

**DANIELE PETRI ZANARDO ZWIRTES**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE SALAS DE AULA:  
ESTUDO DE CASO NAS ESCOLAS ESTADUAIS DO PARANÁ**

**CURITIBA**

**2006**

**DANIELE PETRI ZANARDO ZWIRTES**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE SALAS DE AULA:  
ESTUDO DE CASO NAS ESCOLAS ESTADUAIS DO PARANÁ**

**Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Construção Civil, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Construção Civil.**

**Orientador: Prof. Dr.-Ing.- Paulo Henrique Trombetta Zannin**

**CURITIBA  
2006**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**DANIELE PETRI ZANARDO ZWIRTES**

### **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE SALAS DE AULA: ESTUDO DE CASO NAS ESCOLAS ESTADUAIS DO PARANÁ**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr.-Ing.- Paulo Henrique Trombetta Zannin  
Departamento de Engenharia Mecânica - UFPR

Prof. Dr. Sérgio Scheer  
Departamento de Construção Civil - UFPR

Prof. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli  
Departamento de Arquitetura e Construção - FEC - UNICAMP

Curitiba, 23 de Junho de 2006

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, meus pais, meu marido,  
meus irmãos e familiares, alicerces da minha vida.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por conceder a realização de mais um sonho, pela proteção e maravilhosa graça derramada sobre a minha vida.

Ao meu marido pelo amor, apoio, incentivo e cumplicidade em todos os momentos. Aos meus pais que em constante amor e confiança me apoiaram quando essa conquista era ainda um tímido sonho. Aos meus irmãos, avós e familiares pela admiração, apoio e alegria. Ao Pastor Alcebíades Taques pelas orações e palavras de ensino.

Ao meu orientador Professor Doutor-Ingenieur Paulo Henrique Trombetta Zannin, por ter acreditado e confiado em mim desde o início, pelo valioso apoio, participação e ajuda em todas as etapas do mestrado.

Aos colegas do laboratório pela amizade e pelas palavras de incentivo tão necessárias e encorajadoras.

Às colegas Andressa Maria Coelho Ferreira, Carolina Reich Marcon e Daniele Krauser pela maneira prestativa com que me ajudaram na seleção das escolas, nas medições acústicas e aplicação dos questionários.

Ao colega José Augusto Coelho Ferreira pela importante ajuda e participação nas medições acústicas.

À minha amiga Silvana Bastos Stumm, pela amizade, pelos constantes cuidados, pelo incentivo e apoio no decorrer de toda esta jornada.

Ao Professor Doutor Joel Corrêa da Rosa, do Departamento de Estatística da UFPR, pela simplicidade e generosidade com que me atendeu e pela valiosa contribuição na análise dos questionários.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – CAPES – pela concessão da bolsa de Mestrado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, ao Deutscher Akademischer

Austauschdienst – DAAD e à Fundação Araucária, pelos recursos financeiros que resultaram na aquisição de todos os equipamentos e softwares utilizados neste trabalho, sem os quais o mesmo não teria sido possível.

Ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC pela oportunidade. Ao Professor Doutor Ney Nascimento e a Ziza Nichele, pelo apoio e atenção dispensados.

Aos diretores, professores e alunos das escolas Walde Rosi Galvão, Luarlindo dos Reis Borges, Paulo Freire, Anibal Khury Neto, Prof. Alfredo Parodi e Prof. Luiza Ross pela colaboração e participação na pesquisa.

A matriz da esperança é a mesma da educabilidade do ser humano: o inacabamento de seu ser de que se tornou consciente. Seria uma agressiva contradição se, inacabado e consciente do inacabamento, o ser humano não se inserisse num permanente processo de esperançosa busca. Este processo é a educação.

(FREIRE, Paulo)

# SUMÁRIO

<b>Lista de Ilustrações</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xiv</b>
<b>Lista de Siglas</b>	<b>xvii</b>
<b>Resumo</b>	<b>xviii</b>
<b>Abstract</b>	<b>xix</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Problema de pesquisa, objetivo e hipótese.</b>	<b>3</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Conceitos utilizados em acústica de salas de aula</b>	<b>5</b>
2.1.1. Tempo de reverberação	5
2.1.2. Cálculo do tempo de reverberação	6
2.1.3. Absorção	9
2.1.4. Ecos e reflexões	10
2.1.5. Nível de pressão sonora	11
2.1.6. Isolamento acústico	11
2.1.6.1. Isolamento acústico entre dois ambientes	12
2.1.6.2. Isolamento acústico de fachada	14
2.1.7. Ruído de fundo	17
2.1.8. Relação Sinal/Ruído	18
2.1.9. Inteligibilidade da fala	19
<b>2.2. Influência do ruído sobre o indivíduo</b>	<b>20</b>
<b>2.3. Acústica de salas de aula</b>	<b>23</b>

<b>2.4. Legislação e normas sobre o ruído em salas de aula</b>	<b>29</b>
2.4.1. Níveis de ruído em escolas	29
2.4.2. Tempo de reverberação	30
2.4.3. Isolamento acústico em escolas	32
<b>2.5. Controle de ruído em escolas</b>	<b>33</b>
2.5.1 Implantação e Forma	34
2.5.2 Distribuição dos Espaços	36
2.5.3. Salas de aula e corredores	38
<b>3. Materiais e Método</b>	<b>42</b>
<b>3.1 Método de avaliação</b>	<b>42</b>
<b>3.2 Materiais utilizados</b>	<b>43</b>
3.2.1 Medição do Tempo de Reverberação (TR)	43
3.2.2 Medição dos Coeficientes de Isolamento Acústico	44
3.2.3 Medição do Ruído de Fundo	49
<b>3.3 Avaliação subjetiva</b>	<b>50</b>
3.3.1. Análise Estatística do Questionário Aplicado aos Alunos	51
3.3.2. Análise Estatística do Questionário Aplicado aos Professores	52
<b>4. Resultados e Discussão</b>	<b>53</b>
<b>4.1. Descrição dos padrões abordados</b>	<b>53</b>
4.1.1. Padrão 010	53
4.1.2. Padrão 022	56
4.1.3. Padrão 023	60
<b>4.2. Resultados avaliação qualitativa</b>	<b>65</b>
4.2.1. Padrão 010	65
4.2.1.1. Ruído de Fundo	65

4.2.1.2. Tempo de Reverberação	73
4.2.1.3. Isolamento Acústico	77
4.2.2. Padrão 022	81
4.2.2.1. Ruído de Fundo	81
4.2.2.2. Tempo de Reverberação	91
4.2.2.3. Isolamento Sonoro	94
4.2.3. Padrão 023	97
4.2.3.1. Ruído de Fundo	97
4.2.3.2. Tempo de Reverberação	106
4.2.3.3. Isolamento Sonoro	110
<b>4.3. Resultados avaliação subjetiva</b>	<b>115</b>
4.3.1. Questionário aplicado aos alunos	115
4.3.2. Questionário aplicado aos professores	123
<b>4.4. Discussão dos resultados obtidos nos três padrões construtivos</b>	<b>130</b>
<b>5. Considerações Finais</b>	<b>137</b>
5.1. Conclusão	137
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	139
<b>6. Referências Bibliográficas</b>	<b>140</b>
<b>APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ALUNOS</b>	<b>146</b>
<b>APÊNDICE 2 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PROFESSORES</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICE 3 – REGULAMENTAÇÃO PARA MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO (ISO 140-4, 140-5 e 717-1)</b>	<b>152</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1 – Comportamento do som</i>	5
<i>Figura 2 - Exemplos de implantação</i>	35
<i>Figura 3 - Tipologias construtivas</i>	36
<i>Figura 4 – Intervenções em sala de aula</i>	39
<i>Figura 5 – Leiaute de portas</i>	40
<i>Figura 6 - Influência da forma da superfície</i>	41
<i>Figura 7 – Esquema de medição de isolamento entre sala de aula e corredor</i>	45
<i>Figura 8 – Esquema de medição de isolamento entre sala de aula e corredor</i>	46
<i>Figuras 9a e 9b – Medição isolamento de fachada – equipamentos dentro (direita) e fora (esquerda) da sala de aula</i>	47
<i>Figuras 10a e 10b – Cabo plano Ar 0014 utilizado na medição de isolamento acústico</i>	48
<i>Figura 11 – Gráfico de isolamento acústico fornecido pelo software BK 7830</i>	48
<i>Figura 12 – Composição dos blocos de salas de aula padrão 010</i>	54
<i>Figura 13 – Leiaute escola Alfredo Parodi</i>	54
<i>Figura 14 – Leiaute escola professora Luiza Ross</i>	55
<i>Figura 15 – Composição dos blocos de salas de aula padrão 022</i>	57
<i>Figuras 16a e 16b - Disposição dos blocos de salas de aula das escolas Anibal Khury Neto e Paulo Freire respectivamente.</i>	58
<i>Figura 17 – Leiaute escola Professor Paulo Freire</i>	58
<i>Figura 18 – Leiaute escola Anibal Khury Neto</i>	59
<i>Figura 19 – Composição dos blocos de salas de aula padrão 023</i>	61
<i>Figura 20 – Corte transversal bloco de salas de aula padrão 023</i>	62
<i>Figura 21 – Leiaute escola Walde Rosi Galvão</i>	63
<i>Figura 22 – Leiaute escola Luarlindo dos Reis Borges</i>	64
<i>Figura 23 – Análise em freqüência do ruído no entorno da escola Alfredo Parodi</i>	66

<i>Figura 24 – Medição do ruído de fundo em sala vazia com as demais em aula (padrão 010)</i>	67
<i>Figura 25 – Pátio de educação física localizado próximo as sala de aula – escola Luiza Ross</i>	69
<i>Figura 26 – Croqui indicando pátio de educação física – escola Alfredo Parodi</i>	69
<i>Figura 27 – Pátio de educação física localizado próximo à sala de aula – escola Alfredo Parodi</i>	70
<i>Figura 28 – Análise em frequência do ruído proveniente das aulas de educação física (Alfredo Parodi)</i>	72
<i>Figuras 29a e 29b – Sala de aula escola Alfredo Parodi e Luiza Ross</i>	74
<i>Figuras 30a e 30b – Material do piso e teto das salas de aula (Luiza Ross)</i>	74
<i>Figura 31 – Comparação entre os tempos de reverberação das salas de aula do padrão 010</i>	75
<i>Figura 32 – Comparação entre os tempos de reverberação com sala vazia, sala com 50% e 100% de ocupação (Alfredo Parodi)</i>	76
<i>Figuras 33a e 33b – Fachada dos blocos de salas de aula das escolas Luiza Ross (esquerda) e Alfredo Parodi (direita)</i>	77
<i>Figura 34 – Isolamento acústico de fachada escola Alfredo Parodi</i>	78
<i>Figuras 35a e 35b - Corredor entre salas de aula das escolas Alfredo Parodi (esquerda) e Luiza Ross (direita)</i>	79
<i>Figura 36 – Isolamento acústico entre sala de aula e corredor (Alfredo Parodi)</i>	80
<i>Figuras 37a e 37b – Vias de acesso escola Paulo Freire</i>	81
<i>Figura 38 – Medição do ruído de fundo em sala vazia com as demais em aula (padrão 022)</i>	83
<i>Figuras 39 – Leiaute escola Anibal Khury Neto</i>	85
<i>Figura 40a e 40b – Crianças em atividade de ed. física no pátio e na quadra de esportes (escola Anibal Khury Neto)</i>	86
<i>Figuras 41 - Leiaute escola Paulo Freire</i>	88
<i>Figura 42a e 42b – Blocos de salas de aula intermediário e dos fundos (escola Paulo Freire)</i>	88
<i>Figuras 43a e 43b – Sala de aula escola Anibal Khury Neto e Paulo Freire</i>	91
<i>Figuras 44a e 44b – Material do piso e teto das salas de aula (Paulo Freire)</i>	92
<i>Figura 45 – Comparação entre os tempos de reverberação das salas de aula do padrão 023</i>	92



<i>Figura 46 – Comparação entre os tempos de reverberação com sala vazia, 50% de ocupação e 100% de ocupação (Anibal Khury Neto)</i>	94
<i>Figura 47a e 47b – Fachada dos blocos de salas de aula (escola Anibal Khury Neto)</i>	95
<i>Figura 48 – Isolamento de fachada Anibal Khury Neto</i>	96
<i>Figura 49 – Estado de conservação de algumas salas de aula</i>	97
<i>Figura 50 – Medição do ruído de fundo em sala vazia com as demais em aula (padrão 023)</i>	99
<i>Figura 51 – Análise em frequência do ruído em sala de aula vazia com as demais em aula (escola Luarlindo dos Reis Borges)</i>	100
<i>Figura 52 – Posicionamento do aparelho de medição (Walde Rosi Galvão)</i>	102
<i>Figuras 53a e 53b – Quadras de esporte escola Walde Rosi Galvão</i>	102
<i>Figuras 54a e 54b – Pátio de educação física e afastamento entre salas de aula e o pátio</i>	103
<i>Figuras 55 – Distribuição dos ambientes na escola Luarlindo dos Reis Borges</i>	104
<i>Figura 56 – Trem ao fundo da escola Luarlindo dos Reis Borges</i>	105
<i>Figura 57 – Análise em frequência do ruído produzido pelo trem próximo a escola Luarlindo dos Reis Borges</i>	106
<i>Figuras 58a e 58b – Salas de aula das escolas Luarlindo dos Reis Borges e Walde Rosi Galvão</i>	107
<i>Figuras 59a e 59b – Material do piso e paredes das salas de aula das escolas Luarlindo dos Reis Borges (esquerda) e Walde Rosi Galvão (direita)</i>	108
<i>Figura 60 – Comparação entre os tempos de reverberação das salas de aula do padrão 023</i>	108
<i>Figura 61 – Comparação entre os tempos de reverberação com sala vazia, 50% de ocupação e 100% de ocupação (Walde Rosi Galvão)</i>	109
<i>Figura 62 – Fachada escola Luarlindo dos Reis Borges</i>	111
<i>Figura 63 – Isolamento de fachada Luarlindo dos Reis Borges</i>	112
<i>Figura 64 – Blocos de tijolos de vidro utilizados nas salas de aula do padrão 023</i>	113
<i>Figura 65 – Isolamento entre sala de aula e corredor (Luarlindo dos Reis Borges)</i>	114
<i>Figura 66 – Respostas para a pergunta: Você ouve bem a voz do seu professor durante a aula?</i>	115
<i>Figura 67 – Opinião dos alunos quanto a audição em sala de aula</i>	116

<i>Figura 68 – Procedência dos ruídos que mais incomodam em sala de aula</i>	117
<i>Figura 69 – Ruídos produzidos em sala de aula que mais incomodam</i>	118
<i>Figura 70 – Ruídos da escola que são mais ouvidos em sala de aula</i>	119
<i>Figura 71 – Ruídos de fora da escola mais ouvidos pelos alunos em sala de aula</i>	120
<i>Figura 72 – Quando o ruído mais atrapalha os alunos em sala de aula</i>	121
<i>Figura 73 – Escore por padrão construtivo para o ruído produzido pelos alunos de salas vizinhas</i>	124
<i>Figura 74 – Resposta dos professores sobre a influência do ruído no desempenho escolar dos alunos</i>	127
<i>Figura 75 – Relação entre o padrão construtivo e a necessidade de elevar a voz durante as aulas</i>	129
<i>Figura 76 – Comparação entre os tempos de reverberação padrões 010, 022 e 023</i>	133

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Áreas de absorção sonora equivalente dos elementos adicionais de funcionalidade do ambiente</i>	7
<i>Tabela 2 – Métodos de medição do isolamento acústico de fachadas</i>	16
<i>Tabela 3 - Limites para ruído ambiente de acordo com a função da sala [dB(A)].</i>	30
<i>Tabela 4 – Tempo de reverberação em salas de aula segundo Decreto Francês</i>	31
<i>Tabela 5 – Níveis máximos de ruído de fundo e tr máximo em salas mobiliadas e desocupadas</i>	32
<i>Tabela 6 – STC mínimo para isolamento entre sala de aula e espaços adjacentes</i>	32
<i>Tabela 7 – Isolamento acústico em função do uso do ambiente - segundo Decreto Francês</i>	33
<i>Tabela 8 – Ambientes com níveis de ruído semelhantes</i>	37
<i>Tabela 9 – Ruído de tráfego no entorno das escolas do padrão 010</i>	65
<i>Tabela 10 – Níveis de ruído em sala de aula vazia com as demais em aula – escolas do padrão 010</i>	67
<i>Tabela 11 – Níveis de ruído em sala de aula vazia ao lado do pátio de educação física – escolas do padrão 010</i>	71
<i>Tabela 12 – Valores para o índice de redução sonora aparente <math>R'_{45^\circ}</math> da escola Alfredo Parodi</i>	78
<i>Tabela 13 – Valores para o índice de redução sonora aparente <math>R'</math> (Alfredo Parodi)</i>	80
<i>Tabela 14 – Ruído de tráfego no entorno das escolas do padrão 022</i>	82
<i>Tabela 15 – Níveis de ruído no período de férias escolares (escola Anibal Khury Neto)</i>	82
<i>Tabela 16 – Níveis de ruído em sala de aula vazia com atividades de educação física no pátio (Anibal Khury Neto)</i>	86
<i>Tabela 17 – Níveis de ruído em sala de aula vazia com atividades de educação física no pátio (escola</i>	

<i>Paulo Freire)</i> _____	89
<i>Tabela 18 – Níveis de ruído durante uma aula de português (Anibal Khury Neto)</i> _____	90
<i>Tabela 19 – Valores para o índice de redução sonora aparente <math>R'_{45^\circ}</math> da fachada composta por portas (Anibal Khury Neto)</i> _____	95
<i>Tabela 20 – Níveis de ruído de tráfego no entorno das escolas do padrão 023</i> _____	97
<i>Tabela 21 – Ruído de fundo do bloco de salas de aula da escola Luarlindo dos Reis Borges</i> _____	98
<i>Tabela 22 – Níveis de ruído em sala de aula vazia com as demais em aula – escolas do padrão 023</i> _____	99
<i>Tabela 23 – Níveis de ruído no corredor entre salas de aula em atividade – escolas do padrão 023</i>	101
<i>Tabela 24 – Níveis de ruído decorrentes das atividades de educação física – escola Walde Rosi Galvão</i> _____	103
<i>Tabela 25 – Valores para o índice de redução sonora aparente <math>R'_{45^\circ}</math> da escola Lurlindo dos Reis Borges.</i> _____	111
<i>Tabela 26 – Valores para o índice de redução sonora aparente <math>R'</math> (Luarlindo dos Reis Borges)</i> __	113
<i>Tabela 27 – Cruzamento entre questões: Posição em que o aluno senta X Como ouve o professor</i>	117
<i>Tabela 28 – Ruídos externos mais ouvidos em sala de aula em cada escola avaliada.</i> _____	120
<i>Tabela 29 – Respostas dos professores para os ruídos produzidos na escola que mais perturbam em sala de aula</i> _____	123
<i>Tabela 30 – Resposta dos professores para o incômodo causado pelos ruídos de fora da escola</i> _	125
<i>Tabela 31 – Resposta dos professores para a situação que gera maior interferência na sala de aula</i> _____	125
<i>Tabela 32 – Resposta dos professores para quais atividades em sala de aula mais afetadas pelo ruído</i> _____	126

<i>Tabela 33 – Respostas dos professores sobre a influência que o ruído exerce sobre o rendimento escolar separadas por padrão construtivo</i>	127
<i>Tabela 34 – Respostas dos professores sobre a influência que o ruído exerce sobre os mesmos</i>	128
<i>Tabela 35 – Adequação segundo premissas de conforto acústico da implantação das escolas</i>	130
<i>Tabela 36 – Ruído de fundo em sala de aula vazia comparados às normas NBR 10152 e ANSI S12.60</i>	131
<i>Tabela 37 – Comparação dos valores medidos de isolamento acústico com recomendações da norma ANSI S12.60</i>	135
<i>Tabela 38 – Resumo dos resultados obtidos comparados às normas de conforto acústico - distribuídos por padrão construtivo</i>	136

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI – American National Standards Institute

DIN – Deutsches Institut Für Normung

FUNDEPAR – Instituto de Desenvolvimento Educacional do Paraná

ISO - International Organization for Standardization

NBR – Norma Brasileira

STC – Sound Transmission Class

WHO – World Health Organization

## RESUMO

Esta pesquisa apresenta a avaliação acústica de salas de aula dos padrões construtivos 010, 022 e 023 de escolas públicas construídas no Estado do Paraná pela FUNDEPAR, contemplando dois aspectos: avaliação qualitativa e subjetiva. A avaliação qualitativa foi composta por medições de parâmetros acústicos como ruído de fundo (ruído ambiente), tempo de reverberação e isolamento acústico. As medições seguiram prescrições internacionais segundo as normas ISO 140-4, ISO 140-5 ISO 717-1 e ISO 3382. A avaliação subjetiva foi baseada na aplicação de questionários a alunos e professores. Para a realização da pesquisa foram selecionadas duas escolas de cada padrão construtivo, as quais estão localizadas nos municípios de Curitiba e Pinhais. Os resultados das medições acústicas foram confrontados com as normas NBR 10151, NBR 10152 e ANSI S12.60. Os resultados da avaliação qualitativa ainda foram confrontados com os resultados da avaliação subjetiva, o que promoveu a validação interna da pesquisa. Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que: 1) o tempo de reverberação das salas avaliadas não atende aos padrões internacionais, onde o tempo de reverberação médio medido foi de 1,5 s, sendo que o recomendado para as mesmas é 0,6 s; 2) o isolamento sonoro das fachadas apresentou para o *Weighted apparent sound reduction index*  $R'_{45^{\circ},w}$  os valores: 10 dB (padrão 010), 26 dB (padrão 022) e 15 dB (padrão 023), sendo recomendado o valor de 50 dB; 3) as medições do ruído de fundo mostraram que o mesmo supera em muito os valores limites estabelecidos pela NBR 10152. Dos resultados constata-se a total falta de qualidade acústica das salas de aula, acarretando prejuízos irreparáveis ao processo de ensino-aprendizagem, uma vez que o mesmo é baseado na transmissão oral do conhecimento. Constatou-se também que o principal ruído percebido não provém do entorno, mas é gerado pela própria escola. As entrevistas com professores e alunos mostraram que o ruído gerado na própria sala de aula, seguido do ruído gerado nas salas de aula vizinhas, são as principais fontes de incômodo. Esta pesquisa pretende contribuir para a necessária transformação das concepções dos profissionais envolvidos no projeto e planejamento de edificações escolares.

**Palavras-chave:** acústica de salas de aula, conforto acústico, ruído, tempo de reverberação, isolamento acústico.

## ABSTRACT

This study evaluates the acoustics in constructive standard classrooms 010, 022 and 023 of public schools constructed in the state of Paraná by FUNDEPAR, taking two aspects into consideration: qualitative and subjective evaluation. The qualitative evaluation consisted of acoustic measurements of background noise (ambient noise), reverberation time and sound insulation. The measurements were in accordance with international standards ISO 140-4, ISO 140-5, ISO 717-1 and ISO 3382. The subjective evaluation was based on the application of questionnaires distributed to students and teachers. Two schools, both built to standard and located in the municipalities of Curitiba and Pinhais, were chosen for the study. The acoustic measuring results were compared to the NBR 10151, NBR 10152 and ANSI S12.60. The qualitative evaluation results were further compared to the subjective evaluation results, promoting the study's internal validation. Based on the results obtained it can be affirmed that: 1) reverberation time in the evaluated classrooms does not meet international standards, with the average reverberation time measured being 1.5 s, while that recommended for the same rooms is 0.6 s; 2) the airborne sound insulation of façades presented the following values for the Weighted apparent sound reduction index  $R'_{45^{\circ},w}$ : 10 dB (standard 010), 26 dB (standard 022) and 15 dB (standard 023), with the recommended value being 50 dB; 3) the background noise measurements greatly exceeded the limit values established by NBR 10152. The results confirmed the lack of acoustic quality in the classrooms, causing irreparable damage to the teaching-learning process, since this is based on oral knowledge transmission. It was also established that the main noise did not come from the neighbourhood but was generated by the school itself. The interviews conducted with teachers and students showed that the noise generated in the classroom itself, followed by the noise generated by neighboring classrooms, were the main sources of annoyance. The aim of this study is to contribute to changing the concept of professionals involved in the design and planning of school buildings.

**Key words:** Classroom acoustic, acoustic comfort, noise, reverberation time, sound insulation.



## 1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre os efeitos do ruído em crianças da pré-escola têm mostrado uma conexão entre a exposição ao ruído crônico e à alfabetização. Projetos de escolas que dão maior atenção para características acústicas têm como consequência melhor aproveitamento escolar (MAXWELL e EVANS, 2000).

Segundo MARTINS (2002) a criança de hoje tem como única opção aprender em salas barulhentas, onde o ruído ambiental compete com a voz do professor, resultando em maior esforço e elevado nível de concentração por parte da criança. Conforme SEEP et al. (2002) o aprendizado de crianças pequenas é especialmente dependente de uma boa condição acústica, pois são incapazes de “inferir no contexto”, devido ao fato de possuírem vocabulário e experiência limitados. Quando, na explicação da professora, perdem algumas palavras, são menos capazes que os alunos mais velhos para “preencher” os pensamentos perdidos.

A diminuição da atenção e fadiga mental, o atraso no aprendizado da leitura, o mascaramento da fala com decréscimo da inteligibilidade do conteúdo das aulas e a falta de interesse em entender o que está sendo ensinado, são problemas resultantes da exposição ao ruído. MARTINS (2002) também levanta alguns questionamentos: 1) O que podemos fazer pelas crianças? 2) Nascidas e educadas no barulho, como serão suas habilidades acadêmicas? 3) Como serão suas habilidades para entender e reconhecer a fala? 4) Qual a relação Sinal/Ruído de seu ambiente de aprendizagem? 5) Como determinar se têm ou não dificuldades para aprender?

De acordo com LORO (2003) na construção do conhecimento, a fala é o principal meio de comunicação e qualquer distúrbio que sofra pode prejudicar a concentração e aprendizado dos alunos. Segundo MARTINS (2002) o ruído nas

escolas pode ser um fator que, de forma negativa, afeta tanto os professores quanto os alunos.

No lançamento de um projeto arquitetônico de escolas, um dos principais aspectos a ser considerado é o desempenho acústico de salas de aula, pois esse espaço é destinado à realização de tarefas que exigem um alto nível de concentração (LORO, 2003). Como o nível de ruído influencia diretamente na percepção do aluno, torna-se um fator determinante na concepção de salas de aula, pois ruídos excessivos podem causar danos à saúde de alunos e professores. Por outro lado, salas com bom desempenho acústico são ambientes propícios à aprendizagem e concentração.

KARABIBER e VALLET (2003) descrevem que os componentes de ruídos aos quais os alunos estão expostos nas salas englobam tanto os ruídos gerados no meio externo (tráfego de veículos, aviões, trens, equipamentos, etc), como também os produzidos pelos professores e alunos. Ambientes com alto nível de ruído exigem do aluno considerável esforço para assimilar as informações, pois a tarefa de atenção auditiva procura hierarquizar um estímulo sonoro em detrimento dos demais. Conforme RUSSO (1995) a combinação de ruído e tempo de reverberação superior a 1,2 s revela significativa piora na percepção dos sons da fala, indicando as condições acústicas das salas de aula como críticas para possibilitar um processo de aprendizagem adequado.

SEEP et al. (2002) relatam que no ano de 1998, 7,9 bilhões de dólares foram gastos em prédios escolares nos Estados Unidos e questionam por que os problemas acústicos nas salas de aula são endêmicos se existem soluções que não são necessariamente caras? A razão principal, descrita pelo autor, não é a falta de recursos, mas sim, a falta de percepção do problema e suas soluções.

A renovação de salas de aula mal projetadas é consideravelmente mais cara que a construção de salas onde o planejamento, seguindo os critérios acústicos, é elaborado desde a fase de projeto. SEEP et al. (2002) ainda descrevem

que o melhor modo de resolver problemas acústicos é evitá-los ainda nessa etapa. Problemas acústicos, no decorrer do processo de planejamento, podem geralmente ser evitados com uma diferente disposição dos mesmos materiais de construção a partir de uma reflexão prévia.

Deve-se ressaltar que, apesar de mais oneroso, o custo de renovação ainda é pequeno se comparado aos custos sociais decorrentes de salas com baixa qualidade acústica, prejudiciais ao aprendizado de milhões de crianças (SEEP et al., 2002). É necessário, portanto, na busca de soluções para o problema causado pelo ruído, considerar todas as soluções possíveis analisadas devido ao custo/benefício (LUBMAN e SUTHERLAND, 2001).

O Governo do Estado do Paraná construiu 400 escolas entre os anos de 1996 e 2003, perfazendo uma rede de 4250 novas salas de aula em 399 municípios. O investimento foi de R\$ 500 milhões, aproximadamente (LORO, 2003). As salas de aula nesse estado são construídas segundo um projeto padrão, onde todos aspectos componentes do projeto são executados igualmente em todas as regiões do estado. Conforme exposto, percebe-se a importância no estudo da qualidade do ambiente acústico das salas de aula, pois havendo erro ou deficiência em uma delas, propagar-se-á por todas as outras.

### 1.1. PROBLEMA DE PESQUISA, OBJETIVO E HIPÓTESE.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade acústica das salas de aula das escolas estaduais do Paraná.

Sabendo-se que as escolas estaduais paranaenses são construídas a partir de um projeto padrão, a pergunta a ser respondida é qual a qualidade acústica das salas de aula construídas a partir de um projeto padrão?

Os “Projetos Padrão” de salas são desenvolvidos pela FUNDEPAR e implantados em diversos municípios do Estado. Todas as escolas possuem o

mesmo projeto arquitetônico, estrutural e elétrico, bem como os mesmos detalhes construtivos e materiais de acabamento.

A hipótese da pesquisa é que as salas de aula da rede estadual de ensino não apresentam condições de conforto acústico, pois na concepção do projeto os critérios acústicos não são considerados.

Para a realização deste trabalho foram selecionadas seis escolas estaduais da região metropolitana de Curitiba, sendo duas de cada padrão construtivo. Os padrões selecionados foram 010, 022 e 023.

A unidade de análise da pesquisa é a sala de aula.

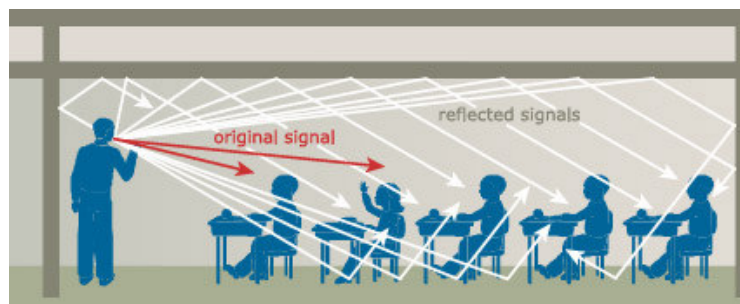
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CONCEITOS UTILIZADOS EM ACÚSTICA DE SALAS DE AULA

#### 2.1.1. Tempo de reverberação

Suponha uma fonte emitindo som em uma sala. O som que viaja da fonte a um ouvinte através do ar sem qualquer reflexão, é chamado som direto. É o primeiro som percebido pelo ouvinte, pois viaja diretamente da fonte ao ouvinte pelo caminho mais curto (HARRIS, 1994). Esse som é, então, seguido por reflexões das paredes, teto, piso e objetos dentro da sala (figura 1).

FIGURA 1 – COMPORTAMENTO DO SOM



Em geral, as ondas refletidas chegam em uma sucessão tão rápida que não são ouvidas como repetições distintas do som original. Isso deve-se ao fato do ouvido não conseguir distinguir dois sons se estiverem espaçados em um tempo de aproximadamente 0,06 s. Como resultado, uma série de reflexões é ouvida como um prolongamento do som original. Esse prolongamento, após a interrupção da fonte, denomina-se reverberação. O tempo de reverberação (TR) é definido como o tempo necessário para o nível de pressão sonora em uma sala diminuir em 60 dB após ser cessada a fonte de emissão (HARRIS, 1994).

O tempo de reverberação é fortemente dependente do volume da sala, frequência sonora e absorção sonora total da sala (CARVALHO, 1967; HARRIS,

1994; BRUEL e KJAER, 2003). Em salas com superfícies altamente refletivas, o tempo de reverberação é relativamente longo, enquanto que em uma câmara anecóica, onde as paredes, piso e teto são cobertos por material altamente absorvente, o tempo de reverberação é muito próximo a zero (BRUEL e KJAER, 2003).

BATISTA (1998) afirma que a reverberação não deve ser confundida com o eco, pois o eco é uma reflexão única, um pouco deformada do som original. Segundo afirma o autor, o eco repete o som, já a reverberação o prolonga.

É comum, quando o tempo de reverberação é grande, se entender somente com nitidez o final dos sons emitidos e a última sílaba das palavras, criando uma desagradável mistura de sons (CARVALHO, 1967).

É importante o tempo de reverberação satisfazer o uso planejado da sala. Um TR muito longo torna a fala menos inteligível e produz altos níveis de ruído de fundo. Já um TR curto enfraquece o ruído de fundo, entretanto, amortece a fala (BRUEL e KJAER, 2003).

### 2.1.2. Cálculo do tempo de reverberação

Existem muitas fórmulas para o cálculo, conforme apresentadas nos estudos realizados por BISTAFA e BRADLEY (2000), NEUBAUER (2001) e BRADLEY (2002). Entretanto, a mais difundida é a Fórmula de Sabine.

O professor de física Wallace Clement Sabine, da Universidade de Harvard, desenvolveu a primeira fórmula para o tempo de reverberação, dada por:

$$TR = \frac{0,163 V}{A} \quad [s] \quad (1)$$

Onde:

TR = Tempo de reverberação [s]

V = Volume do compartimento em estudo [m<sup>3</sup>]

$A$  = Absorção sonora equivalente [ $m^2$ ]

A absorção sonora equivalente é dada pela equação 2:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad [m^2] \quad (2)$$

Onde:

$\alpha_i$  = coeficiente de absorção sonora de cada elemento construtivo;

$S_i$  = área da superfície de cada elemento construtivo.

HARRIS (1998) e HOHMANN et al. (2004) apresentam a fórmula de Sabine com um complemento referente à área de absorção sonora equivalente. Segundo os autores, além dos elementos construtivos da sala, deve-se considerar as áreas de absorção sonora dos elementos adicionais de funcionalidade do ambiente (no caso de escolas: lousa, mesas, carteiras escolares e pessoas), bem como a atenuação sonora do ar, onde “A” é calculado como:

$$A = A_a + A_b + A_e + A_p + A_l \quad [m^2] \quad (3)$$

A definição de cada elemento envolvido na determinação da área de absorção sonora equivalente apresentada na equação 3 está descrita na tabela 1:

TABELA 1 – ÁREAS DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE DOS ELEMENTOS ADICIONAIS DE FUNCIONALIDADE DO AMBIENTE

$A$	Absorção sonora equivalente da sala	$m^2$
$A_b$	Absorção sonora equivalente das paredes	$m^2$
$A_e$	Absorção sonora equivalente dos objetos	$m^2$
$A_p$	Absorção sonora equivalente referente às pessoas	$m^2$
$A_l$	Absorção sonora equivalente do ar no ambiente	$m^2$

FONTE: HOHMANN et al. (2004)

Segundo MILLINGTON (1932), a fórmula de Sabine é a mais adequada no cálculo do tempo de reverberação. Um estudo realizado por ZANNIN et al. (2005) comparou os resultados de valores medidos com os resultados de cálculo fornecidos pela fórmula de Sabine tradicional e pela fórmula de Sabine modificada (que considera as áreas relativas à funcionalidade do ambiente). Os resultados demonstraram que os valores de tempos de reverberação fornecidos pela fórmula de Sabine modificada foram, na maioria dos casos, mais similares aos obtidos nas medições *in situ*.

