox"/>
	Rua/ Trânsito <input type="checkbox"/>	Próprios alunos <input type="checkbox"/>	Outros, quais? _____
Qual o ruído mais perturbador?	Salas próximas <input type="checkbox"/>	Quadra/ginásio <input type="checkbox"/>	Corredores <input type="checkbox"/>
	Pátio <input type="checkbox"/>	Banheiros <input type="checkbox"/>	Vizinhos <input type="checkbox"/>
	Rua/ Trânsito <input type="checkbox"/>	Próprios alunos <input type="checkbox"/>	Outros, quais? _____
<b>COM RELAÇÃO AOS ALUNOS</b>			
Os alunos reclamam que a sala de aula é barulhenta?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Os alunos reclamam de algum local da sala que seja mais barulhento?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Caso afirmativo, qual?	_____		
Quando um aluno faz uma pergunta, o sr(a) consegue entender claramente o que está sendo dito ou o som parece embaralhado?	Consegue entender <input type="checkbox"/>		Parece Embaralhado <input type="checkbox"/>
Na sua opinião o ruído influencia no aproveitamento escolar?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Existe algum dado que possa comprovar isso? Caso afirmativo, favor anexar cópia			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>
Existem alunos com deficiência auditiva nas suas aulas?			SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>

## APÊNDICE E – Escola Dayse Werner Salles



**Figura 67** – Planta de locação da escola Dayse Werner Salles.



**Figura 68** – Planta baixa com localização dos pontos de medição e corte da sala de aula n<sup>o</sup> 2.



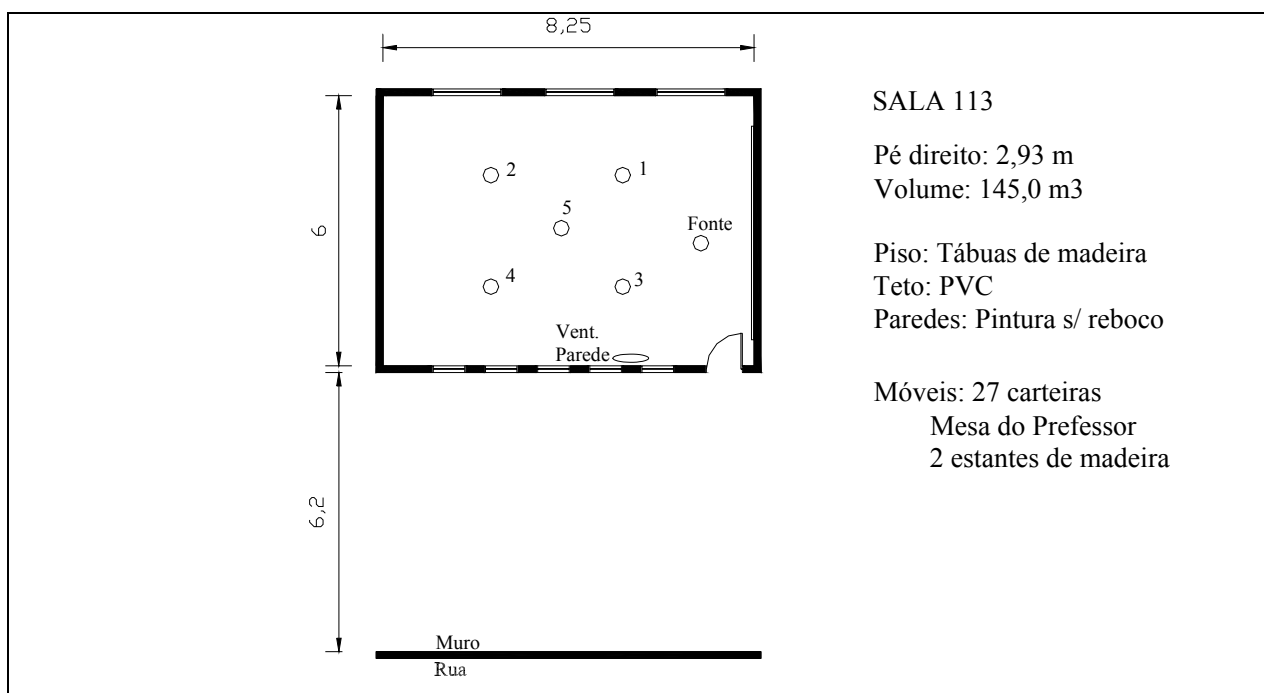
**Figura 69** – Aspecto da sala de aula nº 2.