A fórmula de Sabine deve ser utilizada com cuidado em salas com absorção significativas (BERANEK e VÉR, 1992). Segundo FASOLD e VERES (2003) a condição para a aplicação da Equação de Sabine é o coeficiente médio de absorção sonora do ambiente ser de até  $\bar{\alpha}_{ambiente} = 0,3$  (ambientes “vivos”, ou seja, muito reverberantes). Ainda, segundo os autores, quando o  $\bar{\alpha}_{ambiente}$  for maior que 0,3 (“salas mortas”, ou seja, com muita absorção) deve-se usar a equação de Eyring:

$$TR = \frac{0,163V}{-S \ln(1 - \alpha_m)} \quad [s] \quad (4)$$

Onde:

TR = Tempo de reverberação [s]

V = Volume do compartimento em estudo [m<sup>3</sup>]

S = Área total das superfícies [m<sup>2</sup>]

ln = Logaritmo neperiano da expressão (1 -  $\alpha_m$ )

$\alpha_m$  = coeficiente médio de absorção - somatório de todos os coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) multiplicados pela área (s) da superfície de absorção, dividido pela área total das superfícies, ou seja,  $\alpha_m = \frac{\sum (S_i \alpha_i)}{S}$ .



GERGES (1992) comenta que, para salas com muita absorção, além da equação proposta por Eyring, pode-se utilizar a equação desenvolvida por Millington e Sette:

$$TR = \frac{0,161V}{\sum_i S_i \ln(1 - \alpha_i)} \quad [s] \quad (5)$$

Onde:

TR = Tempo de reverberação [s]

V = Volume do compartimento em estudo [m<sup>3</sup>]

S<sub>i</sub> = Área de cada superfície [m<sup>2</sup>]

ln = Logaritmo neperiano da expressão (1 - α<sub>i</sub>)

α<sub>i</sub> = coeficiente de absorção de cada superfície

Segundo GERGES (1992), quando se tem materiais de absorção com coeficientes de absorção em faixas altas, no cálculo do tempo de reverberação, a equação 5 fornece valores com melhor precisão do que as equações 1 e 4.

### 2.1.3. Absorção

Absorção sonora é a propriedade de certos materiais transformarem parte da energia sonora que incide sobre eles em outra forma de energia, geralmente térmica (BERANEK, 1960; HARRIS, 1998).

Pode-se entender o efeito da absorção por meio de uma medição acústica do nível de pressão sonora gerado por uma fonte fixa em ambiente fechado. Em vez do nível de pressão sonora crescer indefinidamente se estabiliza logo, significando que parte da energia sonora incidente é absorvida pelas diferentes superfícies da sala. Se mais material absorvente for adicionado à sala o nível de pressão sonora diminui, pois a energia das reflexões é reduzida (BRUEL e KJAER, 2003).

Denomina-se “Coeficiente de Absorção Sonora” ( $\alpha$ ) a fração da energia sonora que incide sobre determinado material e é absorvida por ele (HARRIS, 1998). O coeficiente de absorção é expresso por um número entre 0 e 1. Zero (0) significa ausência de absorção (toda a energia incidente é refletida) e o valor um (1) significa absorção total da energia. A absorção sonora de diferentes materiais varia largamente com a frequência do som incidente e com o ângulo de incidência (BRUEL e KJAER, 2003).

BATISTA (1998) menciona que a quantidade de energia absorvida por uma parede é proporcional a sua superfície e ao seu coeficiente de absorção ( $\alpha$ ). Teoricamente, segundo o autor, um material infinitamente rígido com capacidade máxima de reflexão terá o coeficiente de absorção igual a zero. Já os materiais porosos costumam ter coeficientes de absorção elevados, pois os poros tendem a dissipar a energia sonora das ondas, transformando-a em energia térmica.

#### 2.1.4. Ecos e reflexões

Eco é o fenômeno de reflexão sonora, em que um observador colocado em determinado local torna a ouvir um som ali mesmo emitido após 1/15 s. Qualquer anteparo rígido com mais de 11 metros de distância da fonte irá refletir as ondas que nele incidem.

Esse fato ocorre porque o ouvido humano só começa a distinguir separadamente dois sons breves, quando o intervalo entre eles é maior que 1/15 s. Esse tempo de 1/15 s, à velocidade do som (340 m/s), corresponderá a uma distância de 22 metros, ou seja, duas vezes 11 metros, caso de ida e volta do som (SILVA, 1997).

Conforme BATISTA (1998) em um ambiente interno com pé direito muito alto será provável a existência de ecos. A autora ainda sugere como solução a esse fenômeno a utilização de material absorvente, como também painéis no teto que direcionem o som.

### 2.1.5. Nível de pressão sonora

Segundo KNUDSEN e HARRIS (1988) o nível de pressão sonora caracteriza o som percebido pelo ouvido humano, expresso em dB. O nível de pressão sonora é representado pela sigla NPS e o seu valor é obtido pela fórmula:

$$NPS = 20 \text{Log} \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad (6)$$

Onde:

$p$  é a Pressão sonora do som medido em Pa;

$p_0$  é a Pressão sonora de referência igual a  $2 \times 10^{-5}$  Pa ou  $20 \mu\text{Pa}$ , correspondente ao limiar da audibilidade.

### 2.1.6. Isolamento acústico

A NBR 12179 (1992) estabelece o isolamento acústico como o processo pelo qual se procura evitar a entrada ou saída de ruídos ou sons em um determinado recinto. RECCHIA (2001) descreve que o ruído pode se propagar em uma edificação através do ar, denominado ruído aéreo; ou através da própria estrutura, denominado ruído de impacto.

De acordo com FASOLD e VERES (2003) quando uma onda de pressão sonora encontra um obstáculo, parte de sua energia volta sob forma de onda de pressões refletidas e parte produz uma vibração de moléculas do novo meio. De forma simplificada, pode-se dizer que parte da intensidade total do som incidente é absorvida e parte refletida. Parte da energia de vibração será dissipada na forma de calor, decorrente dos atritos que as moléculas enfrentam no seu movimento ondulatório; outra parte voltará ao meio original somando-se a energia refletida. O restante contido na vibração da própria parede produzirá vibração no seu lado oposto, porém o seu nível de ruído é mais baixo que o nível do som incidente.

### 2.1.6.1. Isolamento acústico entre dois ambientes

O isolamento acústico entre dois ambientes é calculado pela diferença do nível de pressão sonora entre as salas de emissão e de recepção, acrescido de um fator que considera a absorção sonora na sala onde o som é recebido. A absorção pode ser determinada a partir do volume e do tempo de reverberação da sala (BRUEL e KJAER, 2003).

A propagação do som varia em função das propriedades e dimensões das paredes divisórias entre as salas. Em qualquer construção há muitas possibilidades de trajetórias de transmissão do som. Na maioria dos casos, parte do som produzido em uma sala é transmitida indiretamente pelos elementos flanqueados como paredes laterais, tetos e pisos, para salas adjacentes (ELMALLAWANY, 1983).

A perda de transmissão sonora entre duas salas depende do material utilizado na execução da divisória em comum, bem como da trajetória de flanqueamento (ELMALLAWANY, 1983).

A norma ISO 140-4 (1978) apresenta duas definições utilizadas na determinação do isolamento aéreo entre dois ambientes:

- 1) Diferença de nível padronizada ( $D_{nT}$ ), conhecido internacionalmente como "*Standardized Level Difference*": onde o tempo de reverberação do ambiente de recepção relaciona-se ao tempo de reverberação de referência.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

Onde:

$L_1$  = Nível de pressão sonora no local de emissão acústica (dB);

$L_2$  = Nível de pressão sonora no local de recepção (dB);

$T$  = tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (s);

$T_0$  = tempo de reverberação de referência (0,5 s).

2) Índice de Redução Sonora Aparente ( $R'$ ), conhecido internacionalmente como “*Apparent Sound Reduction Index*”: considera a área da parede, e a área de absorção sonora equivalente da sala de recepção, supondo a existência de campos sonoros difusos nos dois ambientes.

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

Onde:

$L_1$  = Nível de pressão sonora no local de emissão acústica (dB);

$L_2$  = Nível de pressão sonora no local de recepção (dB);

$S$  = Área da parede comum entre o local de emissão e o de recepção ( $\text{m}^2$ );

$A$  = Absorção sonora equivalente do ambiente de recepção sonora ( $\text{m}^2$ ).

O Índice de Redução Sonora Aparente ( $R'$ ) fornece valores de isolamento acústico para cada frequência. A norma ISO 717-1 (1996) apresenta um coeficiente único para o isolamento sonoro aéreo relacionado à norma ISO 140-4 (1978), que fornece o valor ponderado do isolamento. Esse coeficiente é denominado internacionalmente como “*Weighted apparent sound reduction index*”, no entanto para um melhor entendimento, nesta pesquisa será adotado o termo traduzido como Índice de Redução Sonora Ponderado ( $R'_w$ ). HARRIS (1998) comenta que esse índice é semelhante à Classe de Transmissão Sonora (STC) – conhecida internacionalmente como “*Sound Transmission Class*” - e, portanto, podem ser comparados entre si.

A Classe de Transmissão Sonora (STC) é um número único para avaliação do isolamento acústico baseado na norma americana ASTM E413. Esse parâmetro é muito utilizado na América do Norte. Quanto maior o valor do STC melhor será o isolamento fornecido pela partição (HARRIS, 1998).

### 2.1.6.2. Isolamento acústico de fachada

Segundo a norma ISO 140-5 (1998), o coeficiente de isolamento acústico de elementos construtivos externos (portas, portões ou janelas) pode ser determinado por dois métodos principais: 1) Método da Caixa de Som (segundo a norma denomina-se “*the loudspeaker method*”): utiliza uma caixa de som como fonte externa de ruído, 2) Método do Tráfego Rodoviário (denominado pela norma como “*the road traffic method*”): utiliza o tráfego de veículos que passa diante da edificação em avaliação como fonte sonora.

A ISO 140-5 (1998) também apresenta outros métodos – não comentados neste trabalho – que utilizam o ruído aeroviário (“*the air traffic method*”) ou ferroviário (“*the railway traffic method*”) como fonte externa de ruído.

Tanto para o Método da Caixa de Som quanto para o Método do Tráfego Rodoviário estão relacionados dois coeficientes para avaliação do isolamento acústico de fachadas, baseados na norma ISO 140-5 (1998) e apresentados abaixo.

- 1) Índice de Redução Sonora Aparente ( $R'_{tr,s}$ ): método para medição do isolamento acústico de elementos construtivos externos quando a fonte sonora é o ruído de tráfego.

$$R'_{tr,s} = L_{eq,1,s} - L_{eq,2} + 10 \log \frac{S}{A} - 3 \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

Onde:

$L_{eq,1,s}$  = Nível de pressão sonora equivalente em campo livre externamente à edificação (dB);

$L_{eq,2}$  = Nível de pressão sonora equivalente no local de recepção (dB);

$S$  = Área da fachada em análise (m<sup>2</sup>);

$A$  = Absorção sonora equivalente do ambiente de recepção sonora (m<sup>2</sup>).

Quando se usa o ruído de tráfego como fonte sonora, deve-se observar que a pressão sonora gerada advém de uma fonte sonora em linha, em contraponto a uma pressão gerada por uma fonte difusa (dodecaédrica) em laboratório. Portanto, o coeficiente de isolamento acústico é calculado 3 dB abaixo, para que o isolamento medido legitimado em laboratório para um elemento construtivo possa ser alcançado com o uso do ruído de tráfego como fonte sonora.

- 2) Diferença de Nível Padronizada ( $D_{tr,2m,nT}$ ): método para medição do isolamento acústico global de fachada quando a fonte sonora é o ruído de tráfego e o microfone externo está posicionado a 2 metros da superfície de medição.

$$D_{tr,2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad (10)$$

Onde:

$L_{1,2m}$  = Nível de pressão sonora medido em campo livre externamente a edificação com microfone a 2 metros da superfície de medição (dB);

$L_2$  = Nível de pressão sonora no local de recepção (dB);

$T$  = tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (s);

$T_0$  = tempo de reverberação de referência (0,5 s).

3) Índice de Redução Sonora Aparente ( $R'_{45^\circ}$ ): utilizado para a medição do isolamento acústico dos elementos externos da edificação quando a fonte sonora é uma caixa de som e quando o ângulo de incidência do som é  $45^\circ$ . O ângulo de incidência sonora é o ângulo entre o centro da caixa de som normal ao centro da superfície da fachada. O  $R'_{45^\circ}$  é calculado por:

$$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} - 1,5 \quad [\text{dB}] \quad (11)$$

Onde:

$L_{1,s}$  = Nível de pressão sonora médio na superfície da fachada (dB)

$L_2$  = Nível de pressão sonora médio no local de recepção (dB)

$S$  = Área da fachada em análise (m<sup>2</sup>);

$A$  = Absorção sonora equivalente do ambiente de recepção sonora (m<sup>2</sup>).

4) Diferença de Nível Padronizada ( $D_{Is,2m,nT}$ ): método para medição do isolamento acústico global de fachada quando a caixa de som é a fonte sonora externa.

$$D_{Is,2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad (12)$$

Onde:

$L_{1,2m}$  = Nível de pressão sonora externo medido com microfone a 2 metros da fachada (dB);

$L_2$  = Nível de pressão sonora no local de recepção (dB);

$T$  = tempo de reverberação do ambiente de recepção sonora (s);

$T_0$  = tempo de reverberação de referência (0,5 s).

TABELA 2 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE FACHADAS

	Opção	Método	Resultado	Aplicação em campo
<b>Método do Elemento</b>	1	<i>Element Loudspeaker</i>	$R'_{45^\circ}$	Método preferencial para estimar "The Apparent Sound Reduction Index" dos elementos da fachada.
	2	<i>Element road traffic</i>	$R'_{tr,s}$	Método alternativo da opção 1, utilizado quando os níveis de ruído de tráfego são suficientes para a avaliação.
<b>Método global</b>	3	<i>Global road traffic</i>	$D_{tr,2m,nT}$	Método preferencial para estimar o isolamento global da fachada exposta ao ruído de tráfego.
	4	<i>Global Loudspeaker</i>	$D_{Is,2m,nT}$	Método alternativo da opção 4.

FONTE: ADAPTADO NORMA ISO 140-5 (1998)



Tanto para o método do elemento como para o método global, pode-se utilizar o ruído proveniente de uma caixa de som ou do tráfego de veículos. A ISO 140-5 (1998), tabela 2, sugere o mais indicado para cada um dos métodos.

Os métodos acima apresentados fornecem os valores para o isolamento acústico de fachadas distribuído por frequências. Para o isolamento entre dois ambientes, a ISO 717-1 (1996) apresenta um número único para representar o isolamento fornecido pela partição denominado “*Weighted apparent sound reduction index*”. Para melhor entendimento, nesta pesquisa adotar-se-á o termo traduzido como Índice de Redução Sonora Ponderado.

Para o Índice de Redução Sonora Aparente  $R'_{tr,s}$  que utiliza o tráfego de veículos como fonte de ruído, a norma apresenta como número único o Índice de Redução Sonora Ponderado  $R'_{tr,s,w}$ . Para o Índice de Redução Sonora Aparente  $R'_{45^\circ}$  que usa uma caixa de som como fonte de ruído, o número único é dado pelo Índice de Redução Sonora Ponderado  $R'_{45^\circ,w}$ .

### 2.1.7. Ruído de fundo

O ruído de fundo é o ruído proveniente de diversas fontes com exceção da fonte de interesse (HARRIS, 1979). O ruído de fundo introduz um certo grau de mascaramento sobre a fonte de interesse de modo a interferir na capacidade de compreensão do indivíduo.

O ruído de fundo também pode ser denominado ruído ambiente e é conhecido como todo o ruído que, presente em um determinado recinto, não diz respeito ao objeto de apreciação ou medição. No caso de escolas é considerado como todo ruído presente na sala de aula, exceto a voz do professor.

Conforme HARRIS (1979) e DE MARCO (1982) em presença do ruído de fundo, faz-se necessário elevar o nível do som da fonte que se deseja ouvir para ocorrer a percepção correta do som. O ruído de fundo não deve, jamais, mascarar o sinal de interesse (ZANNIN, 2002).

Quando duas pessoas conversam perto uma da outra é irrelevante a influência da sala, pois cada uma recebe o campo direto. Todavia, quando diversas pessoas conversam em grupos separados, como é o caso de atividades em grupo em sala de aula, o ruído de fundo aumentará tornando a conversação difícil. Dessa forma, cada pessoa desejará falar mais alto, a fim de ser compreendida, aumentando ainda mais o ruído de fundo e diminuindo a compreensão da fala. Esse fenômeno denomina-se “Efeito Coquetel” (GERGES, 1992).

De acordo com BATISTA (1998) o ruído de fundo pode ser originário das mais diversas fontes e sempre está presente em condições normais de uso das edificações no dia-a-dia. Qualquer perturbação acústica, segundo o autor, por menor que seja, está contribuindo para o ruído de fundo, seja o barulho das árvores ou dos veículos ao redor da edificação. O ruído de fundo pode não ser percebido conscientemente, mas com certeza está presente.

#### 2.1.8. Relação Sinal/Ruído

A relação sinal/ruído é a diferença entre o sinal acústico da fonte sonora e o ruído de fundo contido no ambiente. SEEP et al. (2002) descrevem a relação sinal/ruído como uma comparação que permite estimar quão compreensível é a fala em um ambiente.

BRADLEY (2002) orienta que o valor ideal de sinal/ruído para salas de aula é +15dB. Estudos têm mostrado que em salas de aula onde a relação sinal/ruído é menor que +10 dB, a inteligibilidade da fala é significativamente abalada para crianças com audição mediana. Para crianças com alguma deficiência auditiva o valor mínimo desejável de sinal/ruído é +15 dB (SEEP et al, 2002).

LOSSO (2003) relata que quanto menor a relação sinal/ruído, maior será o esforço vocal do professor, pois o nível da fala precisa ser aumentado para ser entendido. Segundo SEEP et al. (2002), geralmente a relação sinal/ruído é menor: 1) nos fundos da sala de aula, onde o nível sonoro emitido pelo professor cai para

valores menores; ou 2) perto da fonte de ruído, onde o nível sonoro é máximo, por exemplo, perto de um ar condicionado.

BRADLEY et al. (1999) afirmam que a relação sinal-ruído é muito importante para garantir a inteligibilidade da fala. Segundo os autores não adianta estabelecer tempos de reverberação corretos para uma determinada sala de aula se a relação sinal-ruído adequada ( $> +15$  dB) não for alcançada primeiro.

#### 2.1.9. Inteligibilidade da fala

CORDEIRO (1996) define a inteligibilidade da fala como a relação entre o número de sentenças, palavras ou sílabas entendidas e o número de sentenças, palavras ou sílabas faladas.

A inteligibilidade da fala está diretamente ligada às características e tipo de ocupação do espaço em estudo. Tais características podem ser discriminadas como: 1) volume da sala; 2) nível de ruído de fundo; 3) tempo de reverberação; 4) coeficiente de absorção sonora das superfícies em estudo; 5) distância e orientação entre quem fala e quem escuta (BATISTA, 1998).

SEEP et al. (2002) descrevem que em salas de aula a inteligibilidade da fala pode ser medida a partir do tempo de reverberação e da relação sinal/ruído. Conforme os autores, em uma sala de aula onde o tempo de reverberação é de 0,5 s e a relação sinal/ruído igual a +10 dB, a inteligibilidade será aproximadamente 90%. Entretanto, se a relação sinal/ruído for de 0 dB e o tempo de reverberação de 1,5 s, a inteligibilidade reduzir-se-á para 30%. Os pesquisadores afirmam que, infelizmente, essa condição é real em algumas salas de aula nos Estados Unidos.

BATISTA (1998) considera a inteligibilidade da fala como satisfatória quando 95% das sentenças são compreendidas. Ainda, de acordo com SEEP et al. (2002) em salas de aula onde a inteligibilidade da fala for inferior a 90%, devem ser implantados tratamentos acústicos visando diminuir o tempo de reverberação e melhorar a relação sinal/ruído.

FIORINI (2002) comenta que no processo de aprendizagem a quantidade de informações fornecidas é muito grande, sendo a maior parte composta por assuntos novos para as crianças. Dessa maneira, o cuidado com a qualidade acústica do ambiente de forma a garantir uma recepção adequada, torna-se bastante importante e contribui para os alunos se fixarem apenas aos aspectos cognitivos da percepção auditiva.

Para tanto, é importante conhecer a audibilidade dos sons da fala e as regiões de frequências abrangidas por esses sons. Todas as faixas compreendidas de 250 Hz a 8.000 Hz contêm informações acústicas importantes para o reconhecimento da fala. Nas frequências mais baixas, partindo de 125 Hz, estão informações importantes para a identificação do orador e reconhecimento da mensagem falada (como frequência fundamental, nasalidade, primeiras formantes das vogais e pistas de sonoridade). As frequências médias entre 500, 1000 e 2.000 Hz englobam a maior parte das informações das vogais e consoantes (FIORINI, 2002).

## 2.2. INFLUÊNCIA DO RUÍDO SOBRE O INDIVÍDUO

Até o início do século XX não existia preocupação com o ruído, pois os sons provinham da natureza e estavam em sintonia com o ser humano. Entretanto, com a revolução industrial, com o advento das máquinas e, desde então, o constante desenvolvimento tecnológico, modificou o panorama sonoro. Houve o crescimento dos níveis sonoros, introduzindo a poluição sonora ao cotidiano dos seres humanos e chamando a atenção de pesquisadores, técnicos e órgãos normalizadores (BATISTA, 1998).

A Organização Mundial da Saúde concluiu que o conforto auditivo termina acima de 50 dB(A) e o estresse começa acima de 55 dB(A) (WHO, 1980). CHROUSOS apud PIMENTEL (1997) relata que o aumento significativo da liberação de cortisol (hormônio antiinflamatório) por si só, já a partir de 70 dB(A) e 50 dB(A),

diurno e noturno respectivamente, indica que o organismo está sujeito a profundas alterações hormonais no sistema reprodutor, nas funções de crescimento e da tireóide, no eixo metabólico (acrescentando perda de massa óssea e aumento do tecido adiposo visceral), na função gastrintestinal e imunológica.

Um estudo realizado por EVANS et al. (1998) na região localizada próxima ao novo aeroporto internacional de Munique constatou que a exposição ao ruído crônico de aeronaves eleva o estresse psicológico em crianças jovens. O aumento no estresse psicológico, de acordo com esse estudo, pode ser verificado por testes cardiovasculares, neuro-endócrinos e afetivos. Dados coletados antes e depois da inauguração do novo aeroporto mostraram como o ruído aumenta significativamente o estresse entre crianças a níveis ambientes inferiores aos necessários para produzir danos auditivos.

Conclusão semelhante é apresentada por LERCHER et al. (2003) que avaliaram o estresse psicológico e fisiológico, o incômodo e o processo cognitivo em crianças de escolas primárias, incluindo testes para verificar a atenção e memória. A pesquisa foi realizada considerando uma amostra de 123 alunos do Vale do Tirol (Áustria). A amostra foi dividida em dois grupos sujeitos a níveis de ruído inferiores a 50 dB(A) e superiores a 60 dB(A). O valor de pico para o segundo grupo não ultrapassou 72 dB(A).

VERDUSSEN apud BATISTA (1998) apresenta relatos sobre a produtividade em ambientes que receberam tratamento acústico. As observações mostram relação direta entre o nível sonoro no recinto e a produtividade, pois em escritórios tratados acusticamente verificou-se aumento de 48% no rendimento de trabalho datilográfico, redução de 25% nos erros cometidos por operadores de máquinas de calcular, diminuição de 47% na circulação ociosa das pessoas do escritório, além de uma redução considerável de atritos entre colegas.

Segundo a WHO (2001) níveis sonoros excessivos na escola e em casa, além de influenciarem na qualidade da comunicação verbal, acarretam uma série de

problemas no desenvolvimento intelectual dos alunos como: demora na aquisição da linguagem, dificuldades com a linguagem escrita e falada, limitações na habilidade de leitura e na composição do vocabulário.

Crianças em ambientes de baixa qualidade acústica podem ter sua motivação afetada em determinados aspectos. Outra influência desses ambientes relaciona-se à persistência na conclusão de um quebra-cabeça desafiador (próprio para a idade), pois sob essas condições as crianças apresentam-se menos persistentes (EVANS et al., 2001).

SHIELD e DOCKRELL (2003) realizaram um estudo avaliando a influência do ruído sobre o rendimento dos alunos em testes aplicados pelas próprias escolas. Os testes contemplavam duas faixas etárias: sete e onze anos de idade. O teste aplicado aos alunos de sete anos contemplava cálculos matemáticos e atividades de leitura e escrita. O teste destinado a alunos com idade de onze anos continha questões de inglês, matemática e ciências. Os resultados indicaram que o ruído presente em salas de aula está relacionado à performance dos alunos, tendo um efeito prejudicial sobre o rendimento nos testes. A pesquisa ainda revelou as atividades de leitura como as mais prejudicadas pelo ruído, principalmente para crianças mais velhas.

Um ambiente ruidoso pode, igualmente, levar a mudanças no comportamento das crianças. Ruídos em excesso contribuem para um comportamento agressivo e fácil irritabilidade, o que pode afetar o ambiente social dentro e fora da escola, resultando em discussões e brigas (WHO, 2001).

É muito comum, em refeitórios de escolas, onde o tempo de reverberação é muito longo e o ruído de fundo muito elevado, as crianças serem forçadas a aumentar o tom de voz para garantirem a comunicação, tornando maior o nível de ruído desses ambientes. Esse “círculo vicioso” gera um comportamento agressivo entre as crianças. Entretanto, um ambiente mais calmo e silencioso contribui para

um lugar mais amigável, induzindo as pessoas à, instintivamente, reduzirem o tom de voz, diminuindo também a fadiga (WHO, 2001).

PIMENTEL (2000) afirma que a intensidade de ruído acima do nível 60 dB(A) já ultrapassa 5 dB(A) a fala civilizada, a voz educada passa ao caos sonoro, e o ouvinte, tem distúrbios de atenção e concentração. A inteligibilidade de 100% de palavras fáceis exige a colocação da voz acima de 10 dB do ruído de fundo. Com isso podem ser estressadas as cordas vocais e incompatibilizar as boas condições de concentração, introspecção e serenidade (PIMENTEL, 2000).

Os níveis de ruído também podem exercer maior ou menor influência quando se considera o contexto de diferenças individuais entre crianças. Crianças com dificuldades de leitura e aprendizagem de cálculos matemáticos são mais sensíveis à exposição ao ruído. Estudos sugerem maior suscetibilidade a problemas relacionados ao ruído crônico entre meninos em comparação a meninas, contudo, as meninas podem apresentar-se mais distraídas quando expostas a altos níveis de ruído (EVANS e LEPORE, 1993).

Estudo realizado por ENMARKER E BOMAN (2004), com 207 alunos nas escolas da Suécia, comparou os efeitos do ruído em sala de aula sobre meninos e meninas. Segundo a pesquisa, as meninas apresentaram-se mais irritadas do que os meninos. Quanto à capacidade de concentração, os resultados obtidos por ENMARKER E BOMAN (2004) estão de acordo com EVANS e LEPORE (1993), pois as meninas apresentaram-se mais distraídas que os meninos na presença de ruídos.

### 2.3. ACÚSTICA DE SALAS DE AULA

A educação dos cidadãos é essencial a todas as sociedades modernas. A mais formal ocorre em salas de aula, onde o aprendizado envolve intensiva comunicação verbal entre professores e alunos e entre alunos. A eficiência dessa comunicação, e conseqüentemente, a eficiência do ambiente de aprendizagem são medidas pelas condições acústicas das salas de aula. Ambientes de ensino com

boas condições acústicas facilitam o aprendizado, tornando-o mais fácil, mais profundo e menos estressante (LUBMAN e SUTHERLAND, 2001).

A questão da acústica de salas de aula tem sido amplamente analisada e discutida nos últimos grandes congressos de acústica (International Conference on Acoustics, 2001 – ICA – Roma; FORUM ACUSTICUM, 2002 – Sevilha; Joint Meeting Acoustical Society of América – Sociedade Iberoamericana de Acústica, 2002 – Cancun; EURONOISE, 2003 – Nápoles; International Conference on Acoustics (ICA) – 2004 – Japão; International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 2005 – INTERNOISE – Brasil), constatando-se que o assunto é de interesse de engenheiros, arquitetos, fonoaudiólogos e pedagogos por envolver aspectos do projeto das edificações escolares e seus usuários: alunos e professores.

A presente seção, baseada em pesquisas realizadas no Brasil e em outros países, discute os aspectos que exercem influência sobre as condições de conforto acústico em salas de aula.

Em Omaha (EUA), BOWDEN et al. (2002) desenvolveram um projeto mostrando o estado atual da acústica das salas de aula. Foram estudados dois aspectos influentes na inteligibilidade da fala: níveis de ruído de fundo e tempo de reverberação. Nesse trabalho, antes de cada sessão de medição, foi apresentada uma sala de aula com boa acústica à professora e aos alunos. Foram analisadas, no total, 13 salas de aula com a assistência de 425 alunos do ensino médio e fundamental. Os resultados foram comparados para recomendar níveis de ruído de fundo e tempo de reverberação sugeridos pelos padrões da ANSI S12.60 (2002).

SHIELD e JEFFERY (2001) realizaram uma pesquisa em escolas primárias de Londres onde avaliaram o ruído externo de 142 escolas e o interno de outras 16 escolas. O resultado da pesquisa indicou que os ruídos presentes no interior das escolas são gerados pelas próprias atividades escolares e não pelas fontes



externas. Conclusão semelhante é apontada por LORO (2003) e PAMPANA et al. (2003).

Segundo CRANDELL e SMALDINO (2000), a percepção da fala é afetada pela combinação simultânea de ruído e reverberação com mais intensidade que a soma de ambos os efeitos ocorrendo independentemente. Em uma sala silenciosa, a adição de um ruído específico (por exemplo, ar condicionado) pode reduzir a percepção auditiva em 10%. Semelhantemente, a presença de reverberação em uma sala silenciosa, pode reduzir as habilidades de compreensão da fala, também em 10%. Contudo, os efeitos combinados de ruído e reverberação podem reduzir de 40% a 50% a percepção da fala.

Um trabalho feito por ELLIS (2002) nas escolas públicas no Distrito de Columbia (EUA) menciona os efeitos que a acústica ineficiente das salas de aula tem sobre os alunos. Também são discutidos os resultados imediatos e de longo prazo do *design* acústico inadequado sobre o desenvolvimento acadêmico e social. A partir desse estudo, surgiu a meta de nos próximos anos melhorar a acústica de sala de aula, dentro dos padrões físicos e pedagógicos, de dez escolas por ano.

SOTIRIOS e GEORGE (2005) apresentam uma pesquisa bibliográfica onde os aspectos de dificuldade no aprendizado são relacionados a aspectos acústicos (níveis de ruído e tempo de reverberação). A pesquisa contempla diferentes ambientes de aprendizagem, dentre os quais destacam-se: berçários, escolas de educação primária e secundária. Para cada ambiente foram levantadas as necessidades acústicas específicas, bem como as implicações decorrentes da falta de conforto acústico.

Testes de inteligibilidade da fala em salas de aula foram conduzidos por MULLER et al. (2002) em escolas do Rio de Janeiro, onde dois modelos de escolas estaduais foram confrontados. Os modelos avaliados foram os CIEPs (construídos segundo projeto padrão) e uma escola estadual que segue um modelo arquitetônico tradicional. O resultado para inteligibilidade da fala nos CIEPs alcançou o máximo de

50%, enquanto para o mesmo teste em escola de arquitetura tradicional a inteligibilidade da fala chegou a 80%.

Os efeitos do ruído em sala de aula sobre a atenção e percepção da fala de crianças ensinadas com um segundo idioma foram investigados por NELSON et al. (2005). A língua nativa das crianças participantes do teste era o espanhol, sendo a língua inglesa a segunda. O desempenho desses alunos foi comparado ao desempenho de crianças que têm o inglês como único idioma. Os resultados da pesquisa indicaram que devido as atuais condições acústicas de salas de aula, onde a relação sinal/ruído é igual ou inferior a +10 dB(A), pode ser esperado que algumas crianças experimentem perdas significantes na compreensão da fala. O autor destaca que crianças ensinadas por meio de um segundo idioma apresentam uma evidente desvantagem quanto à percepção da fala em tais salas de aula.

Em Campinas, BERTOLI (2001) realizou um estudo em quinze escolas da rede pública, onde foram medidos os níveis de pressão sonora no interior e exterior da edificação e estimados os tempos de reverberação das salas de aula. Os resultados do estudo mostraram que das quinze escolas avaliadas, apenas duas apresentaram valores de nível de pressão sonora dentro do recomendado por norma.

Os tempos de reverberação estimados por BERTOLI (2001) indicam sérios problemas de conforto acústico no ambiente escolar. A autora destaca os problemas decorrentes de adaptações dos ambientes escolares sem planejamento adequado e cita um exemplo de um salão de festas que, por motivo do aumento da demanda escolar na região, foi adaptado para ser utilizado como sala de aula. Como consequência, o tempo de reverberação estimado foi o mais elevado de todas as salas analisadas.

Na Alemanha, BOBRAN (1995), GERTIS et al. (2000) e LUTZ et al. (2000) relatam que as salas de aula atuais são edificadas com materiais rígidos e duros, resultando em tempos de reverberação elevados para salas vazias, sendo

encontrados valores entre 1,7 e 3,6 s. Contudo, para os mesmos ambientes, com ocupação total, os valores variam entre 1,2 e 1,6 s, concluindo que a lotação da sala apresenta grande influência no tempo de reverberação.

A pesquisa realizada por LORO (2003) nas escolas estaduais do Paraná, também demonstra a influência da ocupação sobre os tempos de reverberação. Nessa pesquisa as salas tinham volume de 151,58 m<sup>3</sup>; os tempos de reverberação obtidos na frequência de 500 Hz variaram de 1,65 segundos (quando vazia) à 0,76 s (quando em lotação de 40 alunos). VALLET et al. (2003) descrevem que, para salas de aula com volume menor ou igual a 250 m<sup>3</sup>, o tempo de reverberação recomendado é de 0,4 a 0,8 s para frequências de 500, 1000 e 2000 Hz.

ASTOLFI et al. (2003), avaliaram o conforto acústico de dezesseis escolas do ensino fundamental e quatro universidades em Turin (Itália), por meio de medições qualitativas e quantitativas. Concluíram que ruídos excessivos e reverberação em salas de aula interferem na comunicação da fala e reduzem a capacidade de aprendizagem, causando fadiga vocal em professores. Segundo LUBMAN e SUTHERLAND (2001), nos Estados Unidos (EUA), são gastos US\$ 638 milhões de dólares por ano com professores devido à fadiga vocal.

Em Londres, DOCKRELL et al. (2001) realizaram uma pesquisa com alunos do ensino primário de 2.000 escolas e concluíram que os principais sons ouvidos pelos alunos entrevistados eram: carros (71%), sirenes (61%), caminhões (58%), aviões (55%), helicópteros (55%), motocicletas (45%), árvores (45%), telefones (40%), ônibus (35%) e animais (25%). Em relação às três principais fontes - carros, sirenes e caminhões - 35% dos alunos sentem-se irritados e aborrecidos.

Um segundo estudo realizado por DOCKRELL e SHIELD (2004), comparando a percepção de alunos dos ruídos presentes em casa e na escola revelou que as crianças podem ser os juízes sensíveis dos seus ambientes de ruído. Conforme esse estudo havia uma hierarquia clara de sons indicados como os causadores de maior aborrecimento, sendo relacionadas as seguintes fontes: trens,

motocicletas, caminhões e sirenes. Esses resultados corroboram a pesquisa realizada por DOCKRELL et al. (2001).

De acordo com CALIXTO (2002) quando as pessoas encontram-se em ambientes internos, o grau de insatisfação com o nível do ruído de tráfego é mais importante do que o tipo da fonte seja trem, avião ou os próprios veículos automotivos. ZANNIN et al. (2002) sugerem que o sensível aumento do número de reclamações da população em relação ao ruído gerado nas cidades de médio e grande porte deve-se ao rápido aumento do número de veículos motorizados. Segundo estudos realizados em várias cidades do mundo, o ruído de tráfego é considerado o maior contribuinte para os níveis de ruído registrados e a maior causa de incômodo em áreas urbanas (ZANNIN et al., 2002).

FERNANDES e VIVEIROS (2002) realizaram uma pesquisa sobre o impacto do ruído de tráfego em edificações escolares na cidade de Florianópolis. No estudo foram analisados os indicadores de ruído urbano e os parâmetros de inteligibilidade da fala. Os autores concluíram que um dos principais objetivos de uma regulamentação nacional para controle de ruído deve ser planejar a cidade levando em conta o impacto das rodovias nas áreas onde as atividades desenvolvidas têm necessidades acústicas especiais.

Segundo FERNANDES e VIVEIROS (2002) no planejamento de edifícios escolares deve ser considerado o nível de ruído emitido pelas vias de tráfego próximas durante o horário de maior fluxo.

SANTOS e SLAMA (1993) também discutem o crescimento das cidades e o aumento dos níveis de ruído no entorno das escolas do Rio de Janeiro. Segundo os autores há escolas com mais de trinta e cinco anos que sofreram profundas alterações na sua vizinhança e contribuíram para aumento do nível de ruído local. No entanto, as escolas não se modificaram, pois conservam o mesmo modelo de épocas em que a poluição sonora e seus efeitos não eram questionados. Como

resultado obtêm-se salas com disposições inadequadas e dotadas de janelas que permitem o acesso dos ruídos externos no interior das salas de aula.

As pesquisas apresentadas acima evidenciam a importância do estudo da acústica de salas de aula e denunciam as pobres condições existentes, tanto em escolas brasileiras quanto em escolas localizadas em outros países.

Para HAGEN et al. (2002) a escola deve promover um ambiente onde as pessoas sejam estimuladas a ouvir e aprender, todavia a falta de conforto acústico apresentada acima, gera questionamentos quanto à eficiência do processo de ensino-aprendizagem, uma vez que ruídos excessivos e reverberação em salas de aula são barreiras seletivas ao aprendizado à medida que degradam ou inibem a comunicação da fala (LUBMAN e SUTHERLAND, 2001).

## 2.4. LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE O RUÍDO EM SALAS DE AULA

Os limites para conforto acústico são regulamentados individualmente pelos países ou autoridades locais. A harmonização internacional dos níveis de ruído torna-se difícil devido às diferenças no estilo de vida, clima e desenho das construções de cada país.

### 2.4.1. Níveis de ruído em escolas

KARABIBER e VALLET (2003) apresentam valores para o nível de ruído ambiente em recinto fechado de vários países. Esses valores não devem ser excedidos. O valor limiar varia de acordo com a função dos ambientes, como pode ser visto na tabela 3.

Os valores estabelecidos para os diferentes ambientes educacionais do Brasil, relacionados na tabela 3 são baseados na NBR 10152 (1987). Essa norma estabelece dois valores para o nível de ruído em cada ambiente, sendo o primeiro relacionado ao conforto acústico e o segundo como valor limite aceitável para a

função do ambiente. Dessa forma, o valor para conforto acústico em salas de aula é 40 dB(A), sendo 50 dB(A) o valor aceitável para a função da sala.

TABELA 3 - LIMITES PARA RUÍDO AMBIENTE DE ACORDO COM A FUNÇÃO DA SALA [DB(A)].

País	Medida de ruído	Ano de definição	Sala de aula	Biblioteca	Sala de música	Corredor	Lanchonete e ginásio
<b>Austrália</b>	$L_{Aeq}$	2000	30 - 35	40 - 45	40 - 45	45 - 50	45 - 55
<b>Brasil</b> <sup>1</sup>	$L_{Aeq}$	1987	40 - 50	35 - 45	35 - 45	45 - 55	45 - 60
<b>França</b>	$L_{Aeq}$	1995 2002	38	33	–	–	43
<b>Alemanha</b>	$L_{Aeq}$ $L_{Amax}$	1987	30 - 40 40 - 50	30 - 40 40 - 50	–	–	–
<b>Grécia</b>	$L_{Aeq}$	1989	30 - 35	–	–	–	–
<b>Itália</b> <sup>2</sup>	$L_{Aeq}$	1975	36	–	40	40	–
<b>Japão</b>	$L_{Aeq}$	1997	40 - 45	35 - 40	35 - 40	–	–
<b>Holanda</b>	$L_{Aeq}$	2001	30		–	–	–
<b>Nova Zelândia</b>	$L_{Aeq}$	2000	30 - 35	40 - 45	40 - 45	45 - 50	45 - 55
<b>Portugal</b>	$L_{Aeq}$	2000	35	–	–	–	40 - 45
<b>Espanha</b>	$L_{Aeq}$	1982	40 - 40	35 - 35	–	50 - 50	–
<b>Turquia</b> <sup>3</sup>	$L_{Aeq}$	1986	45	–	–	–	60
<b>Reino Unido</b>	$L_{Aeq}$ 30min	2000 2003	30 - 35	35	30	45	45
<b>EUA</b>	$L_{Aeq}$	2002	35 - 40	35 - 40	35 - 40	45	40

FONTE: ADAPTADO KARABIBER e VALLET (2003)

Nota: 1 - Norma sob revisão; 2 - Norma sob revisão; 3 – Regulamento sob revisão

A tabela 3 também apresenta os valores estabelecidos pela norma americana ANSI S12.60 (2002). Segundo essa norma, o ruído de fundo em salas de aula deve ser inferior a 35 dB(A), entretanto esse valor deve ser obtido considerando a escola completamente vazia (ANSI S12.60, 2002).

#### 2.4.2. Tempo de reverberação

O tempo de reverberação no ambiente escolar deve ser estabelecido de acordo com a função da sala, relacionado à frequência de interesse (para fala de 500 a 2000 Hz) e, principalmente, ao volume do mesmo.

No Brasil a norma que estabelece tempos de reverberação para recintos fechados é a NBR 12179 (1992), contudo não menciona as salas de aula. Portanto, para direcionar os projetos de escolas quanto ao tempo de reverberação, outras normas devem ser seguidas.

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001), baseada no Decreto Francês de nove de janeiro de 1995, estabelece tempos de reverberação em escolas considerando as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz para salas mobiliadas e desocupadas, conforme apresentado na tabela 4.

TABELA 4 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO EM SALAS DE AULA SEGUNDO DECRETO FRANCÊS

<b>Sala (mobiliada e desocupada)</b>	<b>TR [s] 500, 1000 e 2000 Hz</b>
Salas de aula com volume < 250m <sup>3</sup>	0,4 < TR < 0,8
Salas de aula com volume > 250m <sup>3</sup>	0,6 < TR < 1,2

FONTE: WHO, 2001.

A norma ANSI S12.60 (2002) é uma ferramenta auxiliar ao desenvolvimento de projetos de escolas, pois trata especificamente sobre o conforto acústico no ambiente escolar. Segundo ROMAN (2003), os critérios, exigências e orientações dessa norma foram formatadas para conseguir elevado grau de inteligibilidade nos espaços destinados à aprendizagem.

A tabela 5 apresenta valores de tempos de reverberação e níveis de ruído de fundo em salas de aula, relacionando esses critérios de conforto acústico com o volume das salas de aula. A norma DIN 18041 – SCHALLSCHUTZ IN SCHULEN (Controle de Ruído em Escolas) recomenda que salas de aula com boas condições acústicas devem ter de 4 à 5 m<sup>3</sup> por aluno (LORO, 2003).

TABELA 5 – NÍVEIS MÁXIMOS DE RUÍDO DE FUNDO E TR MÁXIMO EM SALAS MOBILIADAS E DESOCUPADAS

Sala de aula	Ruído de fundo [dB(A)]	TR [s] 500, 1000 e 2000 Hz
Volume < 283 m <sup>3</sup>	35	0,6
283 m <sup>3</sup> < Volume < 566 m <sup>3</sup>	35	0,7

FONTE: ADAPTADO ANSI S12.60 (2002)

### 2.4.3. Isolamento acústico em escolas

A norma ANSI S12.60 (2002) também estabelece valores mínimos para isolamento acústico entre salas e outros ambientes escolares. A tabela 6 apresenta valores mínimos de STC (*“Sound Transmission Class”*) para o isolamento acústico.

Conforme apresentado na tabela 6, o valor mínimo exigido para o isolamento acústico entre salas de aula é 50 dB. Entre salas de aula e corredores o isolamento mínimo requerido é 45 dB.

TABELA 6 – STC MÍNIMO PARA ISOLAMENTO ENTRE SALA DE AULA E ESPAÇOS ADJACENTES

Espaços adjacentes	Mínimo STC (dB)
Outras salas de aula	50
Ambulatórios	
Pátios e outros espaços ao ar livre	
Banheiros	53
Corredores	45
Escadarias	
Escritórios	
Salas de conferência	
Salas de música	60
Salas de máquinas	
Refeitórios	
Ginásios esportivos	

FONTE: ADAPTADO ANSI S12.60 (2002).

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001) apresenta valores para o isolamento acústico entre diversos ambientes educacionais, os quais são baseados



no Decreto Francês de nove de janeiro de 1995. Os valores para isolamento acústicos recomendados pela WHO (2001) são apresentados na tabela 7.

TABELA 7 – ISOLAMENTO ACÚSTICO EM FUNÇÃO DO USO DO AMBIENTE - SEGUNDO DECRETO FRANCÊS

Isolamento (dB)	Área de emissão					
	Salas de aula, escritórios, salas de exercício do primário	Salas de atividades práticas, salas de jogos, salas de música, cozinha, salas de reunião, banheiros	Refeitórios, salas multiuso, salas de esportes	escadarias	corredores	ambulatório
Área de recepção						
Salas de aula, bibliotecas, salas de música, ambulatórios, escritórios	44	52	52	44	28	44
Salas de descanso	52	52	52	52	40	44
Refeitórios e salas multiuso	40	52	*	*	28	44

FONTE: ADAPTADO WHO (2001)

Conforme as tabelas 6 e 7, pode-se constatar que os valores estabelecidos pela ANSI S12.60 (2002) são mais rigorosos que os recomendados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001).

## 2.5. CONTROLE DE RUÍDO EM ESCOLAS

Muitos dos aspectos que apareceram com a evolução da era moderna serviram para deteriorar o ambiente acústico da sala de aula. No passado, eram criadas salas silenciosas e agradáveis usando a ventilação natural. Hoje, as salas são relativamente mais ruidosas e reverberantes (LORO, 2003).

A presença ou ausência do ruído no ambiente escolar é decorrente de diversos fatores, entre eles: escolha do terreno para implantação da escola, desenvolvimento do projeto arquitetônico e comportamento de seus usuários (alunos e professores). O desenvolvimento do projeto arquitetônico abrange o planejamento

acústico, o qual deve ter como objetivo principal criar condições para a comunidade escolar ouvir sem perturbações de ruídos internos ou externos.

Para um planejamento de controle do ruído em escolas deve-se considerar as seguintes etapas: 1) levantamento dos ruídos locais com identificação dos níveis sonoros, fontes externas e suas influências; 2) modelo construtivo; 3) implantação (localização e orientação); 4) distribuição dos espaços internos considerando as diferentes atividades desenvolvidas na escola; 5) definição dos elementos construtivos (janelas; portas; paredes e pisos) visando um bom isolamento e tempos de reverberação adequados e 6) tratamento acústico específico para áreas especiais.

#### 2.5.1 Implantação e Forma

A implantação no terreno tem papel importante na qualidade acústica do edifício escolar. O critério inicial adotado pelo projetista deve ser de distanciar o edifício de fontes de ruído, levando em consideração a disposição e os limites do terreno. Os estudos realizados por SANTOS e SLAMA (1993), LOSSO (2003) e ENIZ e GARAVELLI (2005) constataram que os problemas decorrentes do ruído proveniente do tráfego viário nas salas de aula são devidos ao posicionamento inadequado das escolas em relação ao entorno e suas fontes sonoras. Outro agravante, mencionado por SANTOS (1993), é a falta de distanciamento entre a fachada da edificação escolar e as vias de circulação de veículos.

Além dos cuidados com a escolha do terreno é necessária a escolha criteriosa da tipologia a ser adotada. As tipologias horizontais em um ou dois pavimentos ficam menos expostas ao ruído difundido pela vizinhança, enquanto tipologias verticais estão mais vulneráveis aos ruídos presentes no entorno da edificação.

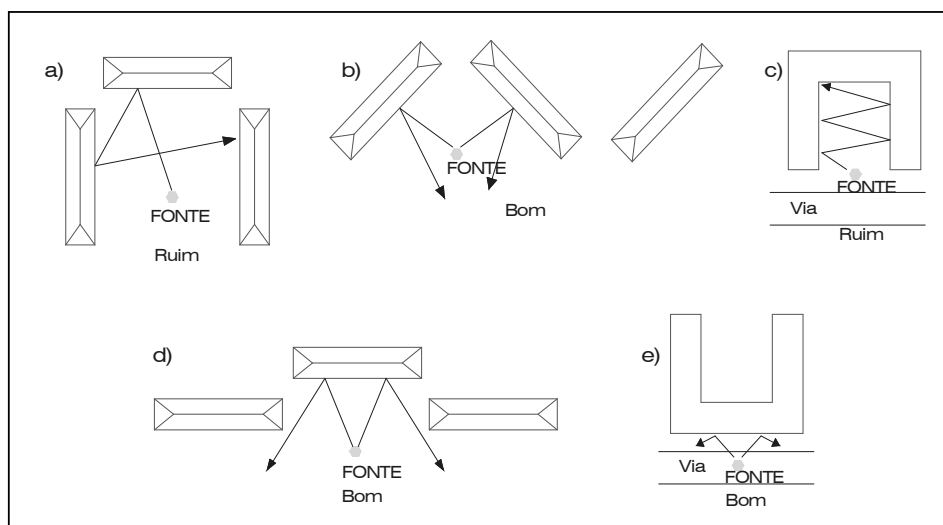
As aberturas para ventilação são outro elemento importante, pois a localização das mesmas pode dificultar ou facilitar a presença de ruídos nas salas.

Se as aberturas estiverem na fachada voltada para a área mais ruidosa, irão contribuir no aumento do nível sonoro incidente nas salas de aula. No Brasil, devido ao clima quente na maioria das regiões, a permanência das janelas abertas é fundamental em salas não climatizadas (BATISTA, 1988).

Nas tipologias em que se adota pátio central, deve-se evitar que este seja utilizado posteriormente como área de recreação ou prática de esportes, especialmente se o espaço físico da escola não permitir recreio em comum a todas as turmas. Os pátios são áreas de grande propagação de som. O seu uso é interessante como forma de evitar aberturas voltadas para o exterior.

A forma tipo ferradura, quando voltada para local ruidoso do terreno, reforçará o ruído através de múltiplas reflexões sobre a fachada, principalmente se nela estiverem as aberturas (figura 2).

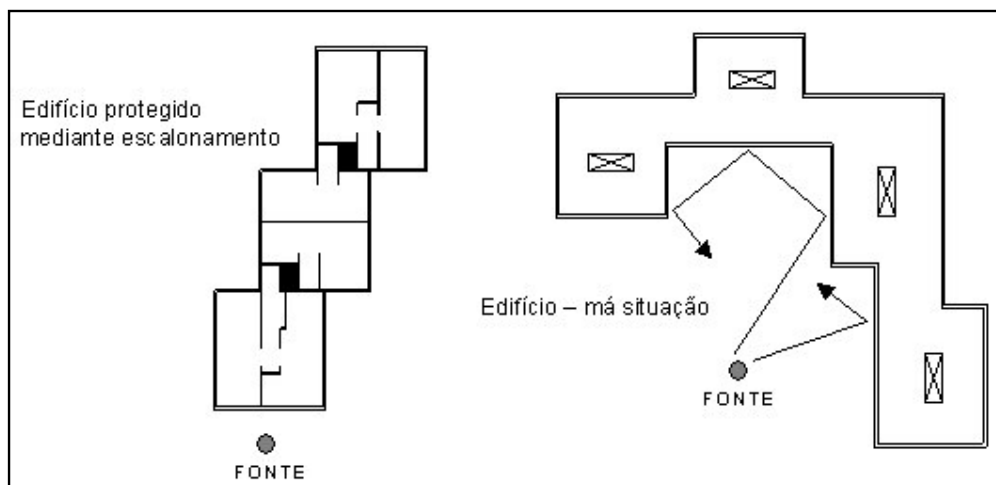
FIGURA 2 - EXEMPLOS DE IMPLANTAÇÃO



FONTE: LORO (2003)

A figura 3 apresenta duas tipologias diferentes. Na primeira situação o escalonamento dos blocos protege o ambiente interno dos ruídos gerados pela fonte localizada em frente à construção. A segunda favorece o alcance do ruído em todos os ambientes próximos à fachada, além de reforçá-lo por meio das reflexões.

FIGURA 3 - TIPOLOGIAS CONSTRUTIVAS



FONTE: SANTOS (1993)

Quando a escola é projetada em blocos independentes, é necessário observar o percurso do som incidente e refletido entre eles. Quando os edifícios escolares são construídos próximos a vias de tráfego de veículos ou de qualquer outro local onde o ruído é bem definido, o mais indicado é colocá-los de forma paralela ou perpendicular a via onde o ruído está presente (LORO, 2003).

WATTS et al. (1999), constataram a influência da vegetação sobre a percepção do ruído de tráfego, concluindo que uma barreira visual feita com árvores, apesar de produzir pouca atenuação dos níveis sonoros na faixa de frequência do ruído de tráfego, desencadeia uma redução da percepção do ruído devido ao efeito visual proporcionado.

### 2.5.2 Distribuição dos Espaços

Os vários ambientes de uma escola devem ser conhecidos pelo projetista, bem como as suas diferenças quanto às características acústicas. Dessa forma, é possível distribuir os ambientes visando garantir a qualidade acústica e arquitetônica. Assim sendo, um projeto arquitetônico aliado ao projeto acústico, fornece resultados mais equilibrados.

LOSSO (2003) e PAMPANA et al. (2003) comentam que nas salas de aula, os próprios alunos são uma importante fonte de ruídos. A situação pode adquirir maior ou menor importância não somente pelos aspectos comportamentais, mas também, pelos aspectos físicos e construtivos da edificação.

Segundo os autores, é necessário que na concepção do projeto arquitetônico não seja ignorada a capacidade de cada ambiente gerar e propagar o ruído. Ambientes ruidosos, como ginásios esportivos e áreas de recreação, não podem estar próximos de salas cuja atividade venha a ser mais tranqüila ou reflexiva. Esses ambientes, na medida de possível, devem ficar na periferia do terreno.

Nas áreas mais silenciosas do terreno devem ficar as salas de aulas teóricas, biblioteca e auditório. Entre esses dois setores pode-se alocar recepção, secretaria, sala dos professores, diretoria e coordenação, ambientes mais agitados devido à movimentação de funcionários da escola e dos próprios alunos. Esses locais também estão sujeitos a ruídos freqüentes de telefones e outros equipamentos que levarão a um estudo cuidadoso de absorção sonora (KNUDSEN e HARRIS, 1988).

TABELA 8 – AMBIENTES COM NÍVEIS DE RUÍDO SEMELHANTES

<b>Silenciosos</b>	<b>Medianamente Ruidosos</b>	<b>Ruidosos</b>	<b>Muito Ruidosos</b>
Biblioteca	Sala de música	Recepção	Pátios de recreação
Sala de estudo	Sala de computação	Cantina	Laboratórios
Sala de aula teórica	Secretaria	Refeitórios	Oficinas
Auditório	Sala dos Professores	Cozinha	Ginásios esportivos
Sala de vídeo		Circulação	Quadras esportivas
		Banheiros/ Vest	
		Atelier	

FONTE: SANTOS (1993)

A tabela 8 apresenta um levantamento dos ambientes com características semelhantes de propagação de ruído.

Quando a escola tiver graus de ensino diversificados, por exemplo, pré-escola e ensino fundamental em um mesmo turno, deverá haver o cuidado no desenvolvimento do projeto para alocar salas em blocos independentes.

Devido às diferenças entre atividades, as turmas de pré-escola transformam-se em expressivas fontes de ruído interno. Mesmo no ensino fundamental existe uma diferença de comportamento entre turmas de 1<sup>a</sup> a 4<sup>a</sup> série e de 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> série, tornando-se, também indicada, a separação de salas de aula e também áreas de recreação (LORO, 2003).

### 2.5.3. Salas de aula e corredores

VIVEIROS (2000) relata que as atividades normais de aula são, em si, fontes de ruído, pois a voz humana tem uma potência sonora média variando entre 40 e 70 dB. Afirma, ainda que esses níveis não se alteram significativamente com o sexo do orador, apenas a composição em frequência da voz. A importância das condições acústicas dentro das salas é determinada pelo seu tamanho, revestimento e uso.

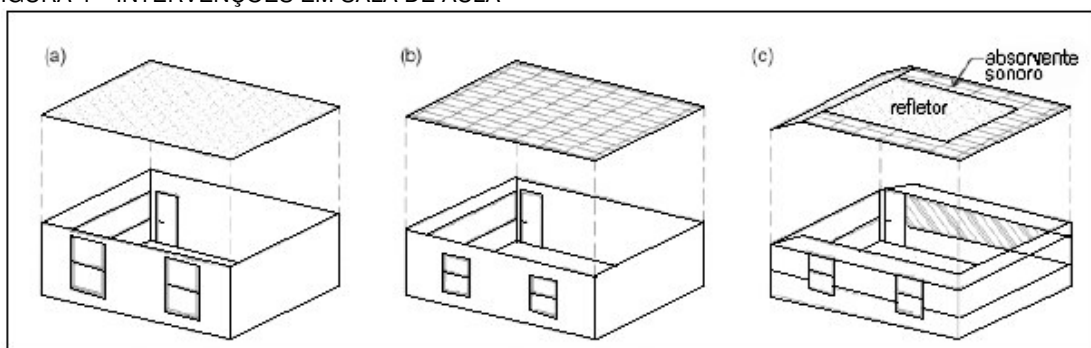
Dois elementos são fundamentais em uma sala: 1) tempo de reverberação correto e 2) ruído de fundo adequado, sem mascarar a voz do professor. KNUDSEN E HARRIS (1988) comentam que deveriam ser evitadas salas longas, estreitas ou muito grandes. Segundo os autores, para comportar até 40 alunos as salas de aula deveriam ter, aproximadamente, as seguintes dimensões: 7,6 m de largura, 9,5 m de comprimento e 3,6 m de altura.

Conforme SEEP et al. (2002) o melhor projeto de uma sala de aula poderia ser obtido transferindo parte da absorção do forro para as paredes, mantendo a região central do teto sem qualquer revestimento a fim de favorecer a reflexão da voz do professor na direção do fundo da sala (figura 4 – c). Segundo os autores um

teto que absorve e reflete parcialmente pode ser facilmente construído com uma grade de sustentação padrão. Simplesmente colocam-se as placas acústicas ao redor do perímetro do teto e as placas de gesso no centro da grade.

Para refletir ainda mais o som para o fundo da sala, o teto pode ser chanfrado acima da posição do professor, na frente da sala de aula (figura 4 - c). Essa superfície refletora deve ser construída com material duro como compensado ou placa de gesso, podendo ser pintada no mesmo padrão da sala. Colocando-se materiais absorventes nas paredes reduz-se simultaneamente o tempo de reverberação e os ecos.

FIGURA 4 – INTERVENÇÕES EM SALA DE AULA



FONTE: SEEP ET AL, (2002)

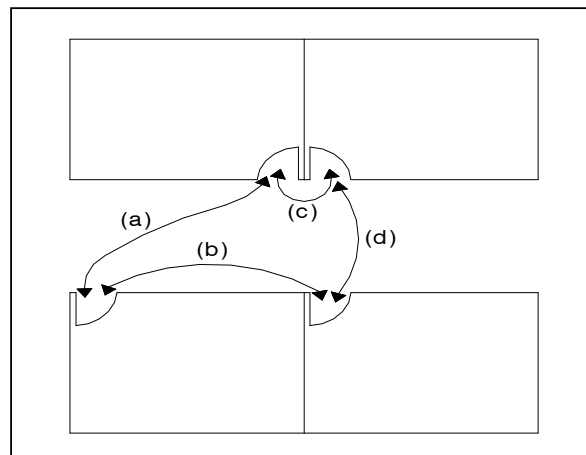
Na figura 4 são apresentados três leiautes de salas de aula, onde a sala indicada pela letra “a” é uma sala de aula tradicional e indesejável, pois não possui nenhum tipo de material absorvente sonoro. A qualidade acústica da sala de aula “b”, por sua vez, é superior à primeira situação, pois possui forro absorvente e forração no piso. A situação apresentada na opção “c” é a sala de aula ideal, segundo SEEP et al. (2002), há absorventes sonoros em três paredes, forração no piso, teto refletor inclinado na região frontal, com superfícies refletoras no centro e superfícies absorventes de som no entorno.

Ainda, KNUDSEN e HARRIS (1988) e SEEP et al. (2002) escrevem que janelas, portas, pequenas aberturas e rachaduras, podem diminuir a eficiência acústica de uma parede. Portas maciças ajustadas e vedadas melhoram o

isolamento acústico de paredes divisórias. A localização também é importante, como mostra a figura 5.

As portas de salas adjacentes não devem ser dispostas lado a lado, pois favorecem a trajetória do som entre as salas, facilitando a sua propagação (figura 5 – c). As portas das salas também não devem ser colocadas frente a frente em uma circulação (figura 5 – d). O espaçamento das portas ao longo da circulação cria um caminho longo, menos direto para o ruído se propagar entre uma sala e outra.

FIGURA 5 – LEIAUTE DE PORTAS



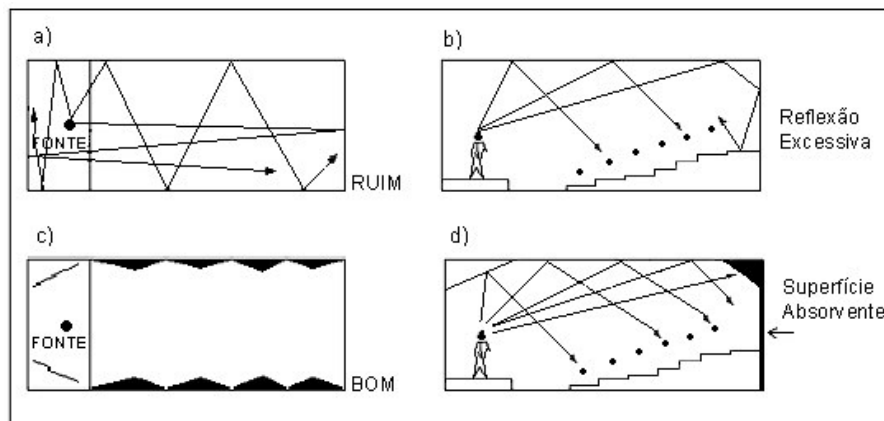
FONTE: SEEP ET AL, (2002)

A figura 5 mostra arranjos bons e ruins de portas: (a) e (b) são bons porque o som percorre uma maior distância ao se propagar de uma sala a outra; os arranjos (c) e (d) são ruins porque a distância entre as salas é pequena (SEEP et al., 2002).

Para salas de aula do tipo anfiteatro e também para auditórios três elementos básicos precisam ser bem planejados: forma, isolamento e reverberação (KNUDSEN e HARRIS, 1988). A figura 6 apresenta a influência da forma da superfície em auditórios.



FIGURA 6 - INFLUÊNCIA DA FORMA DA SUPERFÍCIE



FORTE: SANTOS, (1993)

Quanto aos corredores, STRUMPF (1984) comenta que as soluções arquitetônicas são baseadas no planejamento geral. Quanto mais comprido, estreito e alto pior acusticamente, pois favorece a reverberação excessiva. O melhor são corredores abertos para o exterior. Caso não seja possível, aconselha-se revestir o corredor com material absorvente.

O corredor descontínuo é mais indicado. Segundo BATISTA (1998) um corredor situado entre a fonte de ruído e a sala de aula auxilia em uma pequena redução do ruído. A autora comenta que um corredor fechado sem tratamento acústico reduz o nível de ruído de 1 a 2 dB. Já, um corredor aberto para um lado sem tratamento reduz de 2 a 3 dB. Quando o corredor é fechado e tratado acusticamente, a redução do nível de ruído é de 3 dB. A melhor opção é o corredor aberto com tratamento acústico por haver redução no nível de ruído de 3 a 4 dB.

### 3. MATERIAIS E MÉTODO

O objetivo do presente trabalho é verificar qual a qualidade acústica apresentada em salas de aula construídas segundo projeto padrão de escolas. Para a realização da pesquisa optou-se em avaliar os modelos padrão 023, 022 e 010 de escolas modulares implementadas pelo Governo Estadual do Paraná em conjunto com a FUNDEPAR.

Os resultados deste trabalho foram obtidos com a realização de medições *in situ* do tempo de reverberação (TR), coeficientes de isolamento acústico (isolamento acústico de fachadas e isolamento acústico entre sala de aula e corredor) e do ruído de fundo, expresso pelo nível sonoro equivalente  $L_{eq}$  em dB(A). Foram, também, efetuadas avaliações da percepção ao ruído nas escolas em estudo. Para a avaliação subjetiva, fez-se uso de questionários aplicados aos professores e alunos.

Analisaram-se seis escolas na Região Metropolitana de Curitiba, sendo duas de cada padrão construtivo. Escolas do padrão 023: 1) Colégio Estadual Walde Rosi Galvão; 2) Escola Estadual Luarlindo dos Reis Borges. Padrão 022: 1) Colégio Paulo Freire e 2) Colégio Aníbal Khury Neto. Padrão construtivo 010: 1) Colégio Estadual Professor Alfredo Parodi e 2) Colégio Estadual Professora Luiza Ross.

#### 3.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O método utilizado foi o Estudo de Caso, uma vez que os objetos de pesquisa são modelos padrão de salas de aula construídos e implantados pelo governo do Estado do Paraná pela FUNDEPAR, órgão vinculado à Secretaria da Educação.

Os projetos de Escolas Públicas, no Estado do Paraná, são elaborados em módulos padronizados ajustáveis à necessidade de novas escolas, dependendo da previsão do número de alunos e configuração do terreno onde serão implementadas.

As características dos padrões selecionados foram as seguintes: 1) O Padrão 023, que consiste em uma proposta de blocos independentes com circulação central e salas de aula dispostas dos dois lados do corredor; 2) O Padrão 022, composto por blocos de salas de aula dispostas uma ao lado da outra sem corredor entre elas e 3) O Padrão 010, semelhante ao padrão 023, formado por blocos independentes de salas de aula dispostas dos dois lados de um corredor central.

Os padrões 010 e 023 são similares quanto à composição dos blocos, entretanto possuem diferenças importantes quanto à altura dos corredores, os componentes da edificação (janelas) e os materiais construtivos.

## 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

### 3.2.1 Medição do Tempo de Reverberação (TR)

Para medir-se o tempo de reverberação de um ambiente é necessário a presença de uma fonte sonora e um sistema para medição do decaimento nos níveis de pressão sonora assim que a fonte for desligada. Utilizou-se um analisador em tempo real de dois canais, BK 2260, o qual emite um sinal do tipo ruído rosa para o amplificador de potência BK 2716, conectado a fonte sonora. No caso, fez-se uso de uma fonte sonora dodecaédrica omnidirecional BK 4296. O som gerado é então captado por um microfone conectado ao analisador BK 2260, o qual calcula automaticamente o tempo de reverberação ( $TR_{60}$ ) para cada frequência do espectro de interesse.

As medições ocorreram conforme especificações da norma ISO 3382 (1997). Em cada sala de aula foram realizadas medições em cinco pontos distintos. Para cada ponto foram feitas três leituras e, em seguida, o medidor BK 2260 calculou o TR médio de cada ponto. Posteriormente, no laboratório, as medições foram transferidas para o computador com auxílio do *software Qualifier* (7830 – Brüel

& Kjaer) que calculou o valor médio do tempo de reverberação para cada sala de aula.

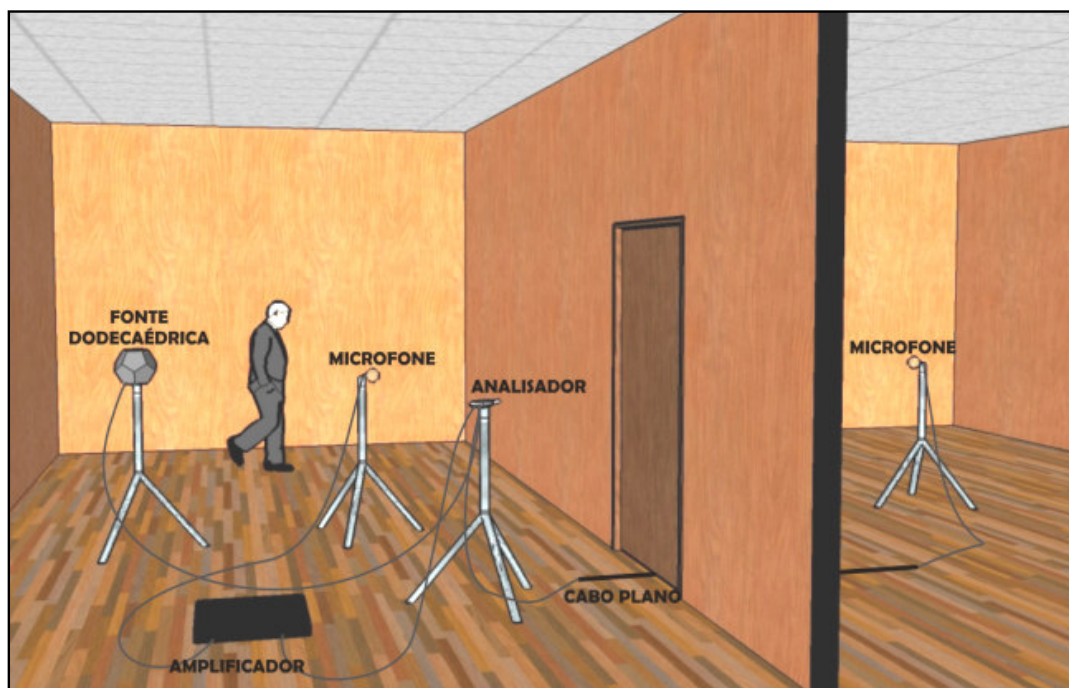
Para este estudo avaliaram-se três situações distintas para cada sala de aula: 1) sala sem ocupação; 2) sala ocupada com metade de sua capacidade e 3) sala totalmente ocupada. Nas três situações as salas estavam mobiliadas.

### 3.2.2 Medição dos Coeficientes de Isolamento Acústico

Os procedimentos para as medições em campo dos coeficientes de isolamento acústico entre cômodos de uma edificação são especificados pela ISO 140-4 (1978) e, para o isolamento acústico de fachadas, pela norma ISO 140-5 (1998).

Para as medições dos coeficientes de isolamento acústico entre as salas de aula e o corredor gerou-se um sinal do tipo ruído rosa, através do analisador acústico BK 2260. Esse ruído foi amplificado com o amplificador de potência BK 2716 e, então, distribuído pela sala por meio da fonte sonora dodecaédrica omnidirecional BK 4296. Dois microfones, modelo BK 4190, instalados no corredor e na sala de aula, captaram o som simultaneamente. A figura 7 ilustra a disposição dos equipamentos no momento da medição.

FIGURA 7 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ENTRE SALA DE AULA E CORREDOR



Conforme estipulado na norma ISO 140-4 (1998), foram obtidos o nível de ruído de fundo na sala de recepção e os tempos de reverberação para efetuar as correções devido às áreas de absorção da sala de recepção seguindo os procedimentos da norma ISO 3382 (1997).

O número de pontos avaliados em cada sala foi determinado em função das dimensões dos ambientes, respeitando-se a distância mínima de 0,5 m entre a parede e o microfone e, também, de 1,5 m entre o microfone e o solo.