## APÊNDICE F – Escola Edith Gama Ramos



**Figura 70** – Planta de localização da escola Edith Gama Ramos.

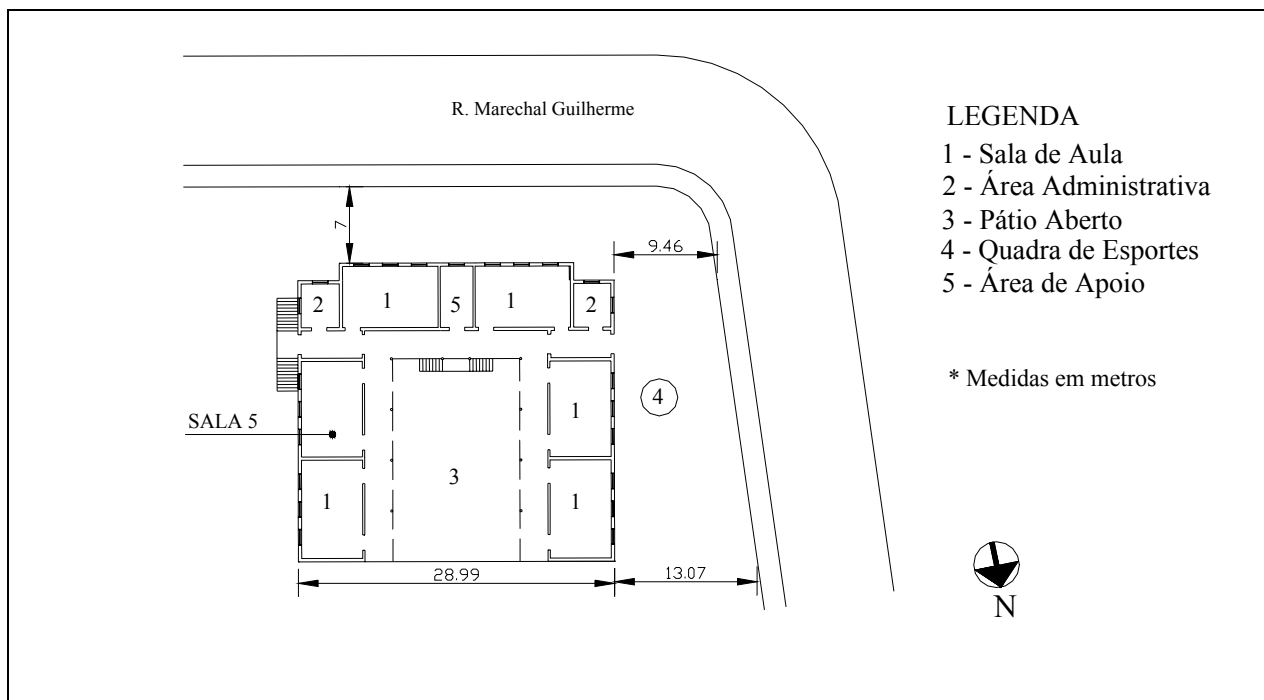


**Figura 71** – Planta baixa com localização dos pontos de medição da sala de aula nº 113.

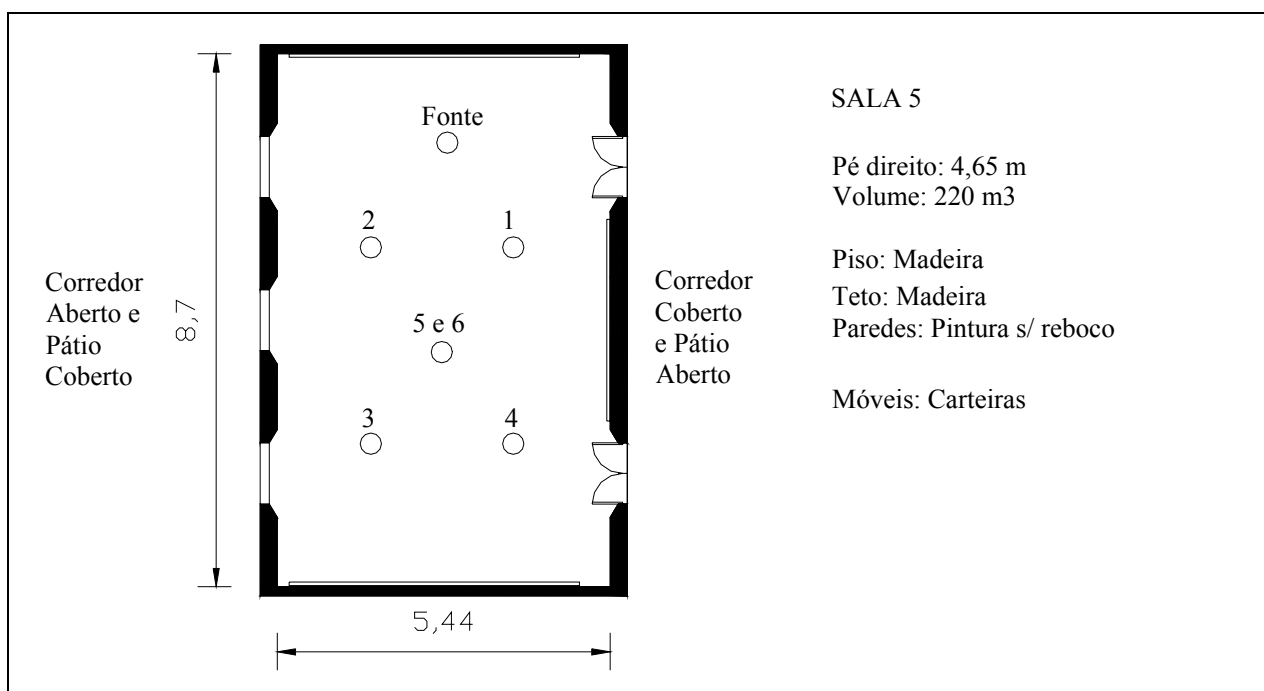