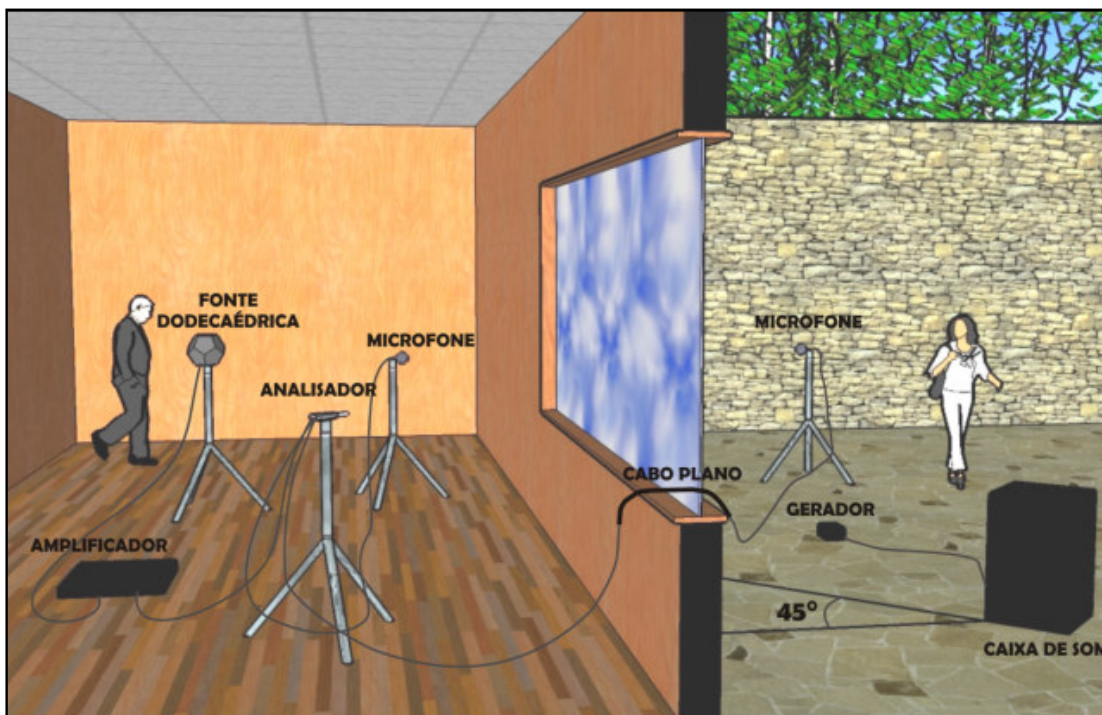
Quanto às medições de isolamento acústico de fachadas verificou-se, através do estudo piloto, que o ruído de tráfego no entorno das escolas não era significativo e, portanto, o ruído externo deveria ser produzido por uma caixa de som, conforme estabelecido pela norma ISO 140-5 (1998).

Para a medição do isolamento acústico de fachadas gerou-se um sinal do tipo ruído rosa, através do gerador de ruído BK 1405 (Brüel & Kjaer). Esse ruído distribuiu-se ao longo da fachada através de uma caixa de som amplificada de 900 Watts (Mark Áudio) inclinada a 45° e distante da fachada pelo menos 3,5 m,

conforme indicado na foto da figura 8. Por meio de dois microfones modelo BK 4190 instalados um em frente à fachada com afastamento de 2 m e outro dentro da sala de aula, fez-se a captação dos sinais sonoros simultaneamente conforme recomenda a norma ISO 140-5 (1998).

A figura 8 ilustra a medição do isolamento acústico de fachada. As figuras 9a e 9b retratam a medição do isolamento acústico de uma fachada na escola Anibal Khury Neto.

FIGURA 8 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ENTRE SALA DE AULA E CORREDOR



Conforme a figura 9a, no interior da sala estão posicionados o analisador BK 2260, a fonte dodecaédrica e um microfone. Do lado externo (figura 9b) estão o gerador de ruído, a caixa de som e o segundo microfone.

FIGURAS 9A E 9B – MEDIÇÃO ISOLAMENTO DE FACHADA – EQUIPAMENTOS DENTRO (DIREITA) E FORA (ESQUERDA) DA SALA DE AULA

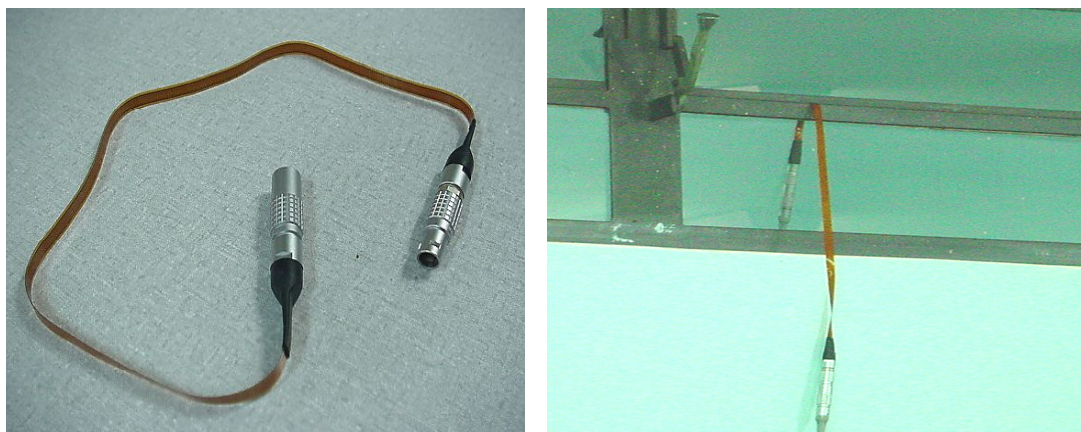


Para completar essa medição ainda realizaram-se medições do ruído de fundo dentro da sala de aula e do tempo de reverberação da sala vazia, para se efetuar as correções devido às características acústicas do ambiente de recepção.

É de extrema importância destacar a utilização do cabo plano AR 0014, tanto nas medições de isolamento acústico de fachadas, quanto no isolamento acústico entre salas de aula e corredor. O cabo plano tem a função de conectar o microfone externo com o analisador BK 2260 sem haver necessidade de deixar frestas (além das existentes devido ao processo construtivo) nas portas ou janelas. A utilização do cabo colabora para a confiabilidade dos dados medidos. A figuras 10a e 10b apresentam o cabo plano e como é utilizado.



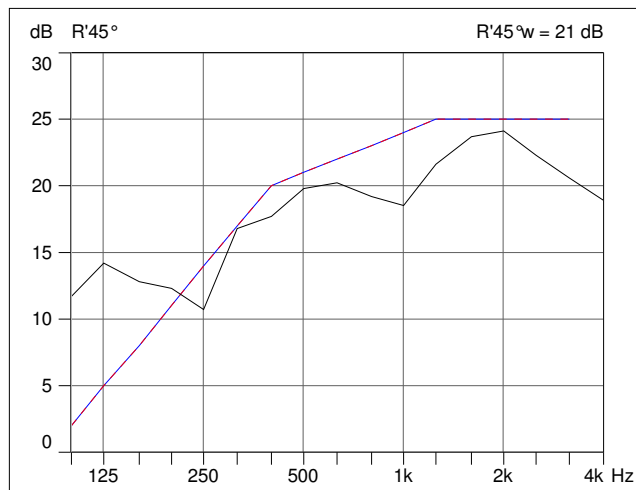
FIGURAS 10A E 10B – CABO PLANO AR 0014 UTILIZADO NA MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO



Após as medições em campo, os dados foram transferidos para o *software Qualifier* (BK 7830) que processa todos os dados medidos e fornece, com precisão, o valor único de isolamento acústico ( $R'_w$  – isolamento entre sala e corredor;  $R'_{45^\circ w}$  – isolamento de fachada). O processamento dos dados por esse *software* segue as normas ISO 140-4, ISO 140-5 e ISO 717-1.

O *software* BK 7830 forneceu os gráficos do isolamento acústico das salas e fachadas, avaliados em bandas de frequência de 1/3 de oitava. A figura 11 traz um gráfico com o número único de isolamento acústico, seguindo os preceitos da norma ISO 717-1 (1996), calculado automaticamente pelo *software* BK 7830 (canto superior direito da figura).

FIGURA 11 – GRÁFICO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO FORNECIDO PELO SOFTWARE BK 7830





### 3.2.3 Medição do Ruído de Fundo

Os níveis de pressão sonora foram obtidos com medições efetuadas no interior das salas de aula e, também, no entorno das escolas. Em ambos os casos, as medições seguiram as recomendações da NBR 10151 (2000) que regulamenta as avaliações do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade.

O objetivo das medições no entorno era avaliar o ruído produzido pela vizinhança (vizinhos, tráfego viário, comércio, etc), caracterizando a região onde as escolas estão implantadas.

Quanto ao ambiente interno, a avaliação dos níveis sonoros contemplou os seguintes critérios: 1) o ruído de fundo presente em uma sala de aula vazia enquanto as outras salas adjacentes estavam em atividade, 2) o ruído de fundo nas salas de aula próximas à quadra esportiva em atividade, 3) o ruído na quadra esportiva durante as aulas de educação física, 4) o ruído presente nas bibliotecas sem a presença de alunos e 5) o ruído nos corredores vazios com salas de aula em atividades.

As avaliações aconteceram nos turnos da manhã e tarde, considerando o período normal de aulas (meses de março a julho de 2005 e agosto a novembro do mesmo ano). Para um caso específico, com o intuito de medir os ruídos presentes na escola vazia, realizaram-se algumas medições no período de férias, precisamente na primeira quinzena do mês de dezembro de 2005 na escola Aníbal Khury Neto.

Todas as medições ocorreram em dias normais de trabalho (segunda à sexta-feira), com ausência de fontes sonoras atípicas como chuvas, trovões e ventos fortes, conforme recomenda a norma NBR 10151 (2000).

O número de amostras em cada escola e o tempo de medição em cada ponto foi selecionado de forma a permitir a caracterização dos ruídos de interesse, segundo a NBR 10151 (2000). Em geral, para cada avaliação mediram-se três pontos que resultaram em um valor médio. O tempo de medição para as vias de

tráfego no entorno das escolas foi limitado em dez minutos em cada ponto. Para a avaliação dos ruídos no interior das salas de aula, bibliotecas e corredores o tempo de medição para cada ponto foi limitado em três minutos.

Para as medições dos níveis de pressão sonora usaram-se os medidores sonoros BK 2238 e BK 2237, fabricados pela empresa *Brüel & Kjaer* da Dinamarca. Para análise dos valores medidos utilizou-se o programa computacional “*Evaluator Type*” BK 7820, também desenvolvido pela *Brüel & Kjaer*.

### 3.3 AVALIAÇÃO SUBJETIVA

Para avaliação da percepção de professores e alunos frente ao problema do ruído em escolas foram elaborados questionários direcionados a cada grupo. Os questionários encontram-se na seção de apêndices desta dissertação.

As perguntas foram desenvolvidas baseadas em diversas pesquisas relativas à percepção de alunos e professores quanto ao conforto acústico em sala de aula. Os questionários utilizados foram desenvolvidos a partir de outros trabalhos semelhantes conduzidos por DOCKRELL et al. (2001), LORO (2003), LOSSO (2003), ENMARKER e BOMAN (2004) e DOCKRELL e SHIELD (2004).

Seqüencialmente, os questionários foram submetidos à avaliação do departamento de estatística da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Após análise prévia foram submetidos a um teste piloto para verificar a viabilidade estatística dos mesmos.

Após cumpridas as etapas de validação aplicaram-se os questionários a 71 professores e 1080 alunos da rede estadual de ensino na cidade de Curitiba e Pinhais. Entrevistaram-se alunos de quinta a oitava série, com idades entre 9 e 18 anos.

A aplicação dos questionários aos alunos foi realizada nas próprias salas de aula. As questões foram lidas uma a uma pelo pesquisador, sendo dado o tempo

necessário entre as perguntas para que os alunos respondessem com calma cada questão.

Quanto aos professores, apresentou-se o objetivo da pesquisa e o funcionamento dos questionários, entregues e preenchidos individualmente sem auxílio do pesquisador.

Do total de 1080 questionários distribuídos aos estudantes, 1035 foram aproveitados, o restante foi desprezado devido a inconsistências nas respostas. Os questionários dos alunos tinham perguntas fechadas e foram respondidos por crianças da quinta a oitava série do ensino fundamental.

Os professores que ministram aulas para as turmas selecionadas nesta pesquisa responderam a um questionário diferente. As respostas eram dadas na forma de escores variando de 0 a 3. Todos os questionários aplicados aos 71 professores foram validados.

Após essa etapa, as respostas foram compiladas em uma planilha e também foram estabelecidos os cruzamentos entre questões de interesse. A planilha e os cruzamentos foram repassados ao departamento de estatística da UFPR que se encarregou das análises.

### 3.3.1. Análise Estatística do Questionário Aplicado aos Alunos

A análise estatística dos dados obtidos a partir do questionário dos alunos foi realizada seguindo duas estratégias. A primeira estratégia abordou uma análise descritiva com uso de tabelas de contingência, mostrando as frequências das respostas dos indivíduos em função de duas variáveis qualitativas. Essa tabela foi o primeiro instrumento descritivo para o levantamento de duas hipóteses, cuja formulação geral é dada por: a) hipótese H0: não há associação entre os dois fatores; b) hipótese H1: há associação entre os dois fatores.

Na segunda estratégia utilizaram-se testes estatísticos de hipóteses que verificaram a significância da associação entre diferentes fatores. O *software R*,

desenvolvido por R DEVELOPMENT CORE TEAM (2005), foi utilizado para o cálculo dos testes de associação.

As hipóteses levantadas durante a primeira estratégia de análises foram verificadas pelas estatísticas Q e Qp cuja distribuição de probabilidade aproximada é o qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Segundo AGRESTI (1996), essas estatísticas são adequadas para medir e testar associação entre dois fatores qualitativos. As decisões sobre as hipóteses foram tomadas com o nível de confiança fixado em 95%.

Em algumas situações onde as freqüências esperadas nas células da tabela de contingência foram pequenas, a aproximação da distribuição qui-quadrado para as estatísticas Q e Qp ficou comprometida e, portanto, um teste alternativo foi utilizado. Neste caso, a escolha recaiu sobre o Teste Exato de Fisher (AGRESTI, 1992).

### 3.3.2. Análise Estatística do Questionário Aplicado aos Professores

A análise dos questionários aplicados aos professores foi semelhante à realizada para os alunos, entretanto para os testes de associação foi utilizada a estatística Qs.

A estatística Qs é utilizada quando uma das variáveis da tabela de contingência apresenta mensuração ordinal (caso do questionário aplicado aos professores onde as respostas apresentavam escores variando de 0 a 3). Nessas situações as estatísticas Q e Qp não são as mais indicadas, ainda que tenham sido úteis na identificação de associação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. DESCRIÇÃO DOS PADRÕES ABORDADOS

A presente seção tem por objetivo fornecer uma melhor compreensão dos padrões avaliados. Dessa forma, é dividido em três tópicos que abordam cada padrão construtivo individualmente, através do detalhamento das escolas que os representam.

#### 4.1.1. Padrão 010

Para avaliação do padrão construtivo 010 duas escolas foram selecionadas:

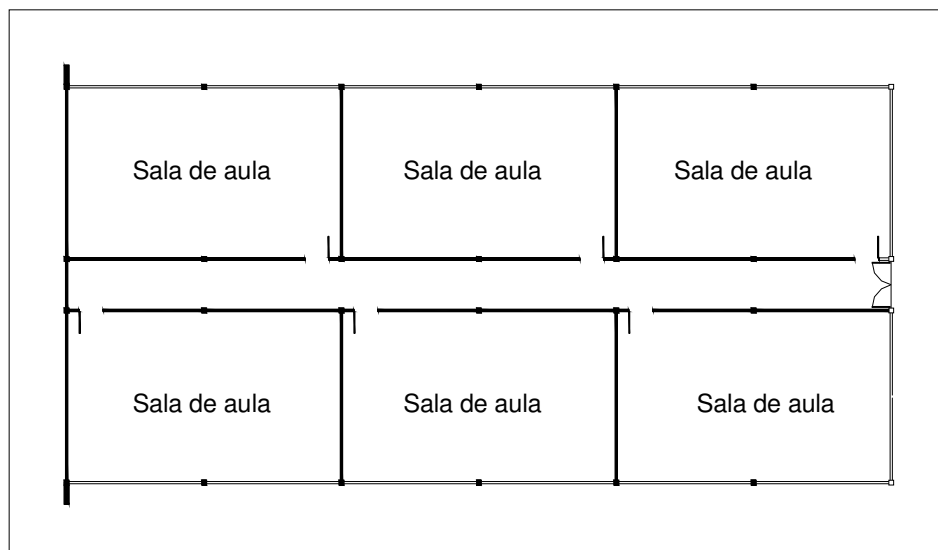
- Colégio Estadual Alfredo Parodi, localizado no bairro Uberaba na cidade de Curitiba;
- Colégio Estadual Professora Luiza Ross, localizado no bairro Boqueirão na cidade de Curitiba.

As escolas selecionadas para a pesquisa foram construídas na década de 70, especificamente nos anos de 1977 (Alfredo Parodi) e 1978 (Luiza Ross).

No ano da análise, 2005, o Colégio Estadual Alfredo Parodi que possui 15 salas de aula atendia 24 turmas do Ensino Fundamental de 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> série, totalizando 832 alunos. No mesmo ano, o Colégio Estadual Professora Luiza Ross com 17 salas de aula acomodava 31 turmas de 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> série, formando um grupo de 1167 alunos (FUNDEPAR, 2005).

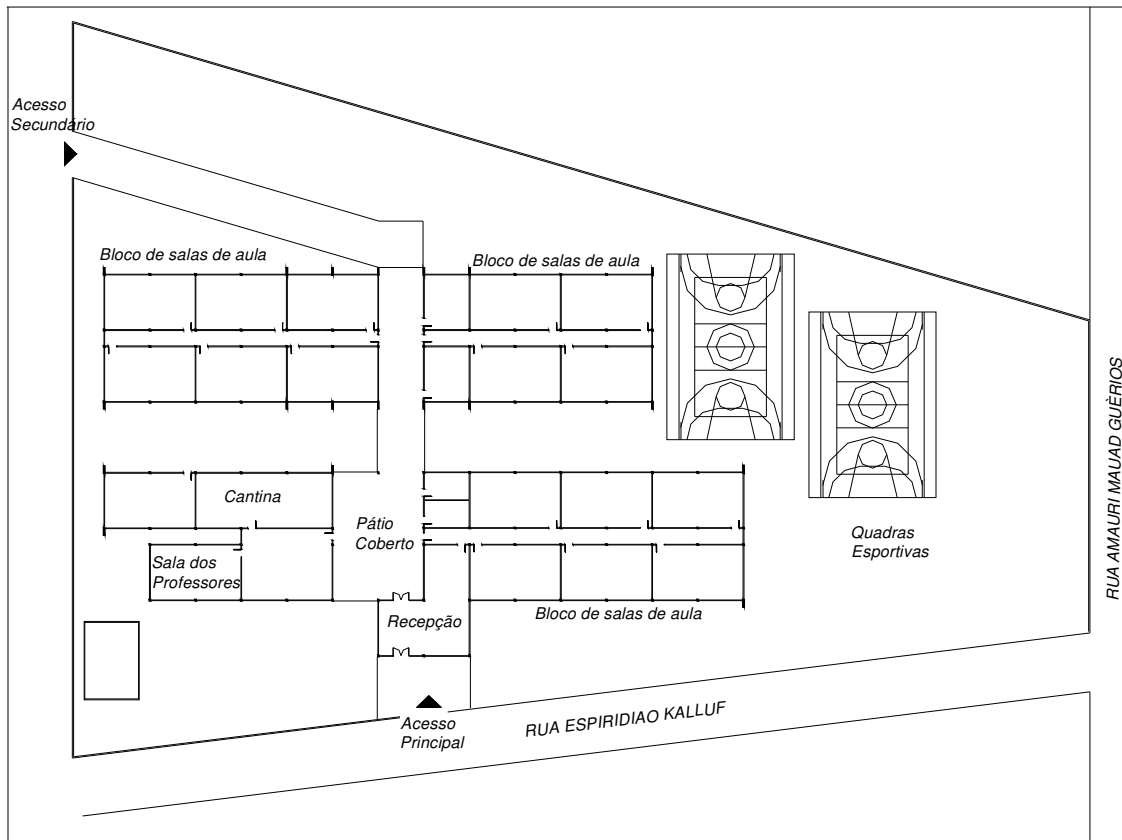
As escolas do padrão 010 são compostas por blocos de salas de aula de um pavimento. Em cada bloco, as salas estão dispostas lado a lado formando duas fileiras separadas por um corredor central, conforme ilustrado na figura 12.

FIGURA 12 – COMPOSIÇÃO DOS BLOCOS DE SALAS DE AULA PADRÃO 010



A figura 13 apresenta o leiaute da escola Alfredo Parodi, onde estão indicados os diferentes ambientes escolares.

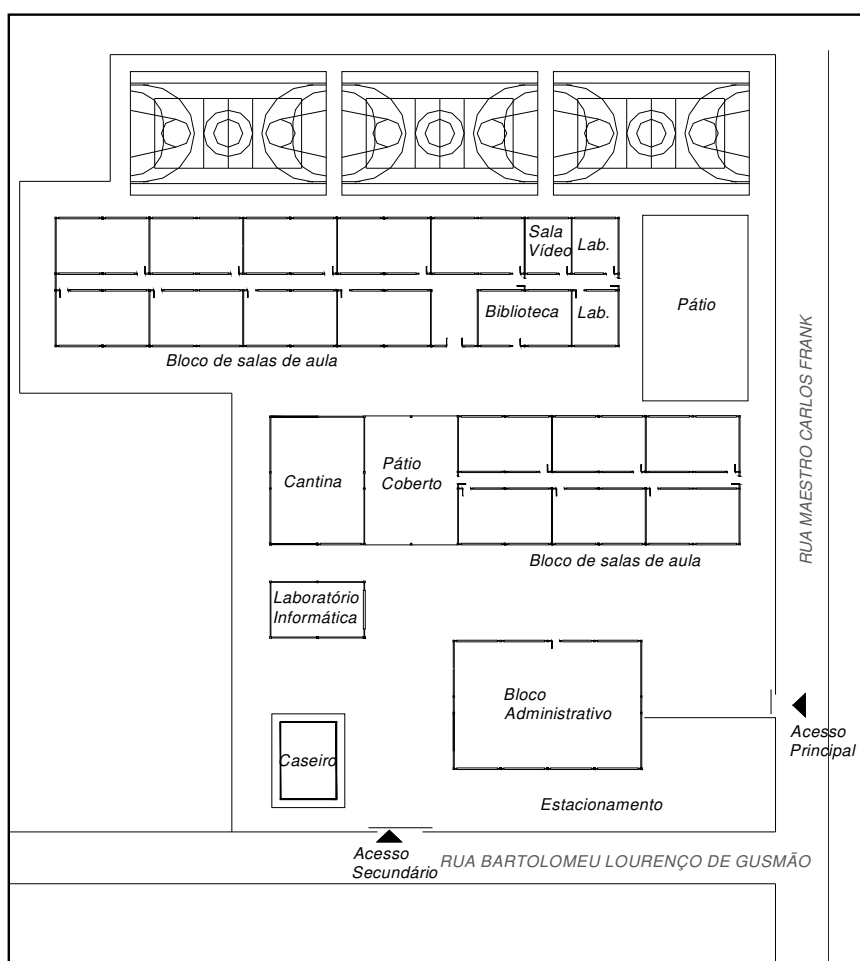
FIGURA 13 – LEIAUTE ESCOLA ALFREDO PARODI



A escola Alfredo Parodi é composta por 4 blocos, destes, três destinam-se às salas de aula, laboratórios e biblioteca. No total a escola possui quinze salas de aula. Em um bloco separado localiza-se a sala dos professores, cantina e pátio coberto.

A figura 14 apresenta o leiaute da escola Professora Luiza Ross e o posicionamento dos ambientes escolares.

FIGURA 14 – LEIAUTE ESCOLA PROFESSORA LUIZA ROSS



A escola Luiza Ross, semelhante à escola anterior, também é composta por 4 blocos. Sendo três destinados às salas de aula, laboratórios, sala de vídeo e biblioteca. No primeiro bloco estão concentradas a administração e recepção da escola. No total possui dezessete salas de aula.

A figura 14 permite observar o posicionamento das quadras esportivas, localizadas aos fundos da escola, próximas às salas de aula.

As salas de aula do padrão 010 possuem volume de aproximadamente 139 m<sup>3</sup> e comportam até quarenta alunos. Neste padrão, forro das salas é em madeira, o piso em *parquet* e as paredes com acabamento em reboco e pintura. As cadeiras e carteiras são metálicas revestidas de fórmica.

Nos corredores dos blocos de salas de aula as paredes possuem pequenas janelas do tipo basculante localizadas na parte superior, cuja função é promover a ventilação cruzada dentro das salas.

As fachadas são compostas por paredes de alvenaria simples com revestimento em reboco e pintura, tanto na parte externa quanto interna. As esquadrias são de ferro com fechamento em vidro comum.

#### 4.1.2. Padrão 022

As escolas selecionadas para avaliação do padrão construtivo 022 foram:

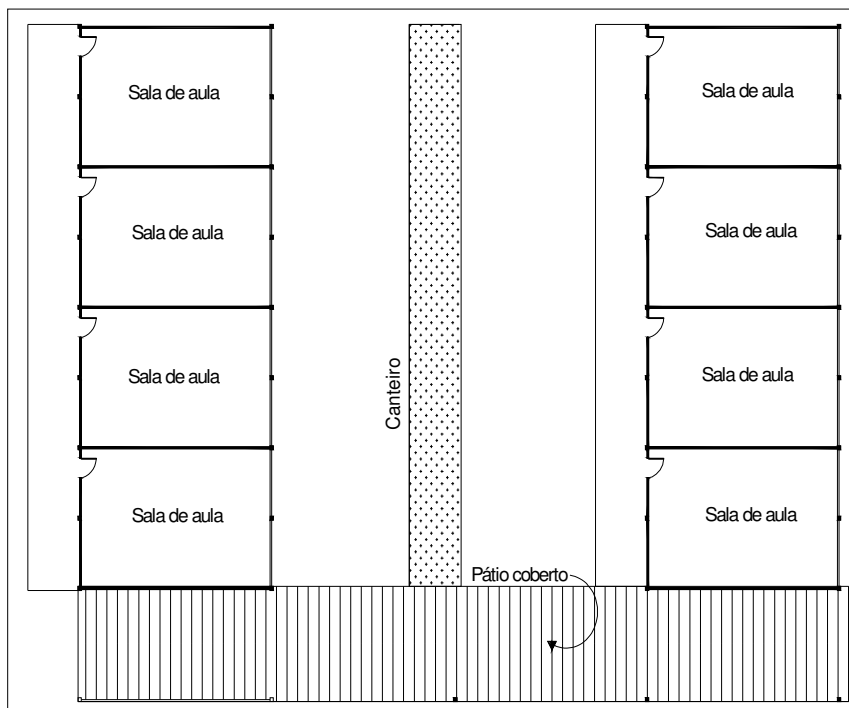
- Colégio Estadual Anibal Khury Neto, localizado no Bairro Uberaba na cidade de Curitiba;
- Colégio Estadual Professor Paulo Freire, localizado no Bairro Jardim Irene Margarida na cidade de Pinhais.

A construção das duas escolas selecionadas foi concluída no ano de 1998. Em 2005 o Colégio Estadual Anibal Khury Neto acomodavam 29 turmas do Ensino Fundamental de 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> série, totalizando 1003 alunos. No mesmo ano, o Colégio Estadual Professor Paulo Freire, acomodava 20 turmas de 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> série, compondo um grupo de 736 alunos (FUNDEPAR, 2005).

Neste padrão as salas de aula não são separadas por corredores. Cada bloco compõe-se de uma fileira única de salas dispostas lado a lado, conforme figura 15.



FIGURA 15 – COMPOSIÇÃO DOS BLOCOS DE SALAS DE AULA PADRÃO 022



As duas escolas avaliadas, apesar pertencerem ao mesmo padrão construtivo, possuem uma diferença importante quanto à configuração do terreno onde estão implantadas.

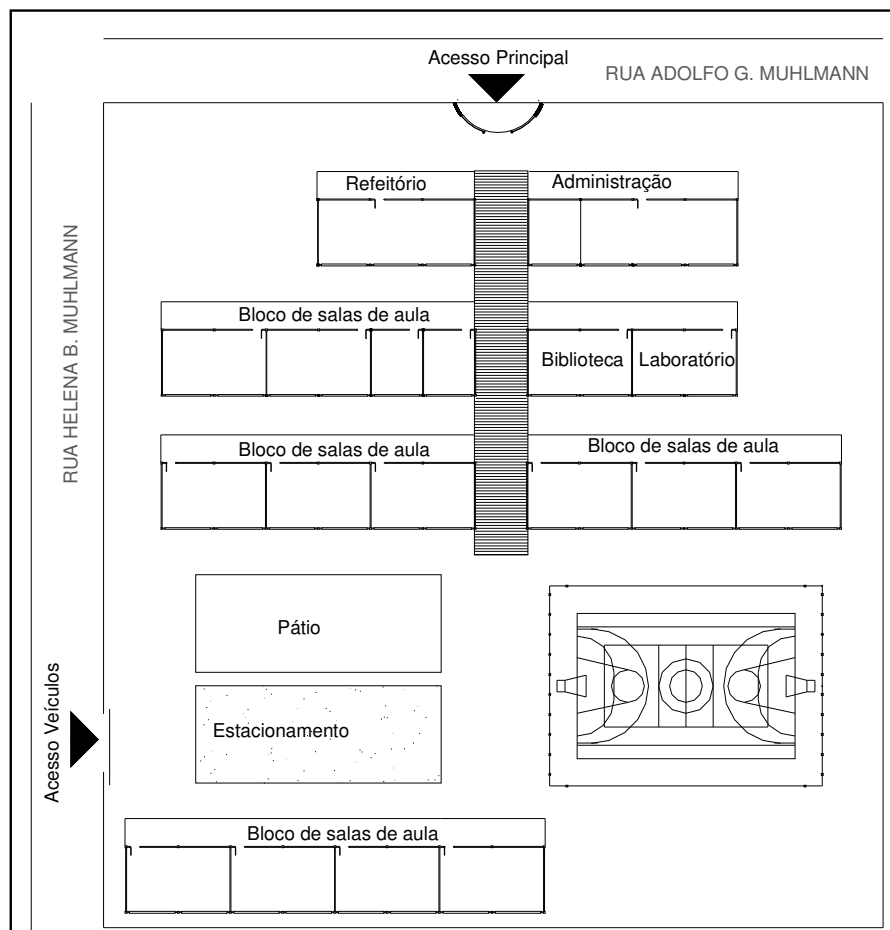
Na escola Anibal Khury Neto todos os ambientes escolares estão edificados em um mesmo nível, conforme figura 16a. Na escola Paulo Freire os blocos de salas de aula estão posicionados em níveis diferentes, conforme apresentado na figura 16b.

FIGURAS 16A E 16B - DIPOSIÇÃO DOS BLOCOS DE SALAS DE AULA DAS ESCOLAS ANIBAL KHURY NETO E PAULO FREIRE RESPECTIVAMENTE.



A figura 17 apresenta o leiaute da escola Professor Paulo Freire e o posicionamento dos ambientes escolares.

FIGURA 17 – LEIAUTE ESCOLA PROFESSOR PAULO FREIRE

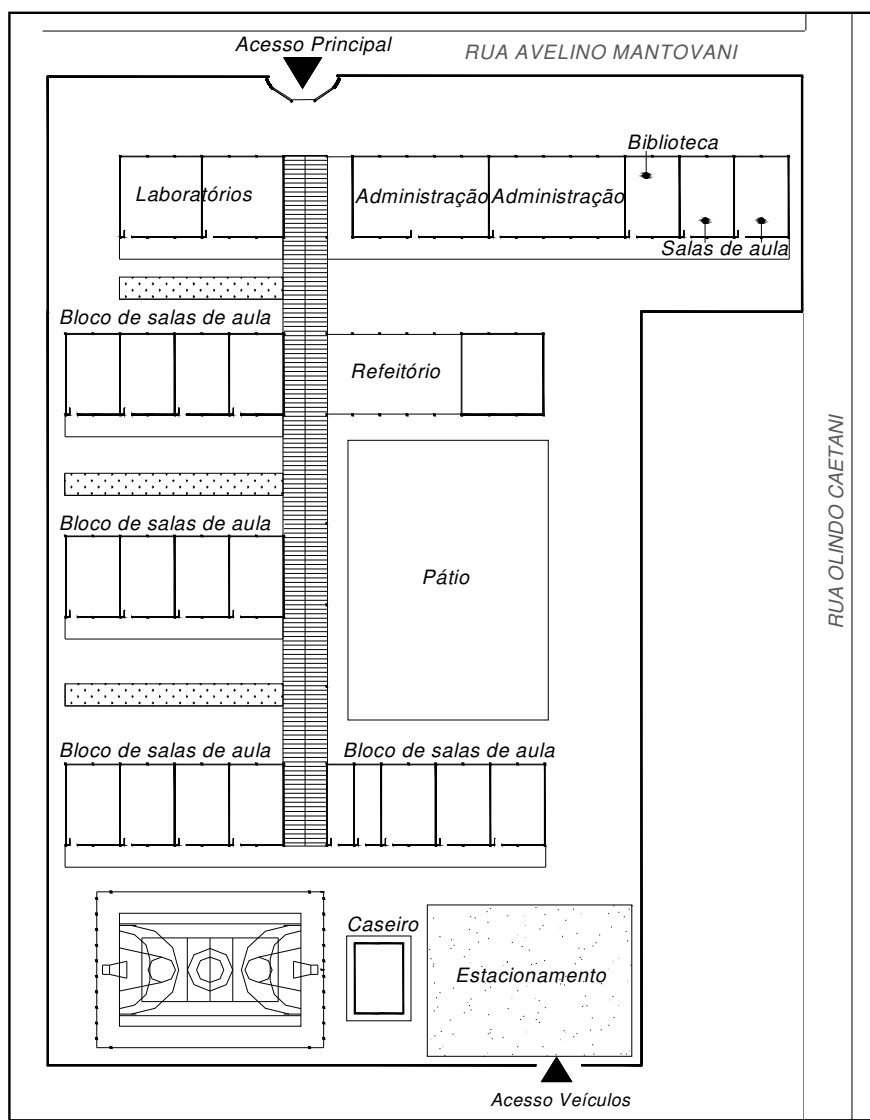


A escola Paulo Freire possui sete blocos, dos quais quatro destinam-se às doze salas de aula. Há ainda um bloco didático formado por biblioteca e laboratório. Os dois primeiros blocos concentram recepção, administração e refeitório.

Na figura 17 observa-se os blocos de salas de aula separados pelo pátio, quadra esportiva e estacionamento.

O leiaute da escola Anibal Khury Neto e o posicionamento dos ambientes escolares são apresentados na figura 18.

FIGURA 18 – LEIAUTE ESCOLA ANIBAL KHURY NETO



A escola Anibal Khury Neto é composta por sete blocos, dos quais quatro destinam-se exclusivamente às salas de aula. No bloco administrativo localizam-se ainda duas salas de aula e a biblioteca. No total a escola possui dezessete salas de aula.

As salas do padrão 022 têm volume de aproximadamente 139 m<sup>3</sup> e comportam até quarenta alunos. Nesse padrão o piso é revestido com *parquet*, as paredes e teto possuem acabamento em reboco e pintura. As cadeiras e carteiras são metálicas revestidas de fórmica.

As janelas são do tipo basculante e as portas em madeira. As janelas localizam-se nas duas paredes laterais da sala, sendo que em uma das laterais estão posicionadas apenas na parte superior da parede, promovendo ventilação cruzada.

As fachadas dos blocos de salas de aula são formadas por paredes de alvenaria simples, acabamento em reboco e pintura na parte interna e revestimento cerâmico em quase toda área externa.

#### 4.1.3. Padrão 023

Para avaliação do padrão construtivo 023 foram selecionadas as escolas:

- Escola Estadual Luarlindo dos Reis Borges, localizada no Bairro Vila Maria Antonieta na cidade de Pinhais;
- Colégio Estadual Walde Rosi Galvão, localizado no Bairro Walde Rosi Galvão na cidade de Pinhais.

A Escola Estadual Luarlindo dos Reis Borges, no ano de 2005, acomodava 15 turmas do Ensino Fundamental de 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> série, totalizando 524 alunos. O Colégio Estadual Walde Rosi Galvão, no mesmo ano, possuía um grupo de 511 alunos distribuídos em 15 turmas de 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> série (FUNDEPAR, 2005).

O padrão 023 é um dos mais recentes utilizados pela FUNDEPAR para a construção de escolas no estado do Paraná. As escolas pesquisadas foram entregues nos anos de 2001 (Walde Rosi Galvão) e 2005 (Luarlindo).

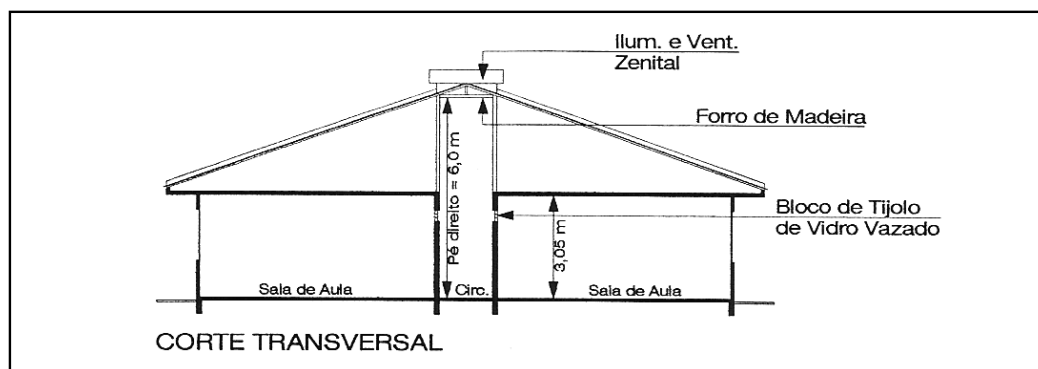
Semelhante ao padrão 010, as escolas desse padrão são constituídas de blocos com salas de aula dispostas lado a lado formando duas fileiras separadas por um corredor central, conforme indicado na figura 19. Nesse padrão os blocos podem ser de um ou dois pavimentos.

FIGURA 19 – COMPOSIÇÃO DOS BLOCOS DE SALAS DE AULA PADRÃO 023



A similaridade entre os padrões 010 e 023 é apenas quanto à concepção dos blocos, entretanto, algumas diferenças devem ser ressaltadas, como por exemplo, o pé-direito do corredor entre as salas do padrão 023, com 6 m de altura (figura 20).

FIGURA 20 – CORTE TRANSVERSAL BLOCO DE SALAS DE AULA PADRÃO 023



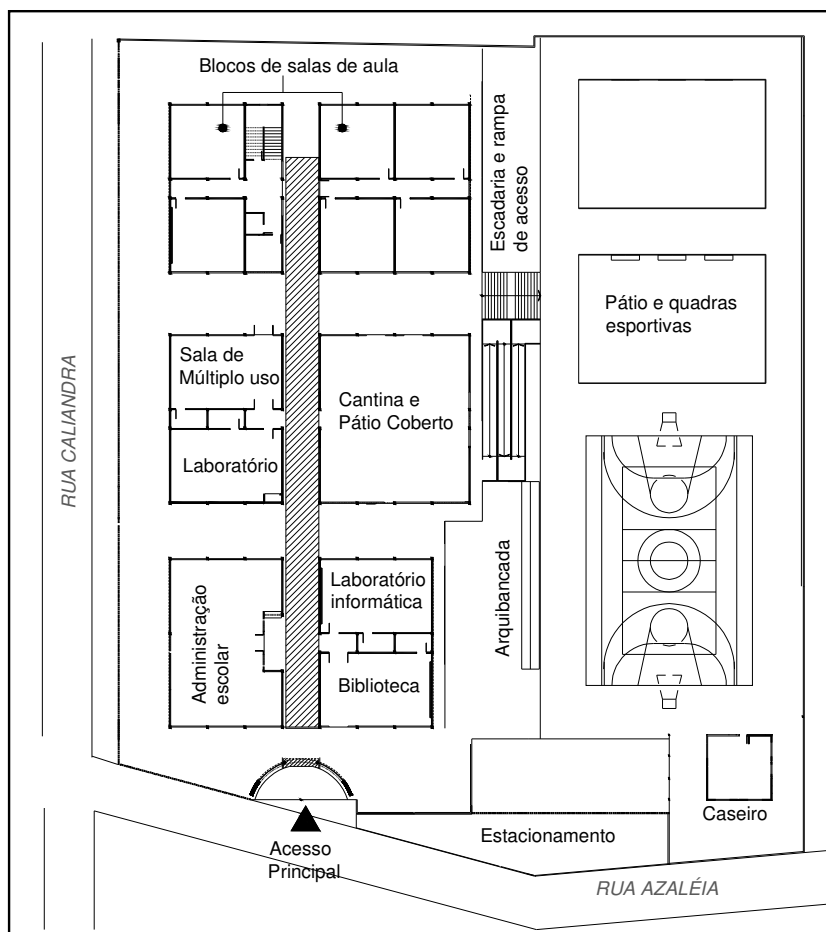
Outra diferença refere-se às janelas das paredes que separam o corredor e as salas de aula. No padrão 010 são fixas do tipo basculante, já no padrão 023 são compostas por blocos de tijolo de vidro vazado. Os materiais de revestimento que compõem as salas de aula também diferem nos dois padrões, bem como o número de salas por bloco, que no padrão 023 é menor.

Na figura 21 é apresentado o leiaute da escola Walde Rosi Galvão e o posicionamento dos ambientes escolares. Essa escola foi fundada em 1998 com salas de aula emergenciais, entretanto o prédio escolar, hoje localizado na rua Azaléia, só foi concluído em 2001.

A escola é composta por seis blocos, dentre os quais, dois, destinam-se exclusivamente às salas de aula.

A escola possui oito salas de aula, dois laboratórios, uma biblioteca e uma sala de múltiplo uso, uma cantina e um pátio coberto. Nessa escola as quadras esportivas e o pátio estão posicionados em um nível inferior em relação aos demais ambientes.

FIGURA 21 – LEIAUTE ESCOLA WALDE ROSI GALVÃO

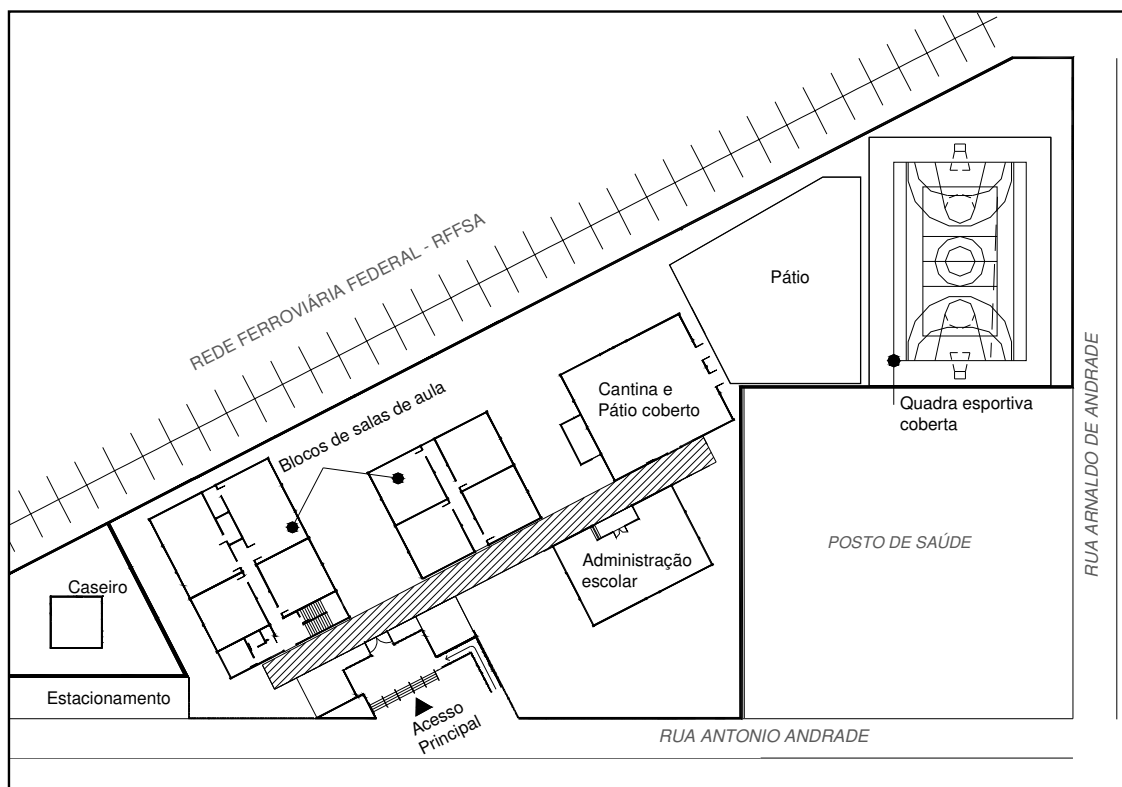


O leiaute da escola Luarlindo dos Reis Borges é apresentado na figura 22. Nessa escola todos os ambientes estão implantados em um mesmo nível.

A escola Luarlindo dos Reis Borges é composta por 4 blocos, destes, dois destinam-se às salas de aula, laboratórios, biblioteca e sala de múltiplo uso. No total a escola possui oito salas de aula.

Em um bloco separado, posicionado entre os blocos de salas de aula e a área de recreação (pátio e quadra esportiva), está posicionado o bloco destinado à cantina e ao pátio coberto, conforme figura 22. A figura ainda permite observar a proximidade da linha férrea com os fundos da escola.

FIGURA 22 – LEIAUTE ESCOLA LUARLINDO DOS REIS BORGES



As salas de aula do padrão 023 possuem um volume de aproximadamente 156 m<sup>3</sup> e comportam até quarenta alunos.

Neste padrão o piso é revestido por cerâmica e as paredes e teto por reboco e pintura. As cadeiras e carteiras são metálicas revestidas de fórmica.

As salas de aula possuem janelas basculantes e porta em madeira. Os blocos de tijolos de vidro, posicionados na parte superior da parede divisória entre a sala de aula e o corredor, são característicos desse padrão.

As fachadas são compostas por paredes de alvenaria simples com revestimento externo em cerâmica e interno em reboco e pintura. As esquadrias são de ferro com fechamento em vidro comum.



## 4.2. RESULTADOS AVALIAÇÃO QUALITATIVA

### 4.2.1. Padrão 010

#### 4.2.1.1. Ruído de Fundo

Visando avaliar o ambiente acústico das escolas foram realizadas medições dos níveis sonoros equivalentes. Primeiramente avaliou-se o ambiente externo realizando-se medições nas calçadas ao redor das escolas, respeitando-se as distâncias determinadas pela norma NBR 10151 (2000).

As escolas do padrão 010 avaliadas estão localizadas em um espaço urbano com ruas mais movimentadas que as demais escolas pesquisadas.

Segundo a NBR 10151 (2000), que estabelece os níveis sonoros para ambientes externos, o  $L_{eq}$  máximo admitido para áreas de escolas no período diurno é de 50 dB(A).

A tabela 9 apresenta os resultados dos valores médios dos níveis sonoros obtidos no entorno das escolas Alfredo Parodi e Luiza Ross. Além do  $L_{Aeq}$  são apresentados os níveis sonoros máximos e mínimos.

TABELA 9 – RUÍDO DE TRÁFEGO NO ENTORNO DAS ESCOLAS DO PADRÃO 010

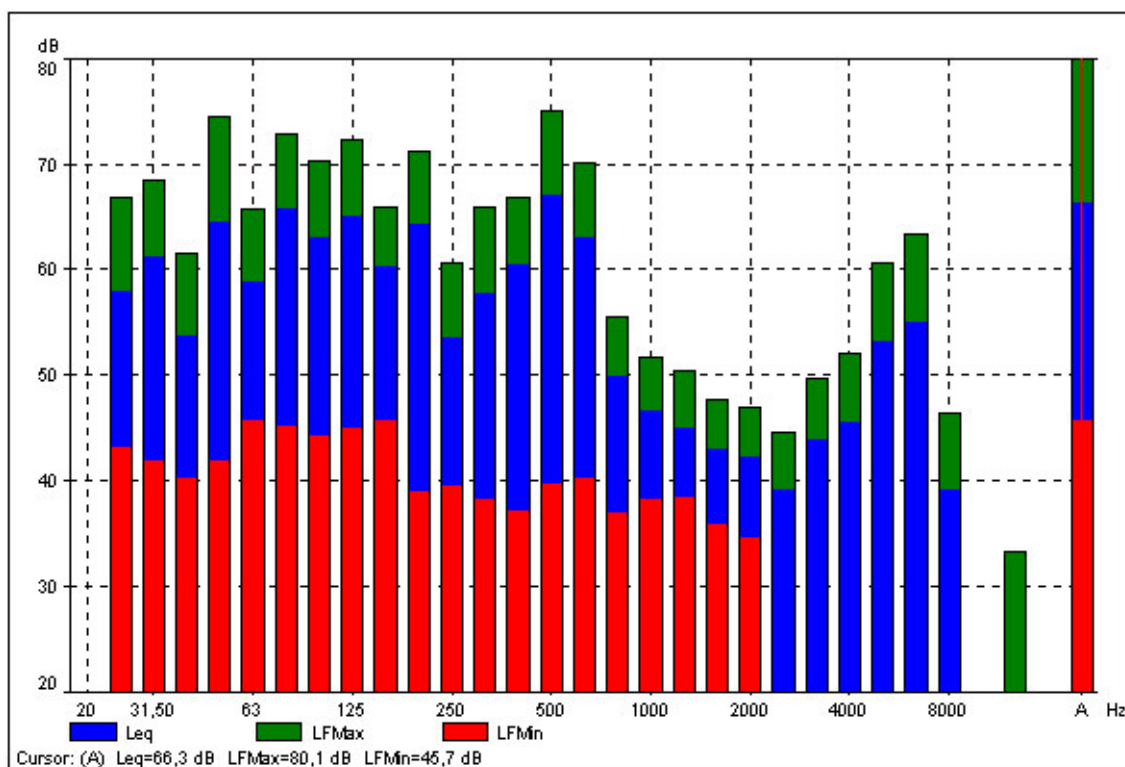
<b>Ruído de tráfego no entorno das escolas</b>			
<b>Escola</b>	<b><math>L_{eq}</math> dB(A)</b>	<b><math>L_{Máx}</math> dB(A)</b>	<b><math>L_{Mín}</math> dB(A)</b>
Alfredo Parodi	66,3	80,1	45,7
Luiza Ross	66,2	91,2	41,7

Os resultados das duas escolas são muito semelhantes. Na tabela 9 pode-se observar que o  $L_{Aeq}$  medido, tanto em uma escola quanto em outra, está aproximadamente 16 dB(A) acima do permitido pela NBR 10151 (2000).

Apesar do ruído no entorno das escolas estar acima do estabelecido pela norma, observou-se na medição em campo, que o ruído de tráfego não contribui de forma significativa para a composição do ruído de fundo presente nas salas de aula. Essa observação será posteriormente confirmada pela pesquisa realizada junto a alunos e professores.

A figura 23 apresenta a análise em frequência do ruído no entorno da escola Alfredo Parodi.

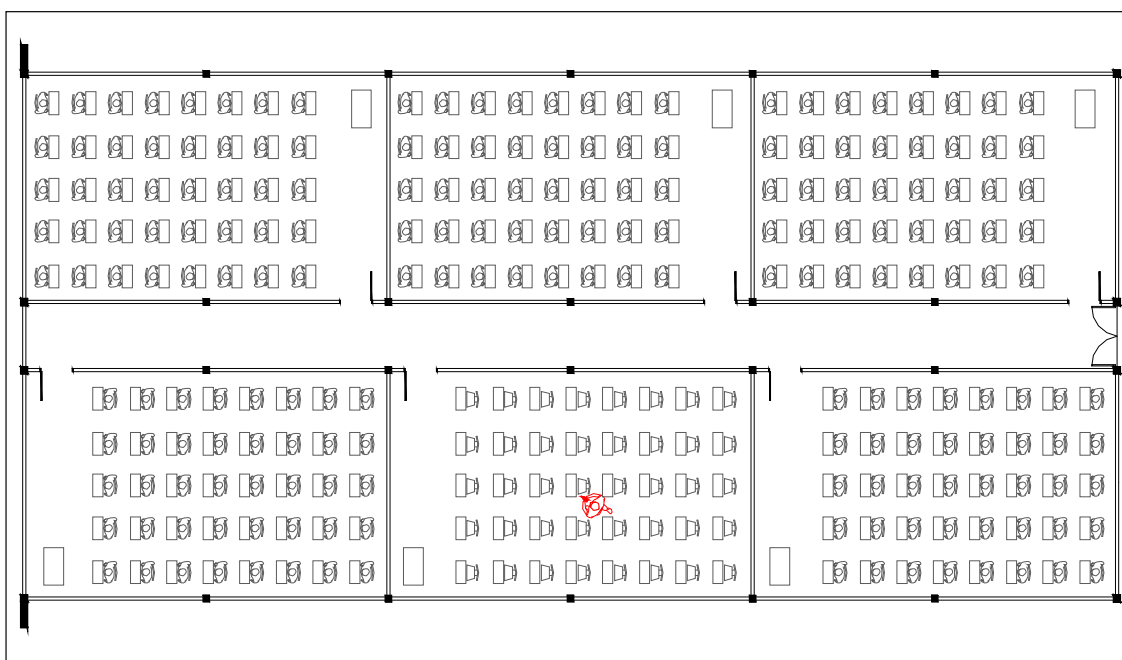
FIGURA 23 – ANÁLISE EM FREQUÊNCIA DO RUÍDO NO ENTORNO DA ESCOLA ALFREDO PARODI



Conforme se observa, os níveis de ruído externo mais expressivos aos quais a escola está exposta, estão concentrados nas baixas frequências. Esse fato demonstra que, no entorno da Escola Alfredo Parodi, o tráfego viário é a fonte de ruído predominante. Situação semelhante ocorreu na escola Luiza Ross, onde o principal ruído em seu entorno também é proveniente do tráfego.

Com relação ao ambiente interno, investigou-se o ruído de fundo presente em sala de aula. Para tanto, em uma sala vazia mediu-se o ruído de fundo proveniente das atividades de ensino realizadas nas demais salas do mesmo bloco. O objetivo dessas medições era verificar se os ruídos produzidos em uma sala de aula exercem influência sobre a outra. A figura 24 apresenta a distribuição e ocupação dos ambientes no momento em que as medições foram realizadas.

FIGURA 24 – MEDIÇÃO DO RUÍDO DE FUNDO EM SALA VAZIA COM AS DEMAIS EM AULA (PADRÃO 010)



Na tabela 10 são apresentados os valores do ruído de fundo medido nas salas vazias nas escolas em estudo.

TABELA 10 – NÍVEIS DE RUÍDO EM SALA DE AULA VAZIA COM AS DEMAIS EM AULA – ESCOLAS DO PADRÃO 010

<b>Níveis de ruído em sala de aula vazia com as demais em aula</b>			
<b>Escola</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMin dB(A)</b>
Alfredo Parodi	59,4	76,1	46,4
Luiza Ross	63,2	76,0	51,9

A NBR 10152 (1987), estabelece 40 dB(A) como o nível sonoro para conforto em salas de aula, sendo 50 dB(A) o valor aceitável para a função do ambiente.

As medições nas salas vazias foram realizadas com as janelas abertas e portas fechadas. Essa é a condição habitual de uso nas duas escolas. Os níveis sonoros medidos estão acima do recomendado pela NBR 10152 (1987).

Em ambientes escolares, níveis elevados de ruído são prejudiciais ao aprendizado. Quanto mais alto o nível de ruído de fundo em uma sala, pior a capacidade de leitura apresentada pelos estudantes. Reduções nos níveis de 35 e 45 dB(A) para 30 dB(A), têm como conseqüência aumento da concentração e atenção, além de contribuir para um comportamento participativo em aula (CRANDELL e SMALDINO, 2000).

Sobre os níveis apresentados na tabela 10, pode-se concluir que as salas do padrão 010 exercem influência negativa umas sobre as outras, gerando níveis elevados de ruído de fundo não condizentes com os valores estabelecidos para conforto acústico em salas de aula.

Além da influência que as salas exercem umas sobre as outras, outro ruído perturbador é decorrente das atividades de educação física. A figura 25 apresenta a proximidade entre o bloco de salas de aula e a quadra de esportes na escola Luiza Ross. Na figura 25 visualiza-se as janelas voltadas para a quadra, fator contribuinte no aumento do ruído de fundo.

FIGURA 25 – PÁTIO DE EDUCAÇÃO FÍSICA LOCALIZADO PRÓXIMO AS SALAS DE AULA – ESCOLA LUIZA ROSS



Situação similar é encontrada na escola Alfredo Parodi. A figura 26 apresenta um croqui indicando os blocos de salas situados próximo ao pátio de educação física. O ponto vermelho na figura 26 indica a posição em que foi registrada a foto da figura 27.

FIGURA 26 – CROQUI INDICANDO PÁTIO DE EDUCAÇÃO FÍSICA – ESCOLA ALFREDO PARODI

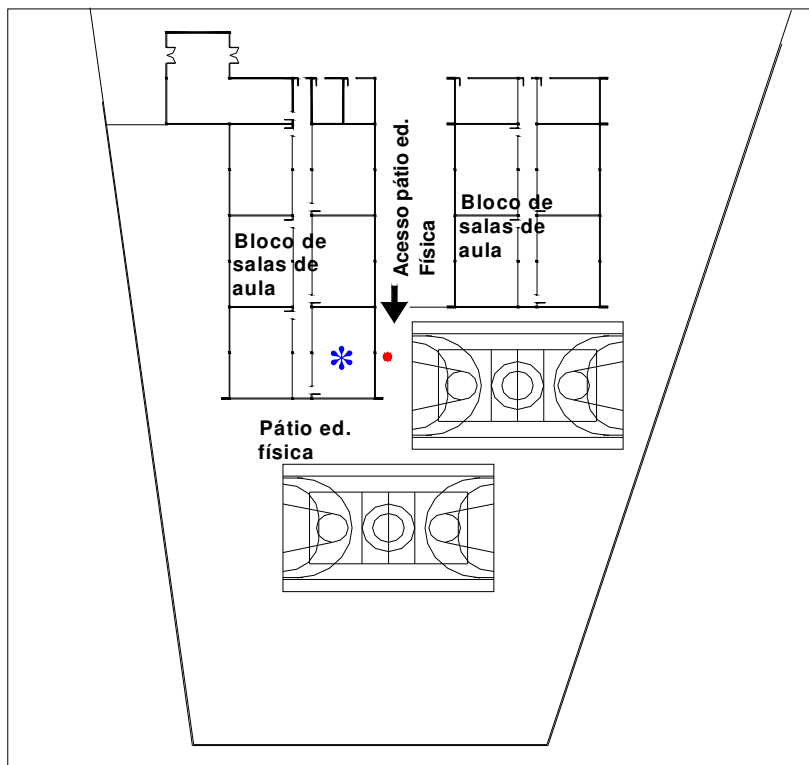


FIGURA 27 – PÁTIO DE EDUCAÇÃO FÍSICA LOCALIZADO PRÓXIMO À SALA DE AULA – ESCOLA ALFREDO PARODI



Nas figuras 26 e 27 nota-se as janelas dos blocos de salas de aula da escola Alfredo Parodi também voltadas para o pátio de acesso às quadras de esportes. Essa região possui grande movimentação de alunos, tanto no início e término das aulas quanto durante todo o período de atividades.

O ruído produzido durante as aulas de educação física tem influência na maioria das salas dos dois blocos mostrados na figura 26, entretanto a mais atingida é a sala indicada na figura 27. Durante a pesquisa de campo, constatou-se que o ruído na sala em questão, proveniente das atividades esportivas era motivo de queixas por parte de alunos e professores.

A tabela 11 mostra os níveis de ruído, decorrentes dessas atividades, medidos na sala de aula (indicada pelo asterisco azul) da figura 26 enquanto estava vazia.

TABELA 11 – NÍVEIS DE RUÍDO EM SALA DE AULA VAZIA AO LADO DO PÁTIO DE EDUCAÇÃO FÍSICA – ESCOLAS DO PADRÃO 010

<b>Níveis de ruído em sala de aula vazia ao lado do pátio de educação física - janelas abertas</b>			
<b>Escola</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMin dB(A)</b>
Alfredo Parodi	66,7	81,3	54,4
Luiza Ross	66,0	80,5	54,8

O conforto acústico nas salas pesquisadas é fortemente comprometido pela interferência que exercem umas sobre as outras. A situação piora quando, além dos ruídos advindos das demais salas, há a influência das atividades de educação física.

Os níveis sonoros apresentados na tabela 11 referem-se, apenas, à influência dos ruídos produzidos pelas atividades esportivas e são superiores ao recomendado pela NBR 10152 (1987).

FLORU et al. apud PIMENTEL (2000) argumentam que a elevação do nível do ruído de 55 para 85 dB(A) gera perdas no desempenho de tarefas de cálculo, aumentando-se os erros. Há, ainda, retardos nos tempos de reposta e restrições no campo visual, permitindo apenas a execução de tarefas mais simples.

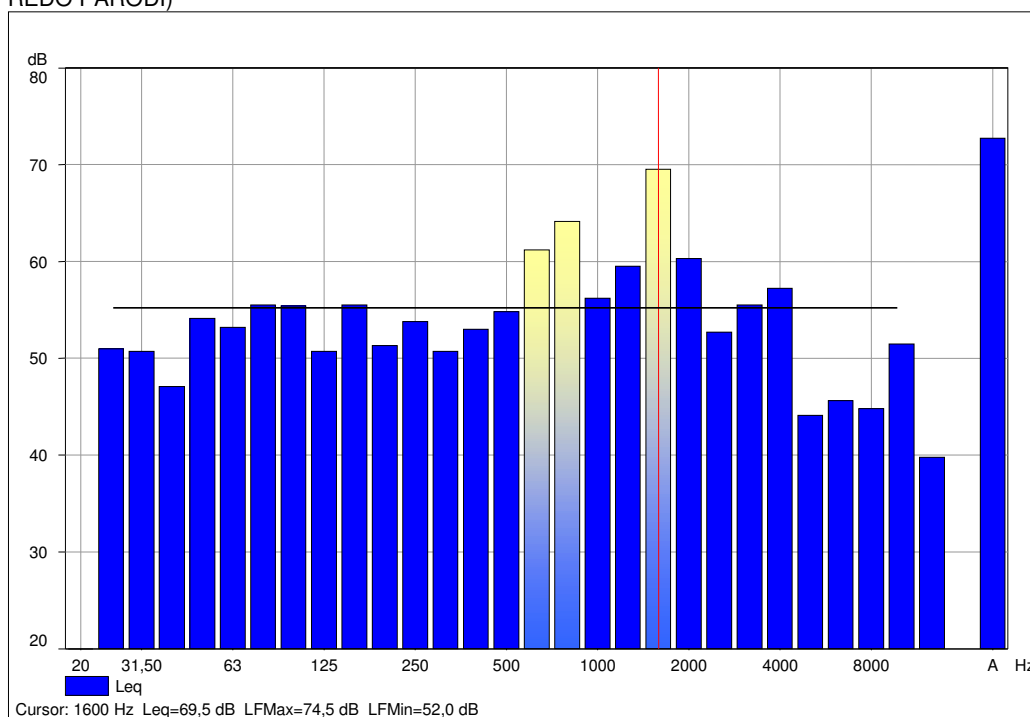
Os níveis de ruídos produzidos durante as aulas de educação física são elevados. A proximidade entre as salas e o pátio é extremamente prejudicial ao processo de ensino-aprendizado, não somente pelos níveis em si, que atrapalham a compreensão da fala e a concentração, mas também pela diminuição da atenção devido aos estímulos visuais provenientes dessas atividades.

A escola Luiza Ross possui ventiladores de teto em suas salas. Como os níveis de ruído medidos durante as atividades de educação física foram obtidos com janelas abertas e portas fechadas, retratando a condição real de uso, optou-se em verificar a utilização das salas com janelas e porta fechadas. Entretanto, para essa opção torna-se imprescindível o acionamento dos ventiladores.

O  $L_{eq}$  medido na sala de aula vazia com os ventiladores ligados foi de 71,7 dB (A), com valor máximo de 86,6 dB(A) e mínimo de 58,6 dB(A). Nessa situação os níveis sonoros não condizem com a norma NBR 10152 (1987) e são ainda piores que os apresentados na tabela 11.

A figura 28 apresenta uma análise em frequência realizada durante uma aula de educação física na escola Alfredo Parodi. Para essa análise foram considerados apenas os valores do  $L_{Aeq}$ . Pode-se perceber na figura 28 níveis sonoros mais elevados nas frequências 630, 800 e 1600 Hz, indicados pela cor amarela. Esses níveis estão relacionados ao falar alto e aos gritos, próprios de atividades esportivas. Sabendo-se que as frequências de 500 a 2000 Hz são consideradas as principais frequências da fala, constata-se que os níveis de ruído gerados durante a educação física, além de comprometerem as atividades em sala de aula, competem diretamente com a voz do professor.

FIGURA 28 – ANÁLISE EM FREQUÊNCIA DO RUÍDO PROVENIENTE DAS AULAS DE EDUCAÇÃO FÍSICA (ALFREDO PARODI)





Além dos níveis de ruído em sala de aula vazia, verificou-se o nível de ruído nos corredores da escola Luiza Ross. O  $L_{Aeq}$  medido foi de 72,9 dB com máximo de 88,4 dB(A) e mínimo de 59,3 dB(A). Para os corredores a NBR 10152 (1987) estabelece o nível de ruído para conforto acústico de 45 dB(A) e 55 dB(A) como aceitável para a função. Os níveis medidos na escola Luiza Ross estão muito acima do aceitável.

Outro ambiente de grande importância na escola é a biblioteca, onde o silêncio é fundamental e o nível de ruído deve ser mantido abaixo de 40 dB(A) (KNUDSEN e HARRIS, 1988). As medições nesse ambiente foram realizadas na escola Luiza Ross. A biblioteca dessa escola situa-se no mesmo bloco das salas, com janelas no alto da parede voltadas para o corredor e porta de acesso voltada para o lado de fora do bloco.

O  $L_{eq}$  medido na biblioteca foi de 64,3 dB(A), com máximo de 75,7 dB(A) e mínimo de 54,7 dB(A). A NBR 10152 (1987) estabelece o nível de ruído para conforto acústico em bibliotecas de 45 dB(A) e 55 dB(A) como o nível aceitável para a função. O nível de 64,3 dB(A) medido na biblioteca da escola Luiza Ross não está de acordo com a norma, comprometendo aspectos inerentes a tais espaços, como concentração e leitura (HAGEN et al., 2002).

Com base nos níveis de ruído acima apresentados, constata-se que as salas de aula do padrão 010 não possuem condições de conforto acústico. Em todas as situações avaliadas os níveis sonoros estavam acima do que recomenda a norma NBR 10152 (1987).

#### 4.2.1.2. Tempo de Reverberação

As medições dos tempos de reverberação foram realizadas, primeiramente, em sala de aula mobiliada e desocupada. Posteriormente, na escola Alfredo Parodi, analisou-se a influência da ocupação sobre o tempo de reverberação.

As salas do padrão 010 possuem um volume de aproximadamente  $139 \text{ m}^3$  e comportam até quarenta alunos. As figuras 29a e 29b mostram as salas de aula avaliadas nas escolas Alfredo Parodi e Luiza Ross, respectivamente.

FIGURAS 29A E 29B – SALA DE AULA ESCOLA ALFREDO PARODI E LUIZA ROSS



As salas possuem forro de madeira e piso em *parquet*. As paredes são rebocadas e pintadas e têm uma pequena faixa de madeira afixada em todo o perímetro. Suas cadeiras e carteiras são metálicas revestidas de fórmica. Nas duas escolas pesquisadas as salas de aula possuíam cortinas nas janelas. As figuras 30a e 30b apresentam os materiais componentes do forro e piso.

FIGURAS 30A E 30B – MATERIAL DO PISO E TETO DAS SALAS DE AULA (LUIZA ROSS)

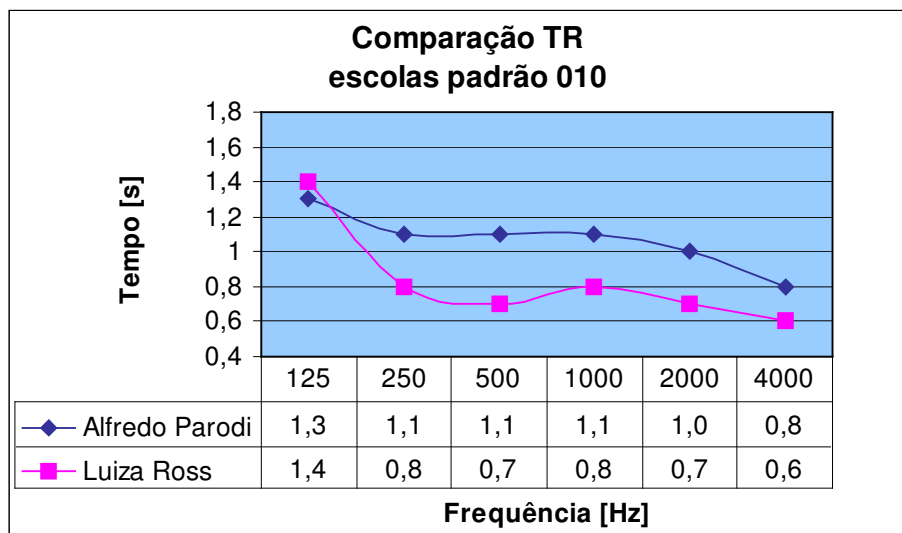


No Brasil a norma que estabelece tempos de reverberação para recintos fechados é a NBR 12179 (1992), entretanto não menciona salas de aula. Dessa forma, para análise e comparação dos resultados obtidos nesta pesquisa, fez-se uso da norma americana ANSI S12.60 (2002) e das recomendações da WHO (2001), a qual baseia-se no Decreto Francês de nove de janeiro de 1995.

A ANSI S12.60 (2002) estabelece para sala de aula vazia com volume inferior a  $283 \text{ m}^3$ , nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, um TR de 0,6 s. Para salas com volume entre  $283$  e  $566 \text{ m}^3$  nas mesmas frequências um TR de 0,7 s.

A figura 31 apresenta os tempos de reverberação medidos nas duas escolas do padrão 010. Os valores de TR apresentados na figura foram obtidos com salas de aula desocupadas.

FIGURA 31 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO DAS SALAS DE AULA DO PADRÃO 010



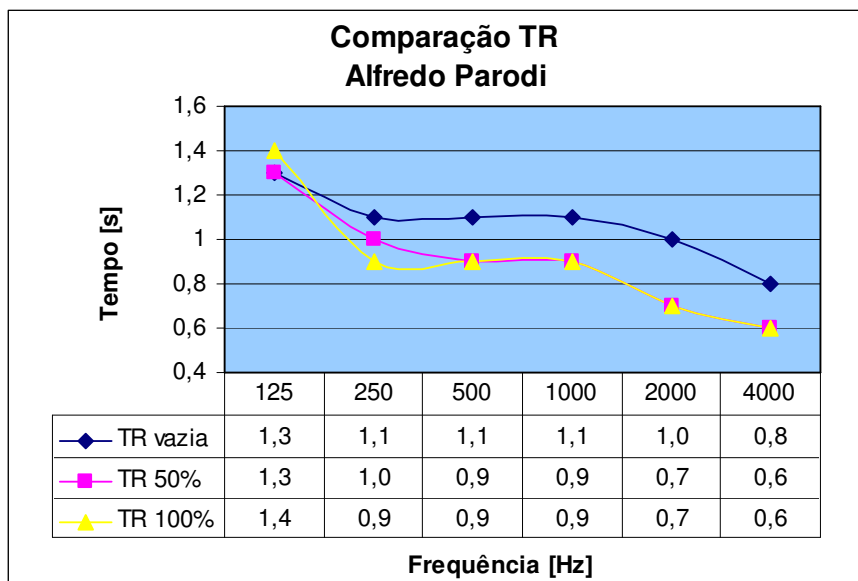
As salas do padrão 010 possuem volume inferior a  $283 \text{ m}^3$ . Portanto, o tempo de reverberação adequado nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz é de 0,6 s. Os valores apresentados indicam a inadequação das salas de aula desse padrão, onde os tempos de reverberação medidos são superiores ao estabelecido pela ANSI S12.60 (2002).

Segundo a WHO (2001) o tempo de reverberação em salas de aula com volume inferior a  $250 \text{ m}^3$  varia de 0,4 a 0,8 s nas freqüências de 500, 1000 e 2000 Hz. Comparando os valores medidos na escola Luiza Ross pode-se constatar que a sala avaliada está de acordo com recomendação da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001).

Na escola Alfredo Parodi também foi verificada a influência da ocupação sobre o tempo de reverberação. A figura 32 apresenta os valores medidos em sala vazia, sala com 50% e 100% de ocupação.