**Figura 72** – Aspecto da sala de aula nº 113.

## APÊNDICE G – Escola Lauro Muller



**Figura 73** – Planta de localização da escola Lauro Muller.

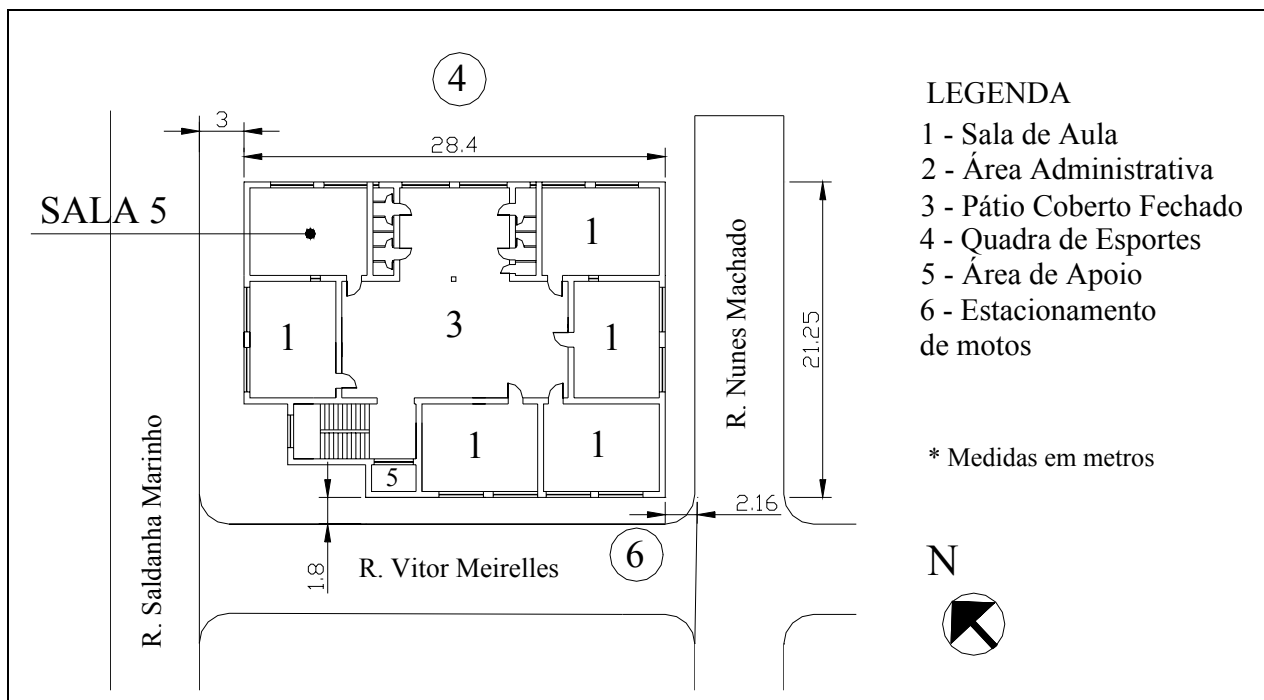


**Figura 74** – Planta baixa com localização dos pontos de medição da sala de aula nº 5.

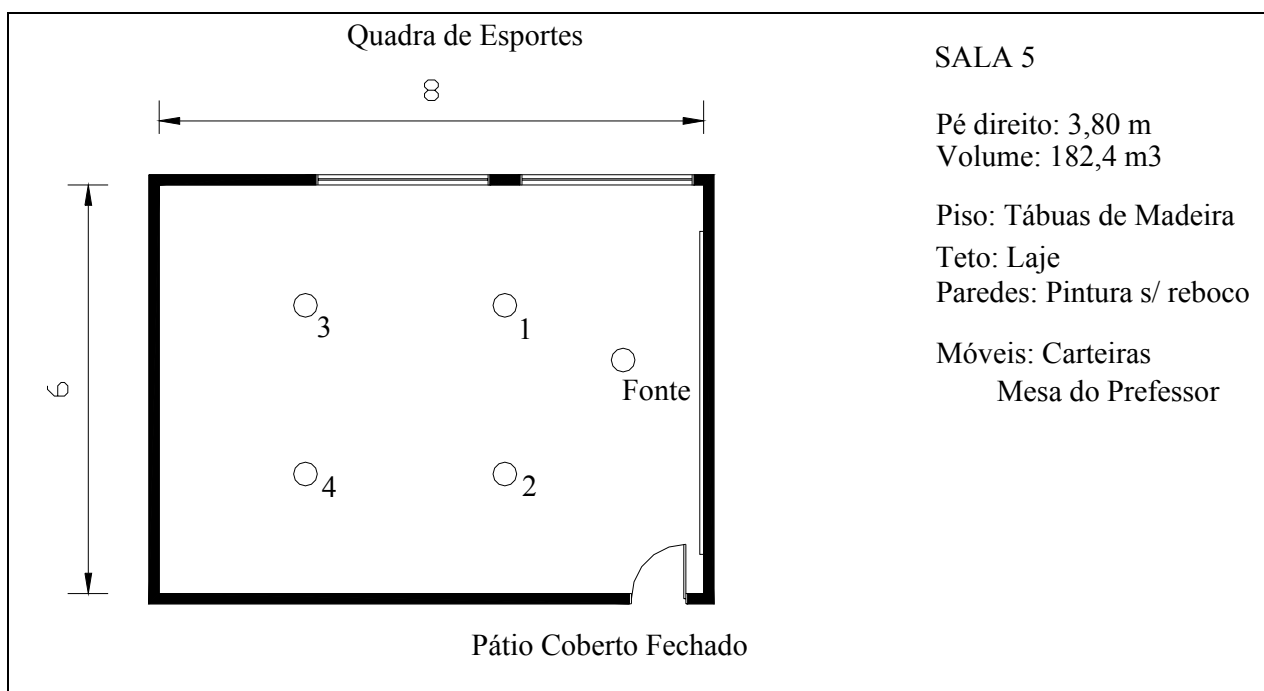