Conforme a figura 32, os ocupantes exercem influência no tempo de reverberação. Na figura observa-se que o TR sob ocupação de 50% e 100% apresentou diferenças apenas nas freqüências de 125 e 250 Hz, nas demais os valores foram os mesmos para 50% e 100% de ocupação.

FIGURA 32 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO COM SALA VAZIA, SALA COM 50% E 100% DE OCUPAÇÃO (ALFREDO PARODI)



Na escola Alfredo Parodi o TR em sala vazia é superior ao recomendado na norma americana e pela WHO (2001). Mesmo com ocupação total, a sala de aula avaliada não alcançou o tempo de reverberação especificado pela ANSI S12.60

(2002). Comparando-se à recomendação da WHO (2001), apenas nas frequências de 2000 e 4000 Hz o TR corresponde ao valor determinado.

Os tempos de reverberação medidos nas duas escolas demonstram ausência de conforto acústico em sala de aula. A deficiência desses ambientes prejudica a comunicação entre alunos e professores, pois tempos de reverberação elevados diminuem a inteligibilidade da fala.

#### 4.2.1.3. Isolamento Acústico

Devido à complexidade do processo de medição, considerando a quantidade de equipamentos e pessoal envolvidos, as medições de isolamento acústico foram realizadas em apenas uma escola de cada padrão. Para verificar o isolamento das fachadas e paredes internas do padrão 010 foram feitas medições na escola Alfredo Parodi.

As fachadas dos blocos de salas de aula são compostas por paredes de alvenaria simples com acabamento em reboco e pintura, tanto na parte interna quanto externa. As janelas são em esquadrias de ferro e vidro comum. As figuras 33a e 33b apresentam as fachadas das escolas do padrão 010.

FIGURAS 33A E 33B – FACHADA DOS BLOCOS DE SALAS DE AULA DAS ESCOLAS LUIZA ROSS (ESQUERDA) E ALFREDO PARODI (DIREITA)

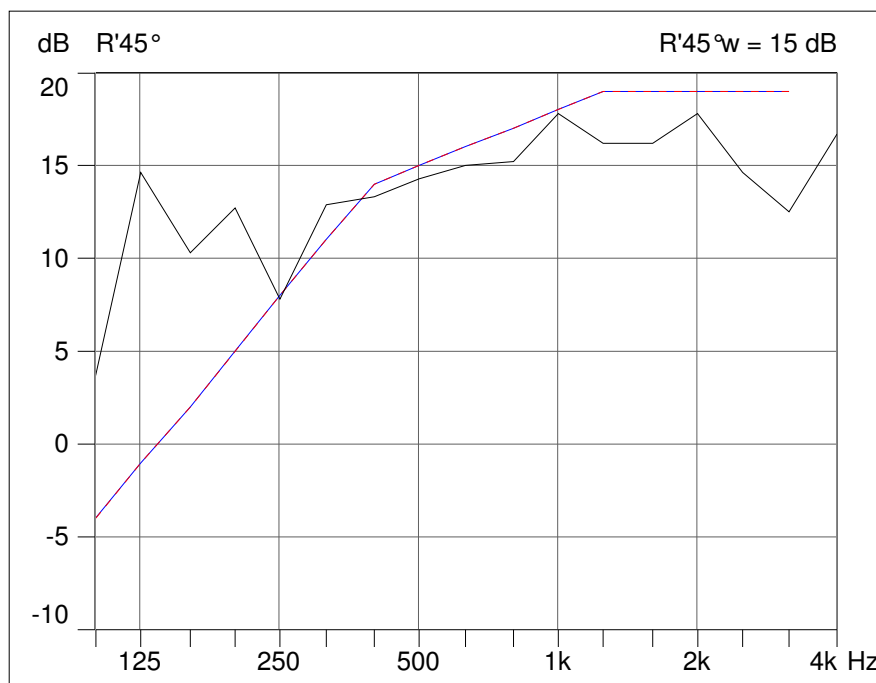


O isolamento acústico de fachada foi medido segundo o Método da Caixa de Som descrito pela norma ISO 140-5 (1998). Como resultado foi obtido o Índice de Redução Sonora Aparente  $R'_{45^\circ}$ , o qual fornece valores em dB para cada frequência de interesse. A tabela 12 apresenta os valores do  $R'_{45^\circ}$  para as frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava.

TABELA 12 – VALORES PARA O ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE  $R'_{45^\circ}$  DA ESCOLA ALFREDO PARODI

Isolamento de fachada Alfredo Parodi	
Frequência [Hz]	$R'_{45^\circ}$ [dB]
125	14,6
250	7,8
500	14,3
1000	17,8
2000	17,8
4000	16,7
<b><math>R'_{45^\circ,w} = 15</math> dB</b>	

FIGURA 34 – ISOLAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA ESCOLA ALFREDO PARODI





Além desses valores, a tabela 12 e a figura 34 apresentam o número único para o isolamento da fachada das salas padrão 010, conforme procedimento contido na norma ISO 717-1 (1996). O número único que representa o isolamento acústico da fachada é denominado Índice de Redução Sonora Ponderado  $R'_{45^{\circ},w}$ .

HARRIS (1998) comenta que o número único obtido para o isolamento acústico baseado na norma ISO 717-1 (1996) é semelhante à Classe de Transmissão Sonora (STC). O STC também é um número único utilizado para essa avaliação, entretanto, baseia-se na norma americana ASTM E413.

Segundo a ANSI S12.60 (2002), o valor do STC para o isolamento acústico entre salas de aula e pátios (áreas ao ar livre) é de 50 dB. O valor de  $R'_{45^{\circ},w}$  obtido na escola Alfredo Parodi foi de 15 dB. Quando comparado à norma, constata-se que o isolamento acústico das fachadas do padrão 010 é inadequado e extremamente baixo.

Além do isolamento de fachadas avaliou-se, também, o isolamento entre as salas e o corredor. Para tanto, foram seguidos os procedimentos da norma ISO 140-4 (1998).

FIGURAS 35A E 35B - CORREDOR ENTRE SALAS DE AULA DAS ESCOLAS ALFREDO PARODI (ESQUERDA) E LUIZA ROSS (DIREITA)



Conforme observa-se nas figuras 35a e 35b, as paredes entre as salas padrão 010 e o corredor são construídas em alvenaria simples, rebocadas e

pintadas em ambos os lados. Na parte superior estão as esquadrias de ferro do tipo basculante com fechamento em vidro comum.

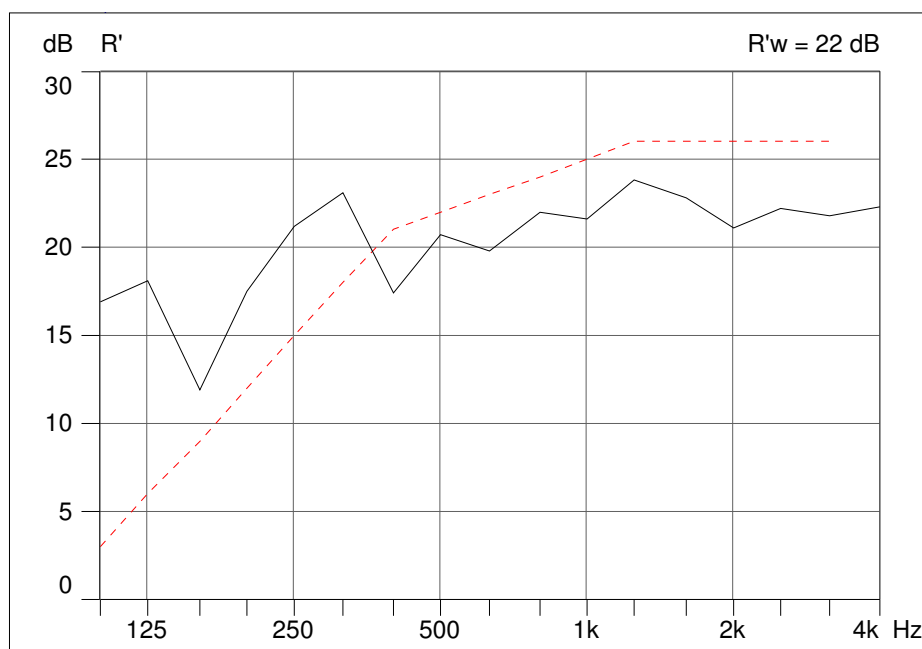
A tabela 13 apresenta os valores do Índice de Redução Sonora  $R'$  da parede divisória.

TABELA 13 – VALORES PARA O ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE  $R'$  (ALFREDO PARODI)

Isolamento entre sala de aula e corredor Alfredo Parodi	
Frequência [Hz]	$R'$ [dB]
125	18,1
250	21,2
500	20,7
1000	21,6
2000	21,1
4000	22,3
<b><math>R'_w = 22</math> dB</b>	

A figura 36 indica a curva do Índice de Redução Sonora Aparente  $R'$  para os valores da tabela acima. O número único, Índice de Redução Sonora Ponderado  $R'_w$ , é apresentado na tabela 13 e na figura 36.

FIGURA 36 – ISOLAMENTO ACÚSTICO ENTRE SALA DE AULA E CORREDOR (ALFREDO PARODI)





A norma ANSI S12.60 (2002) estabelece em 45 dB o valor do STC para o isolamento acústico entre salas de aula e corredor. O valor de  $R'_w$  obtido foi de 22 dB, revelando ser insuficiente o isolamento das paredes divisórias do padrão 010.

Os níveis de ruído apresentados na tabela 10 (seção 4.1.1) indicaram a influência negativa que as salas exercem umas sobre as outras. Essa influência é decorrente do comportamento dos usuários e, principalmente, do pobre isolamento acústico dessas divisórias.

#### 4.2.2. Padrão 022

##### 4.2.2.1. Ruído de Fundo

Assim como nas escolas do padrão 010, primeiramente verificou-se as condições sonoras do ambiente externo por meio de medições efetuadas nas calçadas ao redor das escolas. Essa avaliação teve por objetivo quantificar as emissões sonoras e averiguar a influência do ruído de tráfego nas salas de aula.

A escola Anibal Khury Neto localiza-se em uma esquina, ladeada por uma via principal e uma secundária com pouco movimento, ambas asfaltadas. A escola Paulo Freire situa-se em uma região com menor tráfego de veículos e vias não asfaltadas no entorno da escola (figuras 37a e 37b).

FIGURAS 37A E 37B – VIAS DE ACESSO ESCOLA PAULO FREIRE



TABELA 14 – RUÍDO DE TRÁFEGO NO ENTORNO DAS ESCOLAS DO PADRÃO 022

<b>Ruído de tráfego no entorno das escolas</b>			
<b>Escola</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMín dB(A)</b>
Anibal Khury Neto	68,4	87,6	44,0
Paulo Freire	60,5	75,1	38,3

A tabela 14 mostra os valores dos níveis sonoros medidos no entorno dessas escolas. Além do  $L_{Aeq}$  são apresentados os níveis sonoros máximos e mínimos. Os níveis obtidos nas duas escolas são superiores a 50 dB(A), valor recomendado pela NBR 10151 (2000).

Apesar do ruído de tráfego ser superior ao limite estabelecido pela NBR 10151 (2000), foi possível notar durante as investigações não haver nenhuma influência sobre as salas de aula. A afirmação foi confirmada pelos níveis de ruído da tabela 15, medidos na escola Anibal Khury Neto durante as férias escolares, período no qual estava vazia.

Os valores abaixo referem-se ao ambiente do pátio e de uma sala de aula localizada na posição mais desfavorável em relação aos ruídos externos.

TABELA 15 – NÍVEIS DE RUÍDO NO PERÍODO DE FÉRIAS ESCOLARES (ESCOLA ANIBAL KHURY NETO)

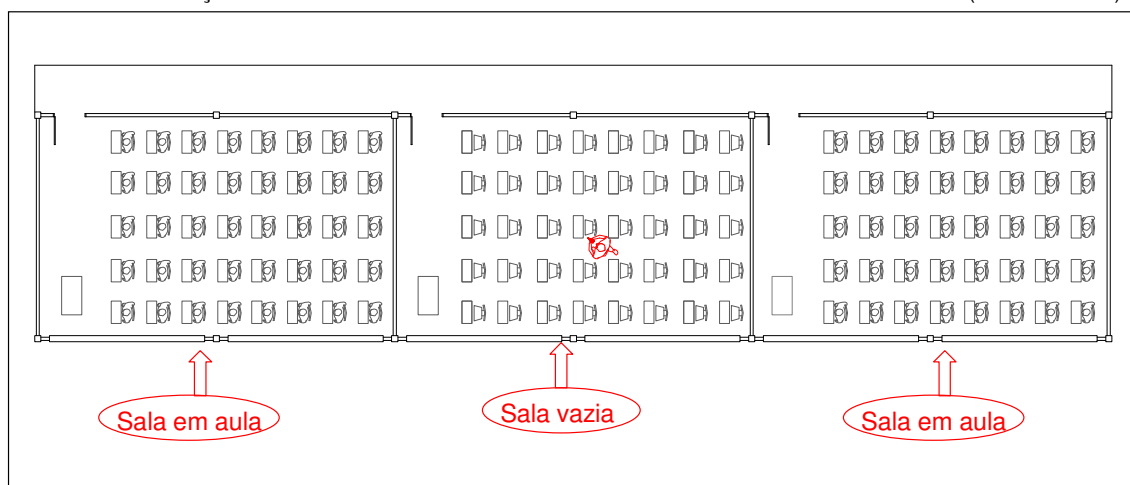
<b>Níveis de ruído período de férias (escola vazia)</b>			
	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMín dB(A)</b>
Pátio	52,3	69,9	38,6
Sala de aula	40,4	48,3	35,2

Conforme é possível verificar, o nível sonoro de 40,4 dB(A) para a sala de aula está de acordo com o recomendado pela NBR 10152 (1987) - 40 dB(A), condição de conforto acústico. Os níveis de ruído na tabela acima sugerem que a condição de conforto acústico é alcançada quando a escola está vazia, ou seja, os ruídos produzidos pela vizinhança (vizinhos, tráfego urbano, comércio, etc) não comprometem o ambiente acústico das salas de aula.

Depois de analisada a influência dos níveis externos de ruído verificou-se o ruído interno gerado pelas escolas. Essa investigação deu-se de forma a caracterizar a realidade diária nas salas de aula. Dessa forma, algumas situações não puderam ser avaliadas com os mesmos critérios nas duas escolas.

O primeiro aspecto investigado foi o ruído de fundo presente nas salas de aula durante o período normal de atividades. Para essa avaliação mediram-se os níveis de ruído em uma sala vazia enquanto nas outras salas do mesmo bloco eram realizadas aulas normais. A figura 38 ilustra o momento de medição e a composição das salas de aula na escola Paulo Freire.

FIGURA 38 –MEDIÇÃO DO RUÍDO DE FUNDO EM SALA VAZIA COM AS DEMAIS EM AULA (PADRÃO 022)



Esse aspecto só pôde ser verificado na escola Paulo Freire, pois na Anibal Khury Neto, durante todo o período de medições, havia movimentação intensa de alunos e professores no pátio da escola, o que inviabilizou a análise.

O  $L_{eq}$  medido na sala de aula vazia com as demais em aula, na escola Paulo Freire, foi de 51,1 dB(A). O nível máximo resultou em 71,1 dB(A) e o mínimo em 40,2 dB(A).

Em comparação com a NBR 10152 (1987), o  $L_{eq}$  de 51,1 dB(A) não representa condições de conforto acústico em sala de aula, tendo em vista que o

valor para conforto é de 40 dB(A), mas está próximo do aceitável para a função do ambiente,  $L_{eq} = 50$  dB(A).

Os valores medidos indicam que as salas de aula localizadas em um mesmo bloco exercem influência negativa umas sobre as outras, uma vez que os ruídos produzidos em uma sala têm acesso às demais.

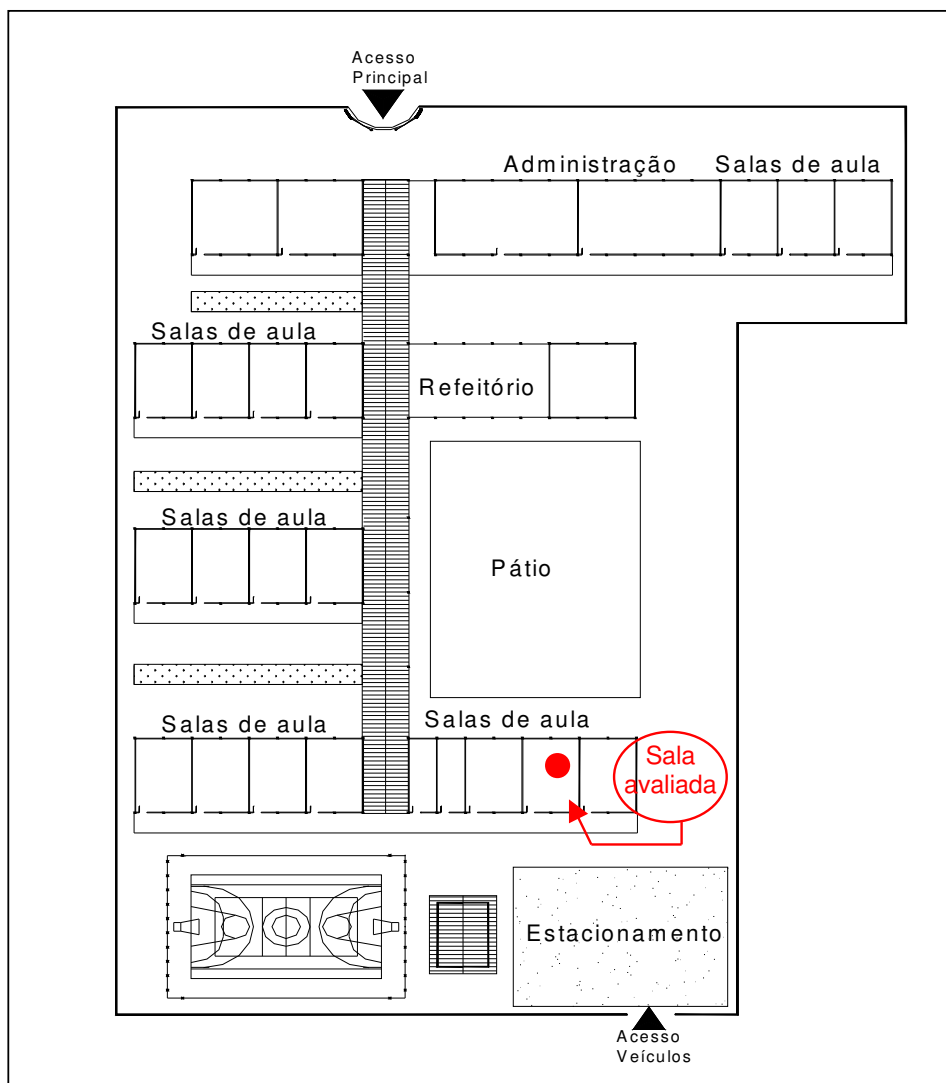
Conforme mencionado acima, na escola Anibal Khury Neto não foi possível efetuar essa avaliação, entretanto, constatou-se que as salas localizadas em um bloco exercem pouca influência sobre as salas do bloco adjacente. Esse fato deve-se às fachadas compostas por janelas em um bloco serem voltadas para a fachada composta por portas do outro bloco. As salas exercem influência umas sobre as outras quando estão dispostas lado a lado em um mesmo bloco. Contudo, o ruído gerado no pátio tem uma influência muito maior que o ruído produzido pelas salas.

Quanto aos ruídos gerados no interior das escolas, o segundo aspecto analisado foi o ruído proveniente das atividades de educação física. Para essa avaliação foram efetuadas medições em uma sala de aula vazia enquanto no pátio e na quadra de esportes eram realizadas aulas de educação física.

Assim como no padrão 010, as escolas de padrão 022 possuem as salas de aula próximas ao pátio e às quadras de esporte. Apesar de pertencerem ao mesmo padrão construtivo, as escolas avaliadas apresentam diferenças de layout, principalmente no que se refere à posição das áreas de recreação (pátio e quadra de esportes).

Na escola Anibal Khury Neto (figura 39) o refeitório e o pátio estão próximos um ao outro. A quadra de esportes, por sua vez, está afastada desses ambientes, localizando-se no fundo do terreno. Nessa escola há um muro alto separando a quadra de esportes e o bloco de salas de aula.

FIGURAS 39 – LEIAUTE ESCOLA ANIBAL KHURY NETO



As figuras 40a e 40b indicam o posicionamento da quadra de esportes e do pátio onde são praticadas as aulas de educação física. A figura 40a evidencia a influência dessas atividades nas salas de aula, pois suas janelas estão voltadas para o pátio.

FIGURA 40A E 40B – CRIANÇAS EM ATIVIDADE DE ED. FÍSICA NO PÁTIO E NA QUADRA DE ESPORTES (ESCOLA ANIBAL KHURY NETO)



A tabela 16 apresenta os valores do ruído proveniente das atividades esportivas realizadas no pátio da escola Anibal Khury Neto. As medições foram feitas em sala vazia, considerando as duas opções de uso: janelas abertas e fechadas. Deve-se destacar a utilização das janelas abertas como a situação mais freqüente.

TABELA 16 – NÍVEIS DE RUÍDO EM SALA DE AULA VAZIA COM ATIVIDADES DE EDUCAÇÃO FÍSICA NO PÁTIO (ANIBAL KHURY NETO)

<b>Níveis de ruído medidos em sala de aula vazia com atividades de educação física no pátio</b>			
	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMín dB(A)</b>
Sala com janelas abertas	74,6	88,7	52,6
Sala com janelas fechadas	61,7	75,7	46,5

Conforme se observa na tabela 16, os níveis de ruídos produzidos durante as atividades de educação física são elevados e interferem na comunicação em sala de aula. Para a condição em que as janelas são mantidas abertas, a diferença entre o valor medido e o recomendado pela NBR 10152 (1987), para a condição de conforto acústico, é de 34,6 dB(A).

A influência da quadra de esportes sobre as salas de aula é consideravelmente menor que a influência do pátio, pois a fachada voltada para a quadra é composta de portas e pequenas janelas sem abertura, conforme apresentado na figura 40b.

Os valores medidos traduzem a realidade dos níveis de ruído presentes em sala de aula, uma vez que as atividades de educação física são realizadas durante a maior parte da semana. O bloco de salas de aula avaliado é o que apresenta a pior situação, pois está localizado entre os dois ambientes recreativos, onde a fachada das janelas está voltada para o pátio e a fachada das portas para a quadra de esportes.

Os níveis de ruído em salas vazias, próximas às áreas de recreação da escola Paulo Freire, também são expressivos e confirmam a influência desses ruídos sobre o ambiente de sala de aula.

Na escola Paulo Freire o pátio e a quadra de esportes são próximos um ao outro (figura 41). O refeitório está afastado dos ambientes de recreação, posicionado ao lado do bloco administrativo. Conforme se observa na figura 41, a área onde são realizadas as atividades de educação física situa-se entre dois blocos de salas de aula, denominados bloco intermediário (figura 42a) e bloco dos fundos (figura 42b).

FIGURAS 41 - LEIAUTE ESCOLA PAULO FREIRE

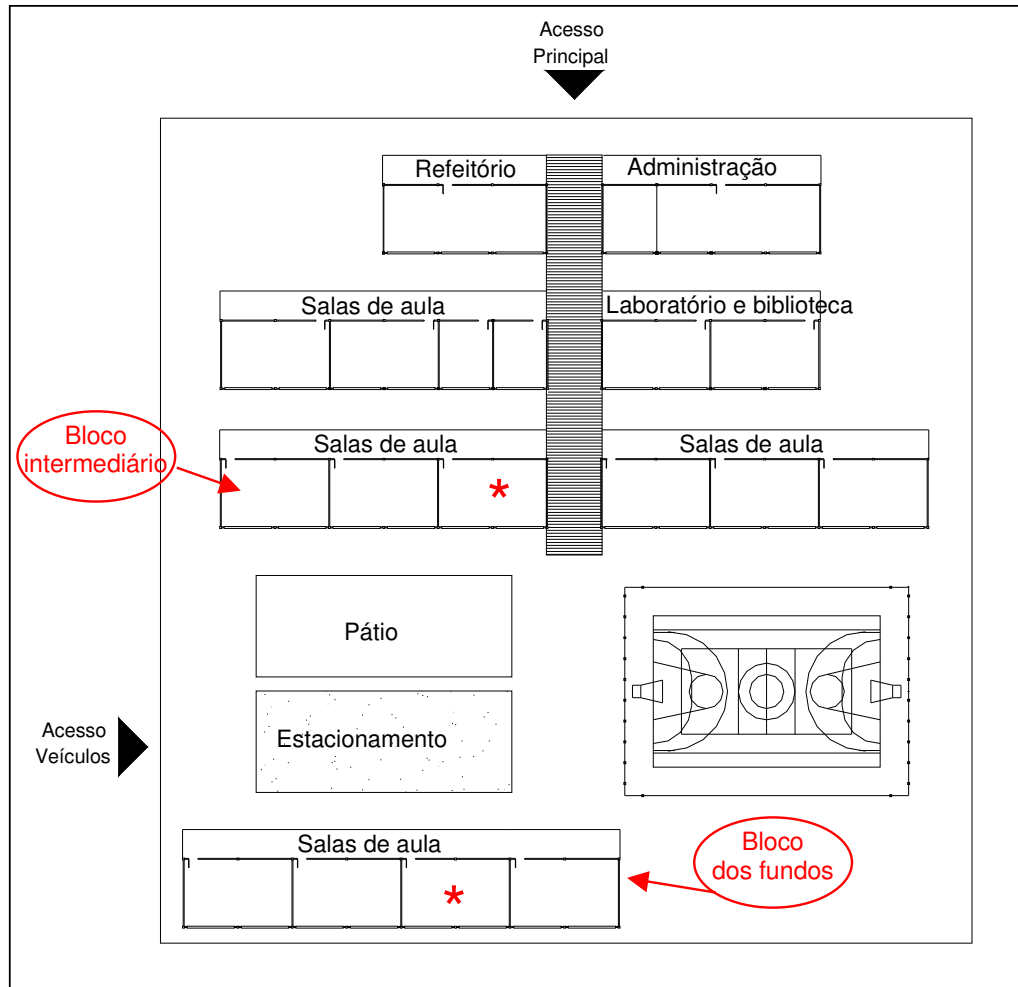


FIGURA 42A E 42B – BLOCOS DE SALAS DE AULA INTERMEDIÁRIO E DOS FUNDOS (ESCOLA PAULO FREIRE)





A tabela 17 apresenta os valores medidos nas salas de aula localizadas no dois blocos. As salas avaliadas estão indicadas na figura 41 por um asterisco em vermelho.

TABELA 17 – NÍVEIS DE RUÍDO EM SALA DE AULA VAZIA COM ATIVIDADES DE EDUCAÇÃO FÍSICA NO PÁTIO (ESCOLA PAULO FREIRE)

<b>Níveis de ruído em sala de aula vazia com atividades de educação física no pátio ao lado</b>			
	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMín dB(A)</b>
Bloco intermediário	62,5	73,5	50,6
Bloco dos fundos	59,7	75,1	45,9

O  $L_{Aeq}$  medido no bloco intermediário é superior ao medido no bloco dos fundos. Essa diferença deve-se a composição das fachadas voltadas para o pátio. A fachada do bloco intermediário que está voltada para o pátio é composta de janelas, enquanto a fachada do bloco dos fundos é composta por portas e pequenas janelas sem abertura. Apesar de diferentes, os níveis sonoros medidos nas salas de aula são superiores ao recomendado pela NBR 10152 (1987).

Assim como nas escolas do padrão 010, a proximidade entre as salas de aula e o pátio de recreação resulta na falta de conforto acústico e contribui negativamente para o processo de ensino-aprendizagem. O posicionamento do pátio em relação aos blocos de salas de aula nas duas escolas do padrão 022 reflete a falta de planejamento acústico na concepção do projeto arquitetônico.

Além dos níveis de ruído em salas de aula, verificou-se o conforto acústico na biblioteca da escola Paulo Freire. As medições foram realizadas durante um dia normal de aulas com as janelas abertas, sendo essa a condição usual. O  $L_{eq}$  medido na biblioteca foi de 60,2 dB(A). Os níveis máximo e mínimo foram de 77,2 e 47,7 dB(A), respectivamente. A NBR 10152 (1987) estabelece como condição de conforto acústico o nível de 35 dB(A) e como aceitável para função 45 dB(A). O nível medido

é consideravelmente superior ao estabelecido na norma e indica a inadequação do espaço avaliado para atividades que requerem silêncio e concentração.

Devido aos níveis sonoros não compatíveis com a condição de conforto acústico em sala de aula, investigou-se os níveis sonoros gerados durante uma aula de português na escola Anibal Khury Neto. Os níveis medidos dizem respeito à voz do professor durante uma aula explicativa onde os alunos apenas ouviam-no. A medição foi realizada sem a influência das aulas de educação física. A tabela 18 apresenta esses valores.

TABELA 18 – NÍVEIS DE RUÍDO DURANTE UMA AULA DE PORTUGUÊS (ANIBAL KHURY NETO)

<b>Níveis de ruído em sala durante aula de português (apenas o professor fala)</b>		
<b>L<sub>eq</sub></b> dB(A)	<b>L<sub>Máx</sub></b> dB(A)	<b>L<sub>Min</sub></b> dB(A)
74,0	85,6	53,8

Os valores de ruído acima apresentados estão predominantemente relacionados à voz do professor. O valor obtido para o  $L_{Aeq}$ , é elevado e demonstra o esforço vocal ao qual os professores estão submetidos.

Esse esforço vocal é ainda maior quando há a presença de atividades de educação física no pátio, os quais elevam o ruído de fundo dentro da sala de aula. Na tabela 16 é apresentado o valor do ruído de fundo de 74,6 dB(A) para a sala de aula vazia sob a influência das atividades de educação física. O valor fornecido na tabela 16 é praticamente igual ao valor encontrado na situação da tabela 18, sugerindo que sob a influência das atividades de educação física a voz de professor não estará mais no nível de 74 dB(A), e sim em um valor muito superior, semelhante à voz gritada.

#### 4.2.2.2. Tempo de Reverberação

HAGEN et al. (2002) comentam que a acústica ideal depende dos valores de TR encontrados no interior das salas de aula. A avaliação dos tempos de reverberação nas salas do padrão 022 foi realizada com o ambiente mobiliado e desocupado, para que os valores obtidos pudessem ser balizados pela norma ANSI S12.60 (2002) e pela recomendação da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001) baseada no Decreto Francês de nove de janeiro de 1995.

Também foi verificada a influência da ocupação sobre o tempo de reverberação, para tanto foram consideradas duas situações: 1) sala com 50% de ocupação, 2) sala com 100% de ocupação.

As salas de aula do padrão 022 têm volume de aproximadamente 139 m<sup>3</sup> e comportam até quarenta alunos. Nas figuras 43a e 43b são indicadas as salas avaliadas nas escolas Anibal Khury Neto e Paulo Freire, respectivamente.

FIGURAS 43A E 43B – SALA DE AULA ESCOLA ANIBAL KHURY NETO E PAULO FREIRE



Nesse padrão o piso é revestido com *parquet*, as paredes e teto possuem acabamento em reboco e pintura. Nas paredes são afixadas faixas de madeira em todo o perímetro da sala. Suas cadeiras e carteiras são metálicas revestidas de fórmica. Nas duas escolas pesquisadas não havia cortinas nas janelas. As figuras 44a e 44b mostram em detalhe os materiais que compõem o piso e o teto.

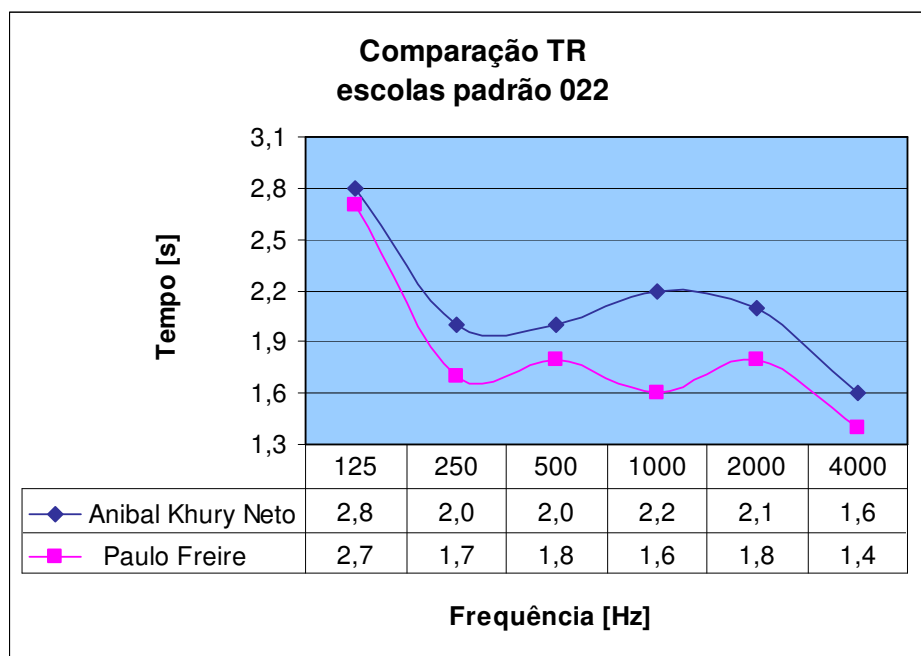
FIGURAS 44A E 44B – MATERIAL DO PISO E TETO DAS SALAS DE AULA (PAULO FREIRE)



Nessas salas as janelas são basculantes e a porta em madeira. As janelas localizam-se nas duas paredes laterais da sala, sendo que em uma das laterais estão posicionadas somente na parte superior da parede conforme indicado na figura 44b.

A figura 45 apresenta os valores do tempo de reverberação medidos nas salas de aula do padrão 022, com sala mobiliada e desocupada.

FIGURA 45 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO DAS SALAS DE AULA DO PADRÃO 023



A norma ANSI S12.60 (2002) estabelece em 0,6 s o TR ideal para salas de aula com volume igual ao encontrado nas salas avaliadas, nas freqüências de 500, 1000 e 2000 Hz. Os valores medidos estão muito acima do que recomenda a norma.

A WHO (2001) estabelece para as salas avaliadas, nas freqüências de 500, 1000 e 2000 Hz, o tempo de reverberação entre 0,4 a 0,8 s. Apesar dos valores recomendados pela WHO (2001) serem mais tolerantes que o estabelecido pela norma ANSI, os valores encontrados nas salas de aula do padrão 022 não satisfazem a recomendação.

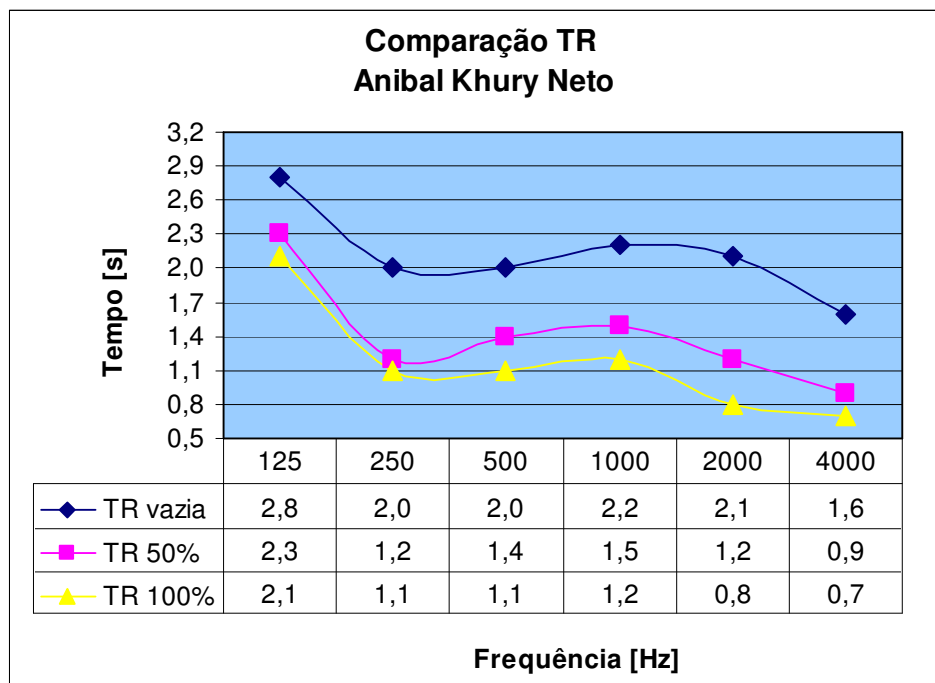
LORO (2003) comenta que os estudantes nas salas de aula, devido ao processo pedagógico, passam mais tempo ouvindo, se comparado ao tempo que passam lendo, falando ou escrevendo. Logo, o processo de comunicação entre estudantes e professores é essencial. Para HAGEN et al., (2002) não é suficiente apenas escutar, é necessário compreender a informação, através da inteligibilidade e percepção dos sons emitidos.

Tempos de reverberação demasiadamente longos mascaram os sons e diminuem a inteligibilidade da fala, tornando o ambiente impróprio para realização de atividades educacionais.

A figura 46 apresenta os valores do tempo de reverberação considerando o efeito da ocupação medidos na escola Anibal Khury Neto.

Os valores apresentados na figura 46 indicam a redução nos tempos de reverberação devido à ocupação. Apesar dos valores determinados por norma serem referentes a ambientes desocupados, constata-se que mesmo em presença de 100% de ocupação, os tempos de reverberação medidos não condizem com os valores estabelecidos na norma americana e na recomendação da WHO (2001).

FIGURA 46 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO COM SALA VAZIA, 50% DE OCUPAÇÃO E 100% DE OCUPAÇÃO (ANIBAL KHURY NETO)



Os valores de TR obtidos nas duas escolas evidenciam a necessidade de intervenções no que tange a absorção sonora nas salas de aula, de forma a promover condições acústicas favoráveis ao processo de ensino-aprendizagem.

#### 4.2.2.3. Isolamento Sonoro

A avaliação do isolamento acústico nas escolas do padrão 022 foi efetuada na escola Anibal Khury Neto. Tendo em vista que os blocos de salas de aula desse padrão construtivo não possuem corredores, a avaliação do isolamento compreende apenas à fachada, mais precisamente aquela composta por portas (figura 47a).

Conforme se observa nas figuras 47a e 47b, os blocos de salas de aula compõem-se de fachadas diferentes em cada um dos lados. Uma é composta por portas e a outra por janelas.

FIGURA 47A E 47B – FACHADA DOS BLOCOS DE SALAS DE AULA (ESCOLA ANIBAL KHURY NETO)



As fachadas dos blocos de salas de aula são formadas por paredes de alvenaria simples, acabamento em reboco e pintura na parte interna e revestimento cerâmico em quase toda área externa. As esquadrias são de ferro com fechamento em vidro comum.

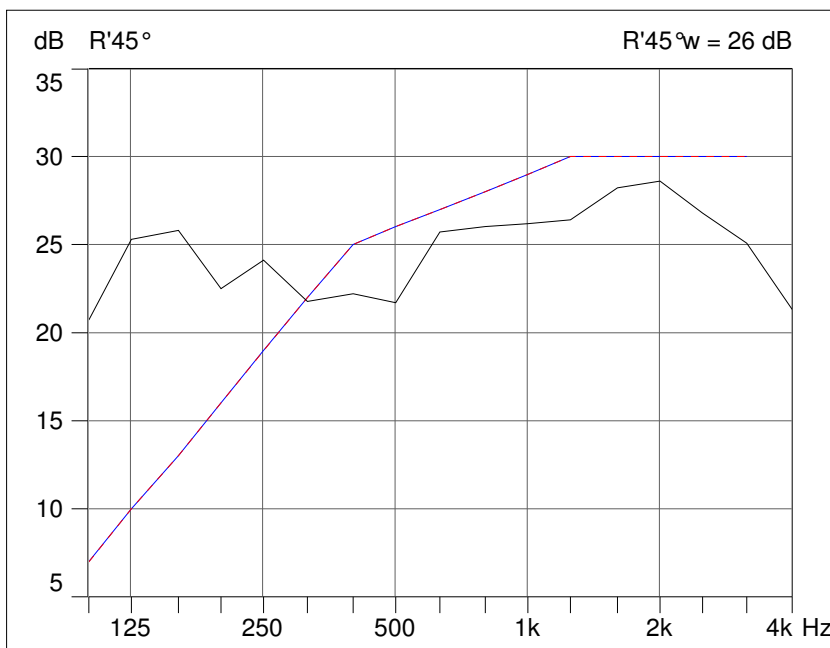
A tabela 19 apresenta os valores do Índice de Redução Sonora Aparente  $R'_{45^\circ}$  para as frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava.

TABELA 19 – VALORES PARA O ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE  $R'_{45^\circ}$  DA FACHADA COMPOSTA POR PORTAS (ANIBAL KHURY NETO)

<b>Isolamento fachada Anibal Khury Neto</b>	
<b>Frequência [Hz]</b>	<b><math>R'_{45^\circ}</math> [dB]</b>
125	25,3
250	24,1
500	21,7
1000	26,2
2000	28,6
4000	21,3
<b><math>R'_{45^\circ, W} = 26</math> dB</b>	

Além dos valores para o Índice de Redução Sonora Aparente  $R'_{45^\circ}$ , a tabela 19 e a figura 48 mostram o valor do Índice de Redução Sonora Ponderado  $R'_{45^\circ, W}$  para a fachada do padrão 022, conforme determina a norma ISO 717-1 (1996).

FIGURA 48 – ISOLAMENTO DE FACHADA ANIBAL KHURY NETO



A norma ANSI S12.60 (2002) estabelece em 50 dB o valor de STC para o isolamento acústico entre sala de aula e pátios (áreas ao ar livre). O valor de  $R'_{45^\circ, w}$  medido foi de 26 dB. O resultado do isolamento acústico obtido para as fachadas no padrão 022 é inferior ao que recomenda a norma, resultando em prejuízos na comunicação em sala de aula.

Apesar de não terem sido realizadas medições do isolamento acústico para as fachadas compostas por janelas, devido ao estado de conservação das mesmas (figura 49), pode-se assumir que na escola em estudo o valor do isolamento é semelhante ou inferior ao encontrado no padrão 010, isto é 15 dB.



FIGURA 49 – ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE ALGUMAS SALAS DE AULA



#### 4.2.3. Padrão 023

##### 4.2.3.1. Ruído de Fundo

O ruído de tráfego no entorno das escolas do padrão 023 foi investigado com o intuito de verificar a sua influência na composição do ruído de fundo nas salas de aula. As escolas avaliadas estão localizadas em vias asfaltadas. A escola Luarlindo dos Reis Borges está em uma região de baixo tráfego viário. A tabela 20 apresenta os valores do ruído de tráfego no entorno das escolas avaliadas.

TABELA 20 – NÍVEIS DE RUÍDO DE TRÁFEGO NO ENTORNO DAS ESCOLAS DO PADRÃO 023

<b>Ruído de tráfego no entorno das escolas</b>			
<b>Escola</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMin dB(A)</b>
Luarlindo R. Borges	51,8	73,9	39,5
Walde R. Galvão	59,2	76,8	38,5

A escola Walde Rosi Galvão apresenta  $L_{Aeq}$  superior ao valor estabelecido pela norma NBR 10151 (2000) de 50 dB(A). Já, na escola Luarlindo dos Reis Borges, o valor do  $L_{Aeq}$  está muito próximo ao recomendado.

Com base nos valores medidos e devido ao distanciamento dos blocos de salas de aula da via de tráfego na escola Walde Rosi Galvão, pode-se afirmar que os ruídos externos não são significativos para a composição do ruído de fundo nas salas de aula.

A tabela 21 apresenta os valores do ruído de fundo medido nas salas de aula da escola Luarlindo dos Reis Borges quando o bloco de salas de aula estava completamente vazio, ou seja, o ruído medido nessas salas é referente apenas ao entorno da escola (vizinhos, tráfego, etc) .

TABELA 21 – RUÍDO DE FUNDO DO BLOCO DE SALAS DE AULA DA ESCOLA LUARLINDO DOS REIS BORGES

<b>Ruído de fundo - Escola Luarlindo dos Reis Borges</b>			
	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMin dB(A)</b>
Sala de aula	41,2	47,2	38,1
Corredor	42,1	45,9	39,6

O nível de ruído de fundo está de acordo com a norma NBR 10152 (1987), que estabelece em 40dB(A) a condição de conforto acústico e 50 dB(A) como nível aceitável para função do ambiente.

Quanto aos corredores, o valor medido também está de acordo com a norma, uma vez que a NBR 10152 (1987) estabelece em 45 dB(A) a condição de conforto acústico e como nível aceitável para a função do ambiente o valor de 55 dB(A).

Os valores medidos no bloco de salas de aula vazio, apresentados na tabela 21, confirmam que o ruído no entorno das escolas não prejudica as atividades em sala de aula, pois quando submetido apenas aos ruídos provenientes do entorno da escola a condição de conforto acústico é alcançada.

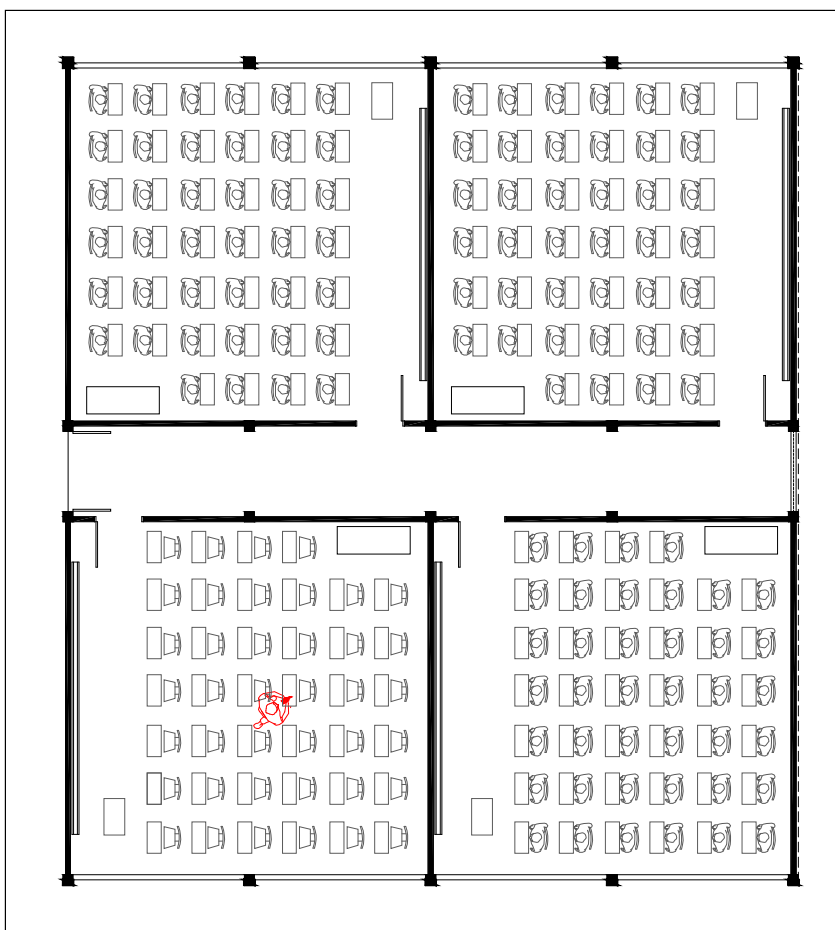
Contudo, os níveis de ruído medidos em sala de aula vazia com as demais em atividades normais (tabela 22) apresentam uma realidade distante do ideal segundo as normas.

TABELA 22 – NÍVEIS DE RUÍDO EM SALA DE AULA VAZIA COM AS DEMAIS EM AULA – ESCOLAS DO PADRÃO 023

<b>Níveis de ruído em sala de aula vazia com as demais em aula</b>			
<b>Escola</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMin dB(A)</b>
Luarlindo R. Borges	60,7	75,1	47,9
Walde R. Galvão	59,1	70,3	52,1

Com base na tabela 22 percebe-se que os níveis de ruído medidos nas duas escolas são muito semelhantes. Os níveis de 59,1 dB(A) e 60,7 dB(A) não estão de acordo com a norma NBR 10152 (1987).

FIGURA 50 –MEDIÇÃO DO RUÍDO DE FUNDO EM SALA VAZIA COM AS DEMAIS EM AULA (PADRÃO 023)

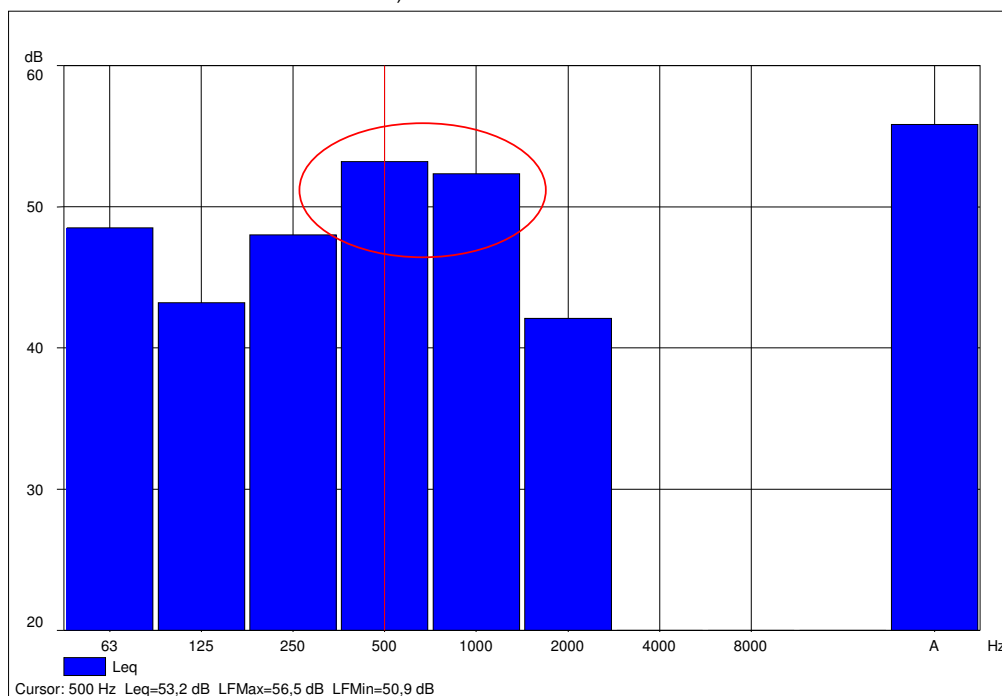


A figura 50 ilustra o esquema de medição realizado nas escolas do padrão 023, que avaliou o ruído de fundo em uma sala vazia enquanto as demais estavam em atividades normais de ensino.

A inadequação em relação à norma confirma que as salas de aula desse padrão exercem influência negativa umas sobre as outras. Esse aspecto está diretamente ligado ao comportamento de seus usuários e, também, ao isolamento acústico, posteriormente discutido.

A figura 51 apresenta a análise em frequência realizada em uma sala de aula vazia com as demais em aula, na escola Luarlindo dos Reis Borges. A análise evidencia a influência negativa que as salas exercem umas sobre as outras, pois os níveis de ruído mais expressivos se concentram nas frequências de 500 e 1000Hz. Níveis de ruído elevados nessas frequências são prejudiciais à compreensão do conteúdo das aulas, pois competem diretamente com a voz do professor.

FIGURA 51 – ANÁLISE EM FREQUÊNCIA DO RUÍDO EM SALA DE AULA VAZIA COM AS DEMAIS EM AULA (ESCOLA LUARLINDO DOS REIS BORGES)



Outro aspecto avaliado foi o nível de ruído presente no corredor dos blocos de salas de aula. Essa avaliação foi realizada através de medições efetuadas no corredor vazio durante o período normal de aulas com todas as salas ocupadas. A tabela 23 apresenta o resultado.

TABELA 23 – NÍVEIS DE RUÍDO NO CORREDOR ENTRE SALAS DE AULA EM ATIVIDADE – ESCOLAS DO PADRÃO 023

<b>Níveis de ruído no corredor entre salas de aula em atividade</b>			
<b>Escola</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMin dB(A)</b>
Luarlindo R. Borges	68,1	80,2	53,6
Walde R. Galvão	72,3	81,6	54,8

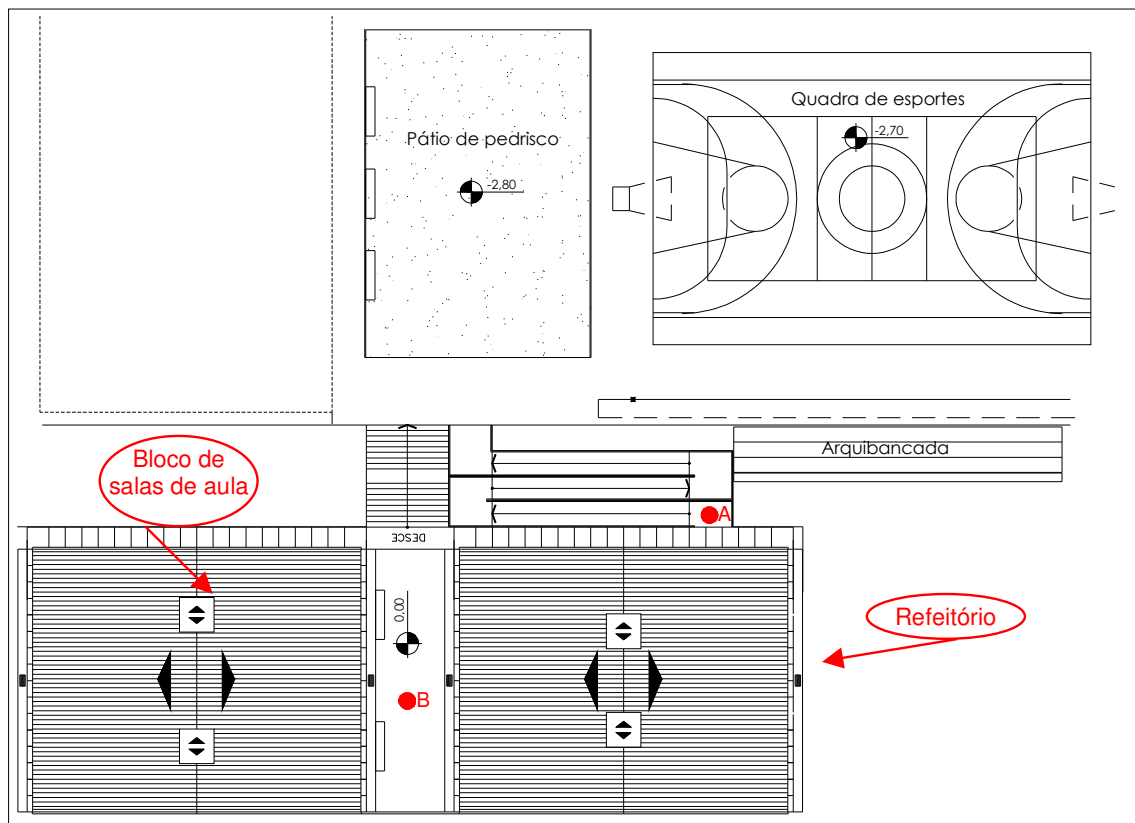
Os níveis de ruído encontrados nos corredores das escolas do padrão 023 são superiores ao nível 55 dB(A) estabelecido como valor aceitável para a função do ambiente pela NBR 10152 (1987).

Ao contrário das outras escolas pesquisadas, as salas desse padrão não recebem influências de ruídos provenientes das aulas de educação física. Essa condição resulta da distância existente entre o pátio de educação física e os blocos de salas de aula.

Por ser uma atividade bastante ruidosa, a prática esportiva deve acontecer em locais capazes de gerar o menor impacto possível nas salas e em outros ambientes escolares.

Pela figura 52 percebe-se a distância entre as salas de aula e o pátio de educação física na escola Walde Rosi Galvão. Importante mencionar que as salas de aula situam-se em um nível superior ao do pátio. Conforme é apresentado pelas figuras 53a e 53b, as salas de aula estão localizadas no nível zero (0,0 m) e o pátio entre os níveis -2,70 m e -2,80 m.

FIGURA 52 – POSICIONAMENTO DO APARELHO DE MEDIÇÃO (WALDE ROSI GALVÃO)



FIGURAS 53A E 53B – QUADRAS DE ESPORTE ESCOLA WALDE ROSI GALVÃO



Para verificar se as atividades de educação física interferiam nas tarefas executadas em sala de aula foram feitas medições em dois pontos distintos (A e B) durante uma aula de educação física, indicados na figura 52. Os níveis de ruído

medidos durante as aulas de educação física na escola Walde Rosi Galvão foram obtidos com o aparelho de medição posicionado no mesmo nível das salas, precisamente no início da rampa de acesso às quadras, indicado na figura 52 pela letra “A”. Os valores medidos estão reportados na tabela 24.

Os níveis de ruído medidos no pátio de educação física, apresentados na tabela abaixo, são inferiores aos níveis medidos no pátio de acesso. A diferença justifica-se pelo fato do ruído predominante no pátio de acesso ser decorrente das próprias salas de aula com janelas voltadas para o pátio, comprovando que as atividades esportivas não perturbam as salas.

TABELA 24 – NÍVEIS DE RUÍDO DECORRENTES DAS ATIVIDADES DE EDUCAÇÃO FÍSICA – ESCOLA WALDE ROSI GALVÃO

<b>Níveis de ruído decorrentes das atividades de educação física Walde Rosi Galvão</b>			
	<b>Leq dB(A)</b>	<b>LMáx dB(A)</b>	<b>LMin dB(A)</b>
Pátio de educação física - Ponto A	62,2	78	48,4
Pátio de acesso - Ponto B	68,7	82,1	55,7

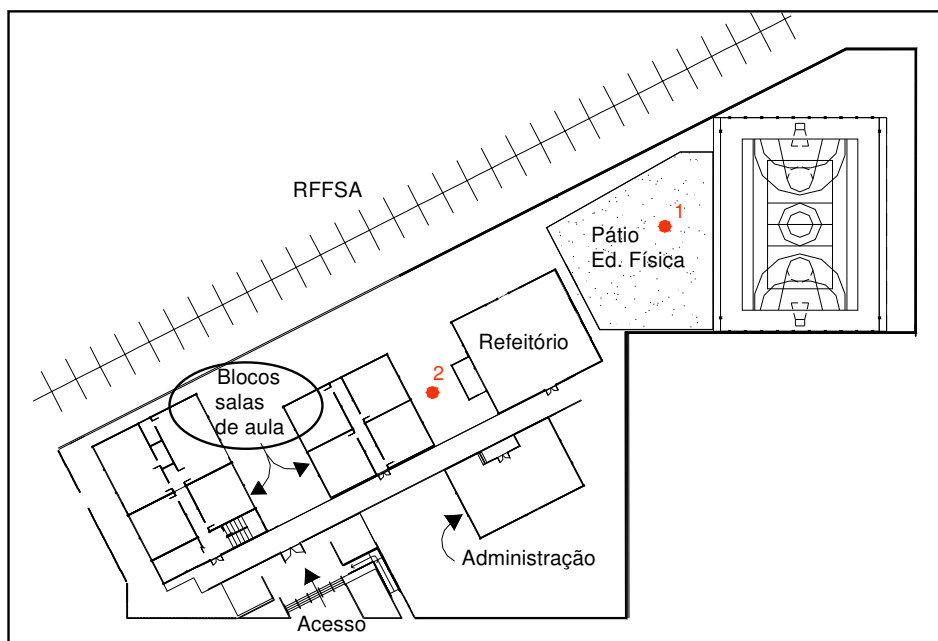
Na escola Luarlindo dos Reis Borges o pátio de educação física também está distante dos blocos de salas de aula, como pode ser constatado pelas figuras 54a, 54b e 55.

FIGURAS 54A E 54B – PÁTIO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E AFASTAMENTO ENTRE SALAS DE AULA E O PÁTIO





FIGURAS 55 – DISTRIBUIÇÃO DOS AMBIENTES NA ESCOLA LUARLINDO DOS REIS BORGES



O  $L_{eq}$  medido no pátio de educação física, indicado no ponto 1 da figura 55, foi de 63,4 dB(A). O valor máximo obtido foi de 76,8 dB(A) e o mínimo de 51,4 dB(A). Entretanto esses valores não atingem as salas de aula devido à distância existente entre esses dois ambientes.

Apesar das atividades de educação física e dos ruídos provenientes do tráfego de veículos no entorno da escola Luarlindo dos Reis Borges não afetarem as atividades em sala, um outro tipo de ruído externo é motivo de reclamações por parte de alunos e professores. Esse ruído é originário do trem que passa próximo à escola, precisamente nos fundos da mesma. A figura 56 apresenta o momento da passagem do trem pela escola.



FIGURA 56 – TREM AO FUNDO DA ESCOLA LUARLINDO DOS REIS BORGES



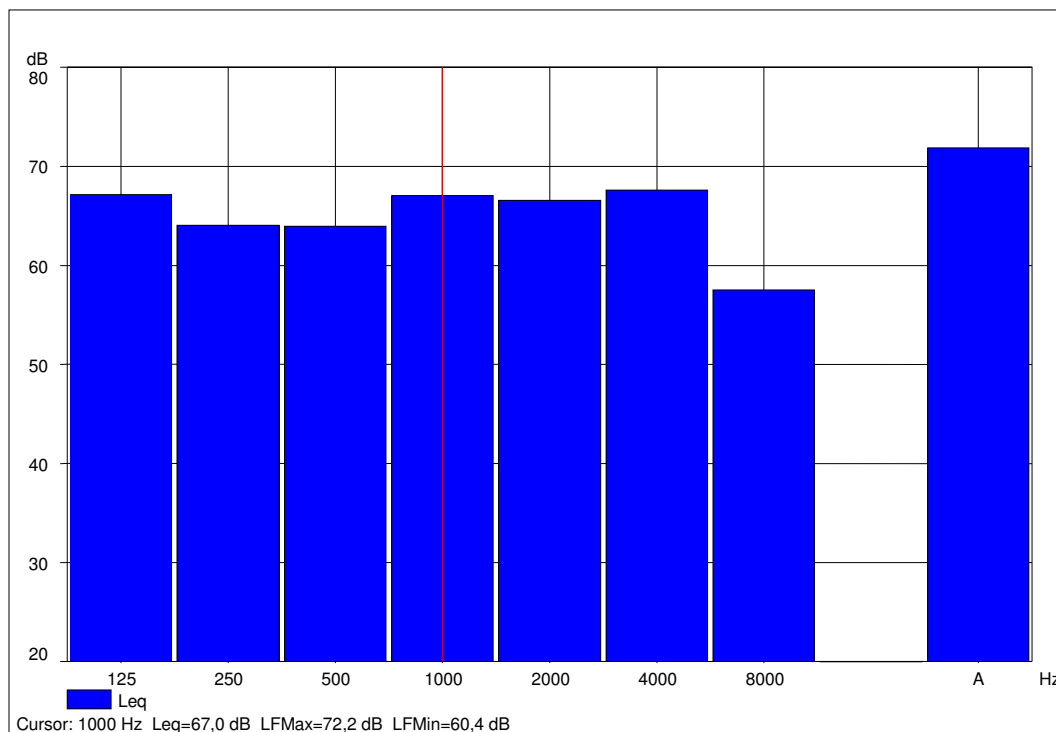
Os níveis de ruído emitidos pelo trem foram obtidos por medições realizadas no pátio da escola perto dos blocos de salas de aula, indicado pelo ponto 2 da figura 55. O  $L_{eq}$  medido durante a passagem do trem foi de 71,8 dB(A), com máximo e mínimo de 80,8 dB(A) e 64,3 dB(A), respectivamente.

De acordo com a NBR 10152, o nível de ruído no pátio das escolas deve estar entre 45 e 55 dB(A). A passagem do trem gera um ruído bastante elevado, contribuindo significativamente no aumento do ruído de fundo em sala de aula.

A análise em frequência apresentada na figura 57 confirma a observação acima. Conforme verifica-se, os níveis de ruído distribuem-se uniformemente entre as frequências de 125 a 4000 Hz.

A proximidade da escola à linha férrea comprova a inadequação do terreno para a implantação de um local de aprendizado, mesmo não sendo expressivos os níveis de ruído de tráfego.

FIGURA 57 – ANÁLISE EM FREQUÊNCIA DO RUÍDO PRODUZIDO PELO TREM PRÓXIMO A ESCOLA LUARLINDO DOS REIS BORGES



Além dos níveis de ruído medidos no entorno e dentro das salas de aula quando encontravam-se vazias, investigou-se o ruído produzido durante uma aula de matemática na escola Luarlindo dos Reis Borges.

O  $L_{eq}$  encontrado na sala de aula vazia dessa escola foi de 60,7 dB(A). Durante a aula de matemática o  $L_{eq}$  foi de 73,7 dB(A), com valor máximo de 94,5 dB(A) e mínimo de 54,8 dB(A). O  $L_{eq}$  medido durante essa atividade diz respeito à voz do professor e demonstra o esforço vocal a que esses profissionais estão sujeitos.

#### 4.2.3.2. Tempo de Reverberação

Semelhantemente a avaliação dos tempos de reverberação nas escolas do padrão 010 e 022, nas salas de aula do padrão 023 os TRs foram medidos com o ambiente mobiliado e desocupado. A influência da ocupação também foi verificada fazendo-se medições com salas ocupadas com 50% e 100% de sua capacidade.

As salas de aula do padrão 023 possuem um volume de aproximadamente 156 m<sup>3</sup> e comportam até quarenta alunos. As figuras 58a e 58b apresentam as salas de aula avaliadas nas escolas Luarlindo dos Reis Borges e Walde Rosi Galvão, respectivamente.

FIGURAS 58A E 58B – SALAS DE AULA DAS ESCOLAS LUARLINDO DOS REIS BORGES E WALDE ROSI GALVÃO



As salas de aula do padrão 023 possuem piso cerâmico. As paredes e o teto são rebocados e pintados. Nas paredes são afixadas pequenas faixas de madeira em todo o perímetro da sala. As cadeiras e carteiras são metálicas revestidas de fórmica. Nas salas de aula da escola Walde Rosi Galvão, ao contrário da escola Luarlindo dos Reis Borges, havia cortinas nas janelas.

As salas de aula possuem janelas basculantes e porta em madeira. Os blocos de tijolos de vidro, posicionados na parte superior da parede divisória entre a sala de aula e o corredor, são característicos do padrão 023.

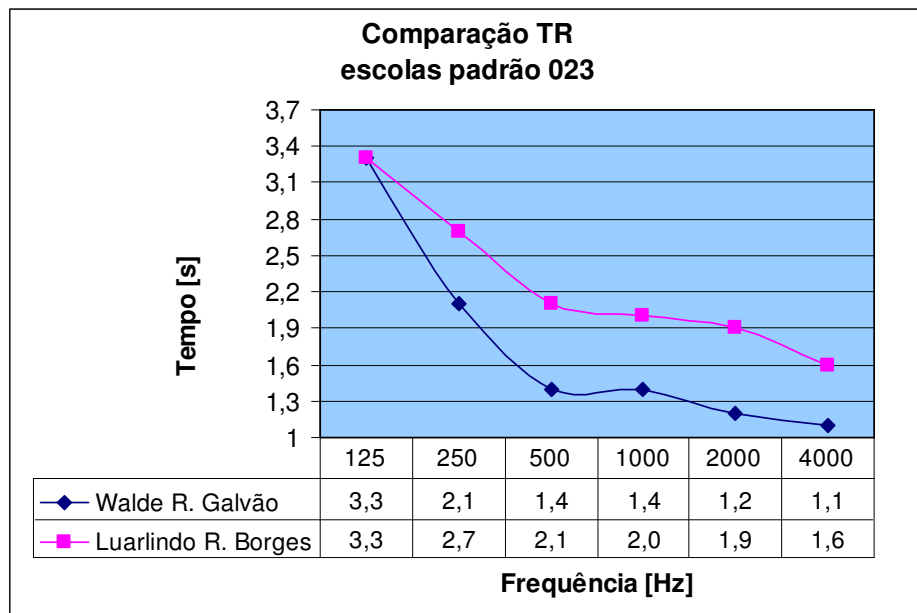
Entre as salas de aula das escolas pesquisadas há uma diferença fundamental com relação aos materiais de acabamento. Na escola Luarlindo dos Reis Borges as paredes são revestidas até aproximadamente um terço de sua altura por cerâmica. Na escola Walde Rosi Galvão o mesmo não ocorre. As figuras 59a e 59b apresentam os materiais que compõem o piso e paredes das salas das duas escolas.

FIGURAS 59A E 59B – MATERIAL DO PISO E PAREDES DAS SALAS DE AULA DAS ESCOLAS LUARLINDO DOS REIS BORGES (ESQUERDA) E WALDE ROSI GALVÃO (DIREITA)



A figura 60 apresenta os valores do tempo de reverberação medidos nas salas de aula do padrão 023, com sala mobiliada e desocupada.

FIGURA 60 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO DAS SALAS DE AULA DO PADRÃO 023



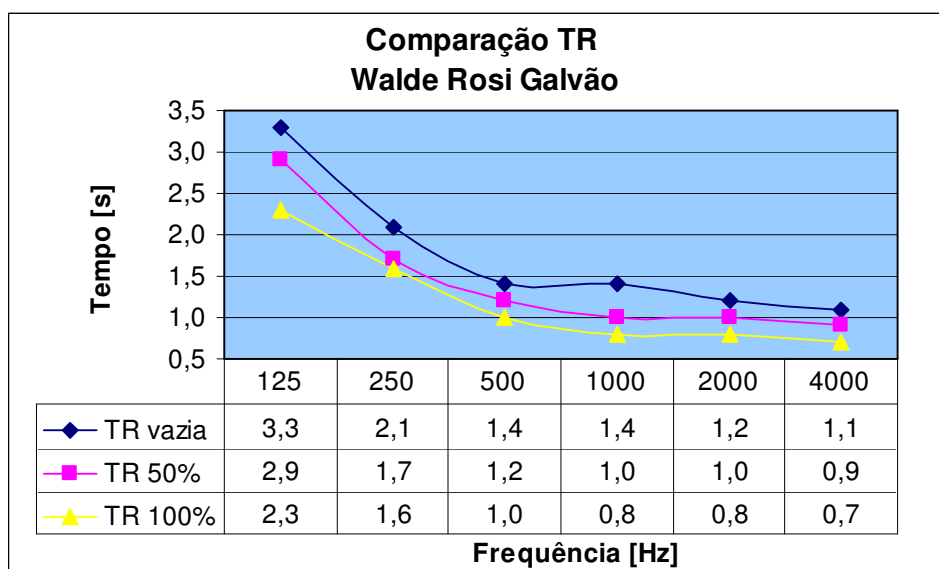
Pelo gráfico da figura 60 percebe-se que os tempos de reverberação na escola Luarlindo dos Reis Borges são superiores aos tempos da escola Walde Rosi

Galvão. Isso deve-se à presença da cerâmica das paredes, pois trata-se de um material altamente reflexivo.

Comparando os valores medidos com a norma ANSI S12.60 (2002), que fornece o tempo de 0,6 s para salas de aula com volume igual ao encontrado nas salas em estudo, constata-se que a reverberação nas salas do padrão 023 é elevada. Segundo LUBMAN e SUTHERLAND (2001), a combinação de ruídos em excesso e reverberação em uma sala de aula dificulta a comunicação, transformando-se em uma barreira ao aprendizado.

Os níveis medidos para o padrão 023 também são superiores ao recomendado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001), cujos valores são baseados no Decreto Francês de nove de janeiro de 1995. Segundo a WHO (2001) o tempo de reverberação adequado para salas de aula com volumes semelhantes aos encontrados no padrão 023 deve estar dentro do intervalo de 0,4 a 0,8 s. Os valores obtidos nas escolas pesquisadas demonstram a necessidade de intervenções a fim de garantir tempos de reverberação condizentes com as premissas de conforto acústico.

FIGURA 61 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO COM SALA VAZIA, 50% DE OCUPAÇÃO E 100% DE OCUPAÇÃO (WALDE ROSI GALVÃO)



A figura 61 apresenta os valores para os tempos de reverberação considerando a presença dos usuários na sala de aula da escola Walde Rosi Galvão.