**Figura 75** – Aspecto da sala de aula nº 5.

## APÊNDICE H – Escola Antonieta de Barros



**Figura 76** – Planta de localização da escola Antonieta de Barros.



**Figura 77** – Planta baixa com localização dos pontos de medição da sala de aula nº 5.



**Figura 78** – Aspecto da sala de aula nº 5.

## APÊNCICE I – Escola Júlia da Costa Neves

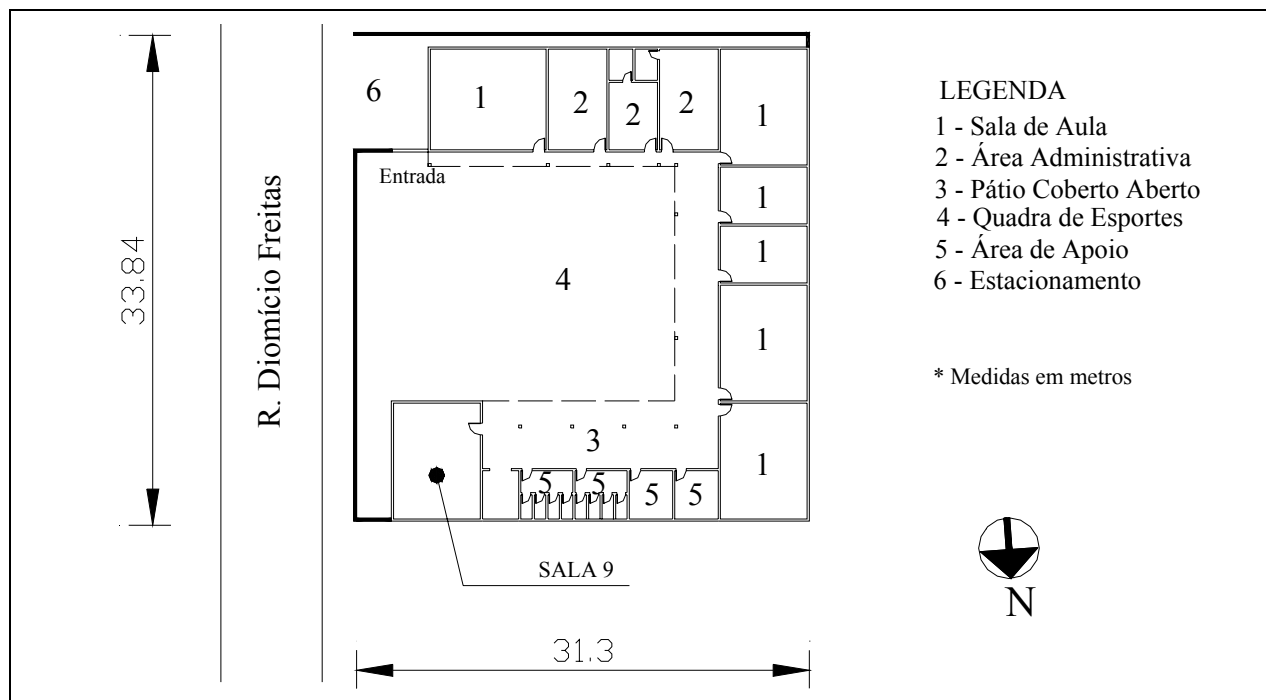


Figura 79 – Planta de localização da escola Júlia da Costa Neves.

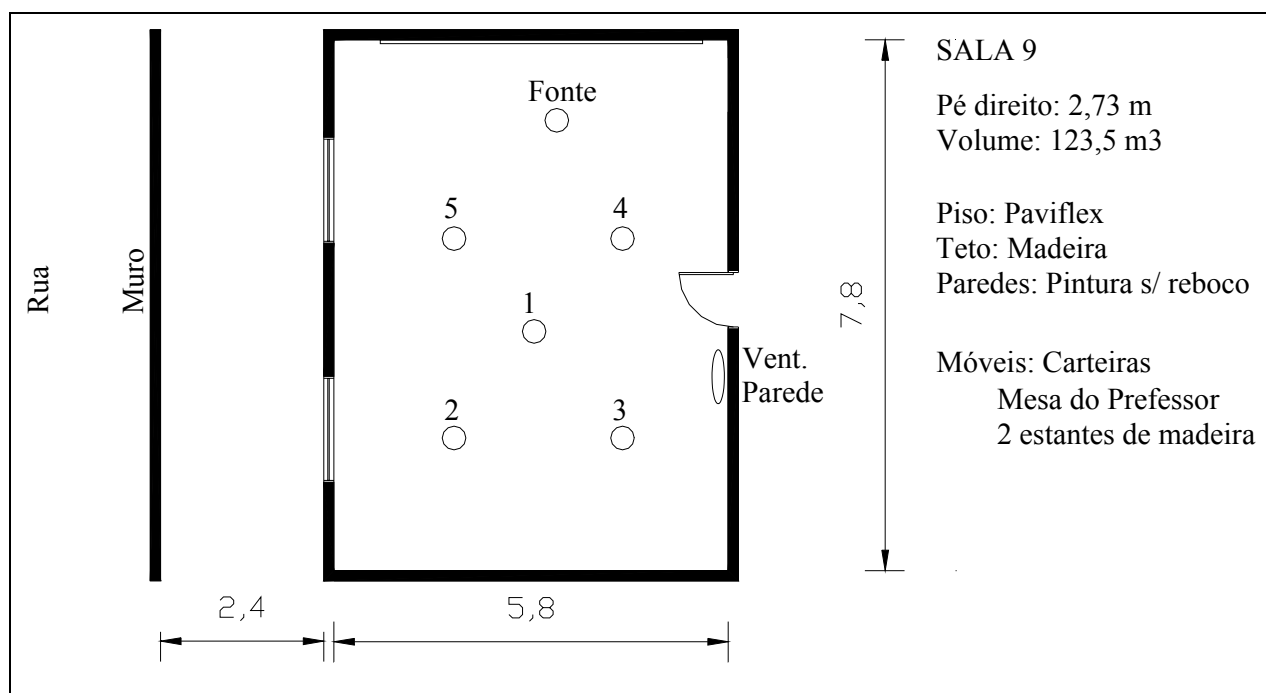


Figura 80 – Planta baixa com localização dos pontos de medição da sala de aula nº 9.



**Figura 81** – Aspecto da sala de aula nº 9.