Conforme se observa na figura 61, a presença dos alunos na sala contribui para a diminuição dos tempos de reverberação. Entretanto, mesmo considerando a presença dos alunos, constata-se que os tempos de reverberação permanecem elevados se comparados com a norma ANSI S12.60 (2002). Só quando totalmente ocupada, a sala de aula alcança o valor recomendado pela WHO (2001) para as frequências de 1000 a 4000 Hz.

O tempo de reverberação deve estar de acordo com as determinações das normas, considerando a sala vazia e não totalmente ocupada. Deve-se lembrar que a sala de aula, quando ocupada terá a geração de ruídos inerentes às atividades nela desenvolvidas. Dessa forma, se a sala de aula não estiver “funcionando acusticamente” quando ocupada, é uma demonstração cabal da falha do sistema (sala de aula) em relação à acústica, especificamente ao TR.

#### 4.2.3.3. Isolamento Sonoro

As medições de isolamento acústico nas salas de aula do padrão 023 foram realizadas na escola Luarlindo dos Reis Borges. Verificou-se o isolamento das fachadas e paredes entre as salas de aula e o corredor.

Nesse padrão as fachadas são compostas por paredes de alvenaria simples com revestimento externo em cerâmica e interno em reboco e pintura. As esquadrias são de ferro com fechamento em vidro comum. A figura 62 apresenta a fachada da escola Luarlindo dos Reis Borges durante o procedimento de medição.



FIGURA 62 – FACHADA ESCOLA LUARLINDO DOS REIS BORGES

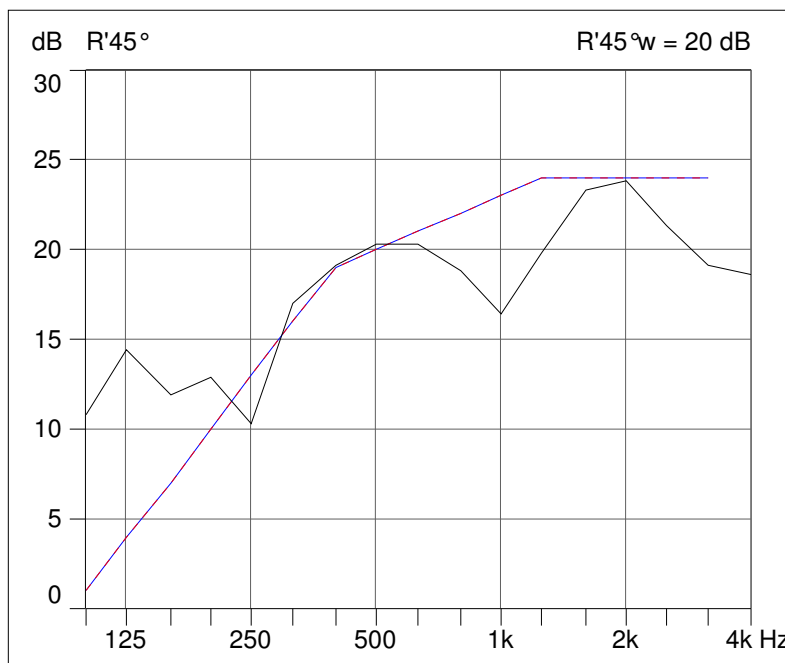


O isolamento acústico de fachada foi medido segundo recomendações da norma ISO 140-5 (1998), pelo método que utiliza a caixa de som como fonte externa de ruído. Os resultados obtidos para o Índice de Redução Sonora Aparente  $R'_{45}$  estão na tabela 25 e figura 63. Os valores de  $R'_{45^\circ}$  são apresentados para as frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava.

TABELA 25 – VALORES PARA O INDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE  $R'_{45^\circ}$  DA ESCOLA LUARLINDO DOS REIS BORGES.

Isolamento de fachada Luarlindo	
Frequência [Hz]	$R'_{45^\circ}$ [dB]
125	14,4
250	10,3
500	20,3
1000	16,4
2000	23,8
4000	18,6
<b><math>R'_{45^\circ, W} = 20</math> dB</b>	

FIGURA 63 – ISOLAMENTO DE FACHADA LUARLINDO DOS REIS BORGES



O valor indicado para o isolamento acústico de fachadas, segundo a ANSI S12.60 (2002), é 50 dB, entretanto o  $R'_{45^\circ,w}$  obtido foi 20 dB, abaixo do recomendado.

Esse resultado sugere a ineficiência da fachada quanto ao isolamento acústico, situação essa prejudicial ao desenvolvimento de atividades educacionais em sala de aula. A presença dos ruídos externos interrompe o aprendizado, especialmente em períodos de provas e leitura (SEEP et al., 2002).

O valor obtido sugere a ineficiência da fachada quanto ao isolamento acústico, o que prejudica o desenvolvimento de atividades educacionais em sala de aula, tendo em vista que o processo de aprendizado é interrompido em presença de ruídos externos à sala de aula, especialmente em períodos de provas e leitura (SEEP et al., 2002).

Outro aspecto fundamental investigado foi o isolamento entre salas e corredor. Nesse padrão, as paredes divisórias entre salas e corredor são construídas em alvenaria simples. O acabamento no lado do corredor é em cerâmica e em



reboco e pintura dentro das salas. Na parte superior dessas paredes estão fixados blocos de tijolos de vidro vazados, conforme apresenta a figura 64.

FIGURA 64 – BLOCOS DE TIJOLOS DE VIDRO UTILIZADOS NAS SALAS DE AULA DO PADRÃO 023

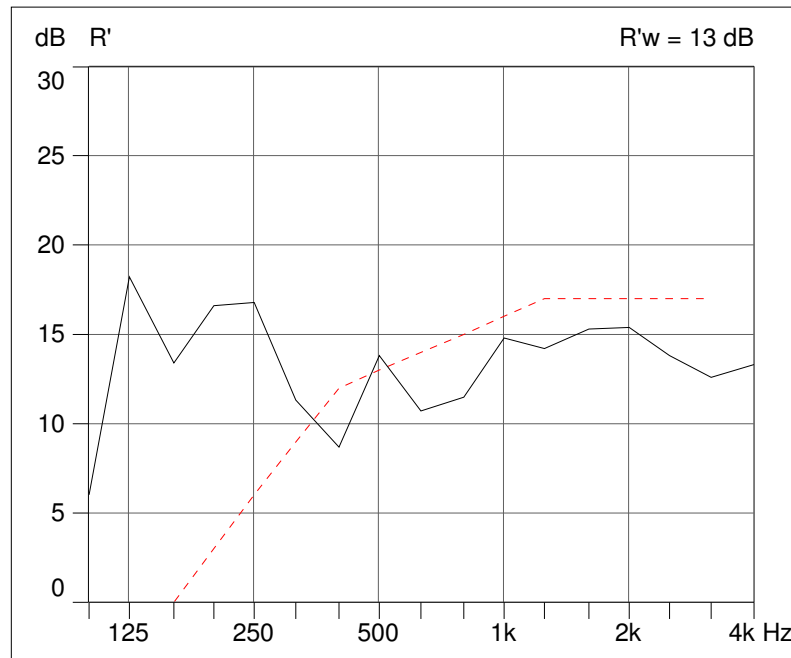


A tabela 26 mostra os valores medidos do Índice de Redução Sonora  $R'$  entre salas de aula e corredor. Além disso, a figura 65 apresenta o gráfico indicando o comportamento do  $R'$  para as bandas de frequência de 1/3 de oitava. A tabela 26 e a figura 65 ainda fornecem o valor de  $R'_w$ , representando o isolamento fornecido pela partição.

TABELA 26 – VALORES PARA O ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE  $R'$  (LUARLINDO DOS REIS BORGES)

Isolamento entre sala de aula e corredor Luarlindo	
Frequência [Hz]	$R'$ [dB]
125	18,2
250	16,8
500	13,8
1000	14,8
2000	15,4
4000	13,3
<b><math>R'_w = 13</math> dB</b>	

FIGURA 65 – ISOLAMENTO ENTRE SALA DE AULA E CORREDOR (LUARLINDO DOS REIS BORGES)



Observando-se o resultado de 13 dB para o  $R'_w$ , constata-se um valor abaixo do aceitável quando comparado com o exigido pela norma ANSI S12.60 (2002) que prescreve 45 dB para o isolamento entre salas e corredor.

O valor de  $R'_w$  obtido deve-se, principalmente, à presença dos tijolos de vidro na parte superior da partição. Esse material permite a livre passagem dos ruídos gerados nas salas adjacentes e corredor à sala de aula avaliada.

Esses ruídos interferem na comunicação em sala e contribuem com a perda de interesse dos estudantes nas explicações dos professores. Como consequência, em muitos casos, esses alunos estabelecem conversas paralelas com os colegas, aumentando, ainda mais, os níveis de ruído em sala.

### 4.3. RESULTADOS AVALIAÇÃO SUBJETIVA

#### 4.3.1. Questionário aplicado aos alunos

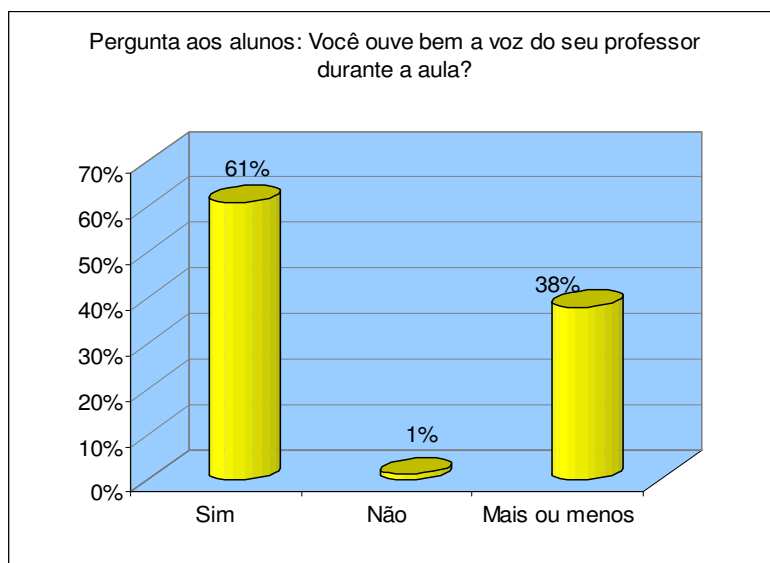
Para avaliar a percepção dos alunos quanto ao ruído foram aplicados 1080 questionários em turmas de quinta a oitava série da rede estadual de ensino com idades entre 9 e 18 anos.

Esses questionários eram compostos de perguntas fechadas e, do total de 1080, 1035 puderam ser utilizados. O restante foi desprezado devido a inconsistências apuradas.

A maioria dos estudantes entrevistados está na faixa dos 11 aos 14 anos de idade, representando 85% do total. Desses, 50% eram do sexo feminino. Do total de entrevistados 31% estavam cursando a quinta série, 36% a sexta série, 18% a sétima série e 15% a oitava série.

A figura 66 traz o resultado para a questão que investiga se os alunos ouvem bem ou mal a voz do professor durante as aulas. Na figura 75 os resultados dessa mesma pergunta são relacionados à condição da sala (silenciosa ou barulhenta).

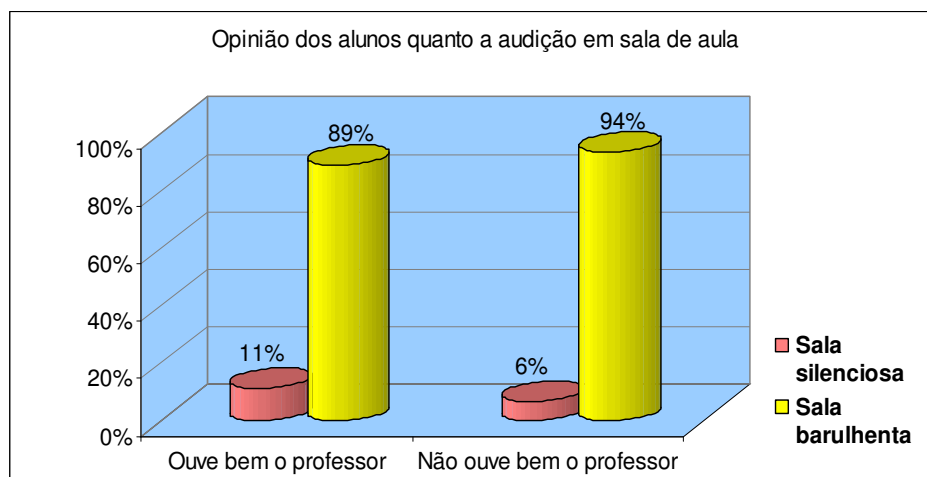
FIGURA 66 – RESPOSTAS PARA A PERGUNTA: VOCÊ OUVE BEM A VOZ DO SEU PROFESSOR DURANTE A AULA?



Conforme a figura 66, dos 1035 alunos entrevistados, 61% afirmam ouvir bem a voz do professor, 38% afirmam ouvir mais ou menos e apenas 1% não o ouvem bem.

Os resultados apresentados na figura 67 foram separados em apenas dois grupos. Tendo em vista o baixo percentual de alunos que afirmam não ouvir bem o professor, agrupou-se, então, aos alunos que afirmam ouvir mais ou menos. O resultado dessa questão foi então cruzado com o resultado da questão que verificava se os alunos consideravam as suas salas silenciosas ou barulhentas.

FIGURA 67 – OPINIÃO DOS ALUNOS QUANTO A AUDIÇÃO EM SALA DE AULA



Observando-se a figura 67, constata-se que, apesar de ouvir bem ou não a voz do professor, o percentual dos alunos que consideram a sala barulhenta é muito alto, em ambos os grupos. Através do teste qui-quadrado ( $Q_p = 5,809$ ,  $p\text{-valor} = 0,016$ ), constata-se que este percentual é significativamente maior dentre os que afirmam não ouvir bem o professor.

A tabela 27 apresenta o cruzamento entre a questão que verifica se os alunos ouvem bem ou mal com a posição em que geralmente sentam em sala de aula.

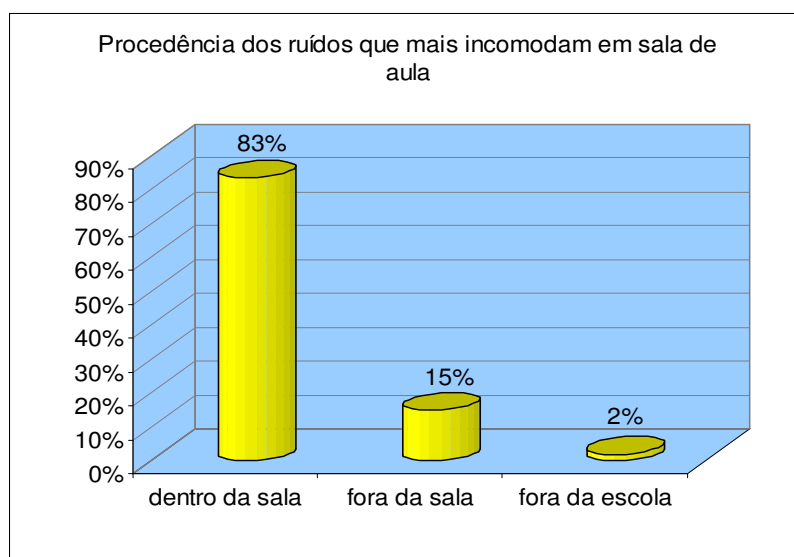
TABELA 27 – CRUZAMENTO ENTRE QUESTÕES: POSIÇÃO EM QUE O ALUNO SENTA X COMO OUVI O PROFESSOR

<b>Cruzamento questões: posição em que aluno senta e audição em sala</b>				
Posição na sala onde aluno senta	Ouve bem?			
	Sim	%	Não	%
Na frente	218	35	119	29
No meio	197	31	129	32
No fundo	216	34	156	39
<b>% em 1035 alunos</b>	<b>631</b>	<b>61</b>	<b>404</b>	<b>39</b>

A tabela 27 permite observar que os alunos que ouvem bem o professor distribuem-se homogeneamente pela sala de aula. O mesmo é verificado entre os aqueles que responderam não ouvi-lo bem. Esse dado permite constatar que as salas de aula analisadas não possuem pontos críticos para a compreensão da fala.

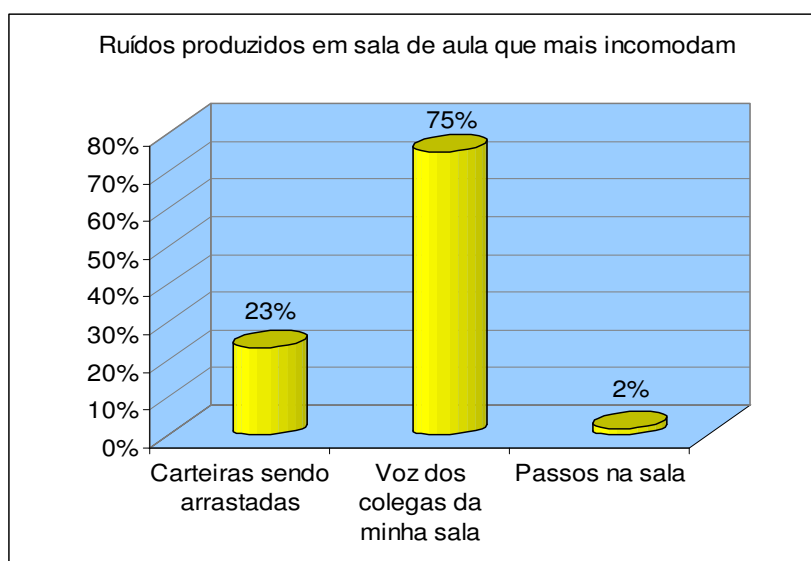
O teste estatístico qui-quadrado ( $Q_p = 3,318$ ,  $p\text{-valor} = 0.190$ ) confirma a análise acima, indicando que não há associação entre a posição em que o aluno senta e a condição de audição.

FIGURA 68 – PROCEDÊNCIA DOS RUÍDOS QUE MAIS INCOMODAM EM SALA DE AULA



Quando questionados sobre a procedência dos ruídos que mais perturbam em sala de aula (figura 68), 83% indicaram os ruídos produzidos na própria sala como os mais incômodos. Os ruídos provenientes dos demais ambientes escolares, como corredores, salas adjacentes e pátios, foram mencionados por 15% dos entrevistados. Apenas 2% mencionaram os ruídos gerados fora da escola. Essa análise indica as próprias escolas como responsáveis pelo ruído que as incomoda.

FIGURA 69 – RUÍDOS PRODUZIDOS EM SALA DE AULA QUE MAIS INCOMODAM

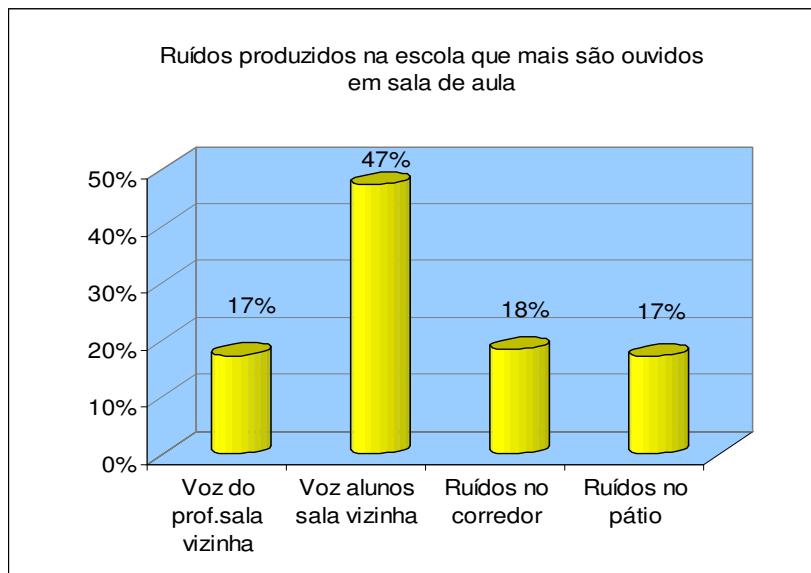


Uma vez constatado os ruídos produzidos em sala de aula como os mais perturbadores aos alunos, torna-se indispensável identifica-los. A figura 69 apresenta os ruídos que mais incomodam 83% dos respondentes à pergunta apresentada na figura 68.

Dos ruídos presentes em sala de aula, a voz dos colegas foi apontada como o ruído que gera o maior incômodo para 75% dos entrevistados. Esse fato está relacionado à reverberação na sala. Os resultados das medições de TR nos três padrões construtivos indicaram as salas de aula em desacordo com o que recomendam as normas, confirmando, assim, o resultado da avaliação subjetiva.

Entre os ruídos nas outras áreas da escola, a voz dos estudantes das salas vizinhas foi apontada como a fonte mais perturbadora para o desenvolvimento de tarefas em sala de aula. Os ruídos dos corredores, pátio e a voz dos professores das salas adjacentes apresentam resultados semelhantes, segundo a figura 70.

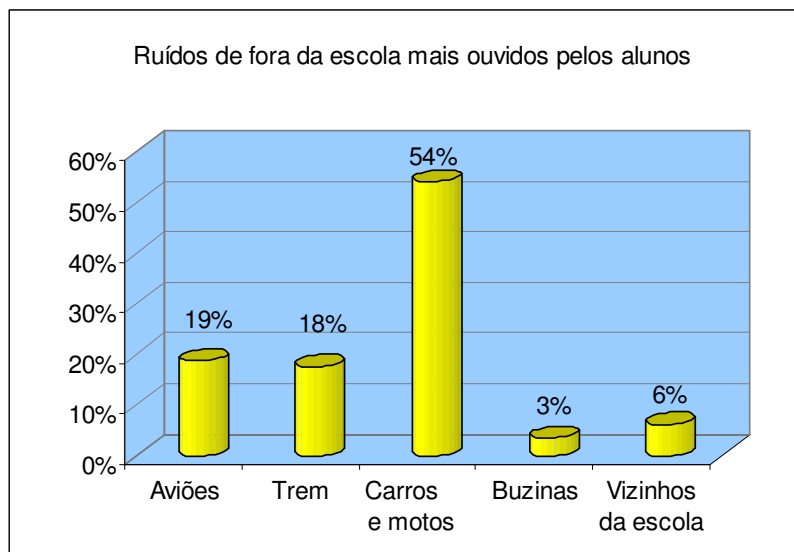
FIGURA 70 – RUÍDOS DA ESCOLA QUE SÃO MAIS OUVIDOS EM SALA DE AULA



Os resultados para a questão que investigou a procedência dos ruídos mais incômodos (figura 68) indicaram que os alunos não se sentem incomodados pelos ruídos externos, resultado confirmado pelas medições no entorno das escolas, que variaram de 51,8 à 68,4 dB(A).

A análise desses resultados, apresentada anteriormente, sugere que as escolas avaliadas estão localizadas em regiões onde os ruídos externos não exercem influência direta sobre as salas de aula. Mesmo assim são notados pelos alunos. A figura 71 apresenta os ruídos externos mais ouvidos pelos alunos em sala.

FIGURA 71 – RUÍDOS DE FORA DA ESCOLA MAIS OUVIDOS PELOS ALUNOS EM SALA DE AULA



A tabela 28 apresenta a influência dos ruídos externos em cada padrão avaliado.

TABELA 28 – RUÍDOS EXTERNOS MAIS OUVIDOS EM SALA DE AULA EM CADA ESCOLA AVALIADA.

Ruídos externos mais ouvidos em sala de aula pelo alunos Porcentagem separada por escola						
Ruído externo	Padrão 022		Padrão 010		Padrão 023	
	Anibal K. Neto	Paulo Freire	Alfredo Parodi	Luiza Ross	Luarlindo R. Borges	Walde R. Galvão
Aviões	16%	6%	86%	11%	1%	4%
Trem	11%	1%	7%	3%	96%	1%
Carros e motos	64%	74%	5%	76%	4%	82%
Buzinas	3%	9%	0%	5%	0%	3%
Vizinhos da escola	6%	11%	2%	6%	0%	11%

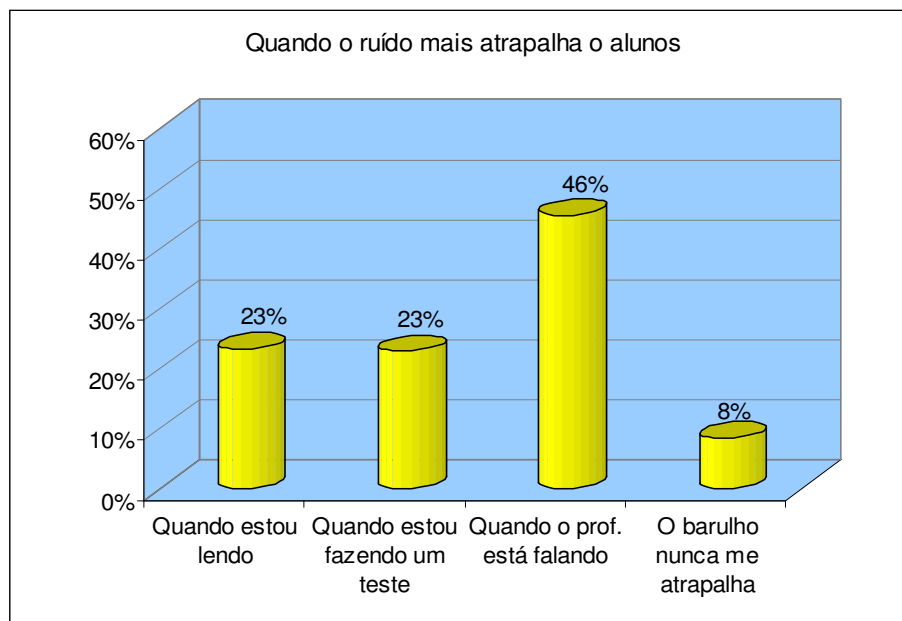
Observando-se a figura 71 constata-se o ruído proveniente do tráfego de veículos como o mais ouvido em sala de aula. A tabela 28 confirma o resultado para o padrão 022 e para as escolas Luiza Ross (010) e Walde Rosi Galvão (023), entretanto, para a escola Alfredo Parodi o ruído externo mais ouvido, apontado por 86% dos entrevistados, é proveniente de aviões.



O resultado obtido para essa escola já era esperado, pois localiza-se nas proximidades do trajeto de aeronaves do Aeroporto Internacional Afonso Pena de São José dos Pinhais.

Na escola Luarlindo dos Reis Borges o ruído externo, apontado por 96% dos estudantes entrevistados, que mais perturba em sala de aula origina-se do trem. Esse veículo passa muito perto do muro de divisa da parte de trás da escola. O  $L_{Aeq}$  medido durante sua passagem foi 71,8 dB(A). A presença próxima ao ambiente escolar indica a escolha inadequada do terreno para a implantação da escola, mesmo sendo considerada uma região tranqüila onde o ruído de tráfego não a prejudica.

FIGURA 72 – QUANDO O RÚIDO MAIS ATRAPALHA OS ALUNOS EM SALA DE AULA



A figura 72 apresenta os resultados para a questão que avalia as atividades mais prejudicadas pelo ruído. A partir dos resultados apresentados na figura abaixo percebe-se que 92% dos alunos sentem-se incomodados pela presença de ruídos em sala de aula.

Segundo a figura 72, é no momento em que o professor está falando e os alunos querem entender o conteúdo das aulas que o ruído mais atrapalha (46%). As atividades de leitura e a realização de provas também são afetadas, sendo que as duas atividades atingiram a mesma porcentagem na pesquisa.

Os resultados obtidos na avaliação subjetiva revelam que os alunos percebem a presença dos ruídos em sala e sentem-se prejudicados. Também se constatou, pelos resultados das figuras 67 e 72, que apesar da maioria dos alunos conseguir ouvir o professor em aula, eles consideram suas salas barulhentas.

Verificou-se também que mesmo conseguindo ouvir o professor, a maioria dos alunos sente-se incomodada para realizar essa tarefa. Conclui-se, então, que é necessário um esforço adicional por parte do aluno para, além de escutar o professor, entender o conteúdo das aulas. HAGEN et al. (2002) descreve que condições acústicas desfavoráveis em sala de aula tornam o ensino e a aprendizagem desnecessariamente exaustivos para todas as pessoas envolvidas nesse processo.

Os questionários ainda contemplaram o conforto acústico na casa dos alunos. Segundo EVANS et al. (2001) a qualidade da moradia está associada à saúde psicológica e pode afetar certos aspectos da motivação de crianças. Segundo o autor, crianças que habitam residências com baixa qualidade acústica são menos persistentes na conclusão de um quebra-cabeça desafiador (apropriado para a idade).

Na questão que investigou o conforto acústico do ambiente de moradia, 77% dos alunos consideraram suas casas silenciosas. Conclui-se, então, que a motivação e persistência da maioria dos entrevistados não são afetadas pela qualidade acústica da moradia.

#### 4.3.2. Questionário aplicado aos professores

Para avaliar a percepção dos professores quanto ao ruído presente em salas de aula foram entrevistados 71 professores da rede estadual de ensino nas cidades de Curitiba e Pinhais. Os entrevistados ministravam aulas para turmas de quinta a oitava série nas mesmas escolas onde foram aplicados os questionários aos alunos.

Os questionários entregues aos professores eram compostos de seis perguntas fechadas, onde as respostas eram dadas na forma de escores variando de 0 a 3. Onde 0 significava “nada”, 1 “pouco”, 2 “médio” e 3 “muito”. Todos os 71 questionários foram considerados válidos.

A idade média dos professores, de acordo com a análise descritiva, é de 36,9 anos e 70% são mulheres. A análise mostrou que dos respondentes, 21% já precisaram se afastar por problemas de saúde relacionados ao ruído.

TABELA 29 – RESPOSTAS DOS PROFESSORES PARA OS RUÍDOS PRODUZIDOS NA ESCOLA QUE MAIS PERTURBAM EM SALA DE AULA

<b>QUESTÃO 1 – Ruídos predominantes em sala de aula (provenientes da escola)</b>						
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>total</b>	<b>Escore médio</b>
Produzido por alunos de outra sala	4	22	27	18	71	<b>1,8</b>
Voz do professor da sala vizinha	27	34	8	2	71	0,8
Conversas no corredor	21	29	13	8	71	1,1
Conversas no pátio da escola	20	18	13	20	71	<b>1,5</b>
Ruído da movimentação de pessoas no corredor	20	33	10	8	71	1,1
Aparelhos de som, tv utilizados em salas vizinhas	46	17	8	0	71	0,5

A primeira pergunta feita aos professores diz respeito aos ruídos produzidos na escola que mais perturbam em sala de aula. A tabela 29 apresenta o resultado para essa questão.

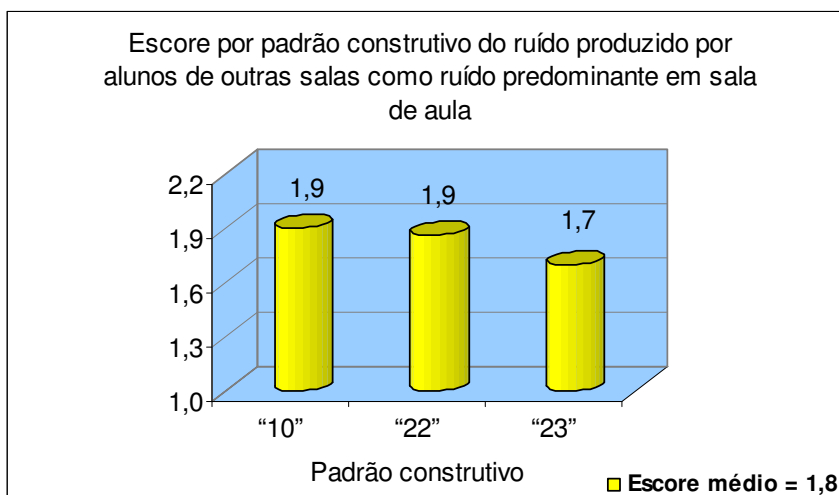
Verificou-se que os alunos das salas vizinhas são a principal fonte de ruído externo interferindo nas atividades em sala de aula. O segundo tipo de ruído mais expressivo apontado pelos professores é proveniente de conversas no pátio das escolas.

A resposta dos professores para essa questão confirma as respostas dos alunos quando questionados sobre questão semelhante (Figura 70). O escore de 1,8 obtido para essa opção indica que o ruído proveniente dos alunos das salas vizinha tem uma influência moderada sobre as salas de aula.

A figura 73 apresenta os escores por padrão construtivo para o ruído produzido pelos alunos das salas vizinhas, sendo esse o mais significativo, segundo a tabela 29.

O resultado da figura sugere que esse tipo de ruído é mais percebido pelos professores nas escolas do padrão 010 e 022. Contudo o teste qui-quadrado ( $Q_s = 4,167$ ,  $p\text{-valor} = 0,654$ ) mostrou não haver associação entre o padrão construtivo e essa opção.

FIGURA 73 – ESCORE POR PADRÃO CONSTRUTIVO PARA O RUÍDO PRODUZIDO PELOS ALUNOS DE SALAS VIZINHAS



Os professores também foram questionados quanto à influência dos ruídos de fora das escolas. Conforme se observa na tabela 30, os ruídos provenientes da

vizinhança não exercem grande influência na composição do ruído de fundo nas salas. O ruído mais percebido pelos professores é proveniente do tráfego de veículos, todavia o escore 1,0 indica que a influência desse tipo de ruído é baixa.

TABELA 30 – RESPOSTA DOS PROFESSORES PARA O INCÔMODO CAUSADO PELOS RUÍDOS DE FORA DA ESCOLA

<b>QUESTÃO 2 – Incômodo causado por ruídos de fora da escola</b>						
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>total</b>	<b>Escore médio</b>
Buzinas, alarmes, ambulâncias, polícia, etc	30	28	9	4	71	0,8
Automóveis, motocicletas, caminhões	27	20	18	6	71	<b>1,0</b>
Trem	47	12	7	5	71	0,6
Avião	38	17	4	12	71	0,9
Oficinas	63	6	2	0	71	0,1
Indústrias	64	5	2	0	71	0,1
Construções	56	12	2	1	71	0,3
Vizinhos da escola	54	14	2	1	71	0,3

A resposta dos professores para a questão 2 acorda com a resposta dos alunos para um questionamento similar anteriormente apresentado na figura 73 e, também, corrobora as análises feitas para o resultado das medições de campo.

TABELA 31 – RESPOSTA DOS PROFESSORES PARA A SITUAÇÃO QUE GERA MAIOR INTERFERÊNCIA NA SALA DE AULA

<b>QUESTÃO 3 – Situações que acredita gerar maior interferência na sala de aula</b>						
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>total</b>	<b>Escore médio</b>
Ruído proveniente de alunos dentro da sala de aula	5	9	22	35	71	<b>2,2</b>
Ruído proveniente de salas vizinhas, corredor, pátio	8	30	18	15	71	<b>1,6</b>
Ruído proveniente de fontes externas à escola (automóveis, vizinhos, indústria)	31	27	7	6	71	0,8

Quando questionados sobre o ruído mais incômodo em sala de aula, dentre todas as fontes, os professores elegeram o ruído dos alunos das próprias salas de aula (tabela 31).

O escore de 2,2 obtido para o ruído proveniente dos alunos em sala indica uma influência de média (2) a alta (3). Comparando os escores das tabelas 29, 30 e 31, onde o ruído produzido por automóveis, motocicletas e caminhões obteve escore 1,0, o ruído dos alunos das salas vizinhas atingiu escore 1,8 e o ruído produzido pelos estudantes da sala de aula escore 2,2, pode-se afirmar que a própria sala é responsável pela geração dos ruídos que a perturbam. Esse resultado demonstra a falta de conforto acústico em seu interior.

TABELA 32 – RESPOSTA DOS PROFESSORES PARA QUAIS ATIVIDADES EM SALA DE AULA MAIS AFETADAS PELO RUÍDO

<b>QUESTÃO 4 – Atividades em sala de aula mais afetadas pelo ruído</b>						
	0	1	2	3	total	Escore médio
Aula expositiva do professor	8	17	19	27	71	<b>1,9</b>
Leitura individual dos alunos	19	15	15	22	71	1,6
Concentração dos alunos durante as provas	18	16	17	20	71	1,5
Compreensão por parte dos alunos do conteúdo das aulas	9	17	26	19	71	1,8
Atividades em grupo	7	17	17	30	71	<b>2,0</b>

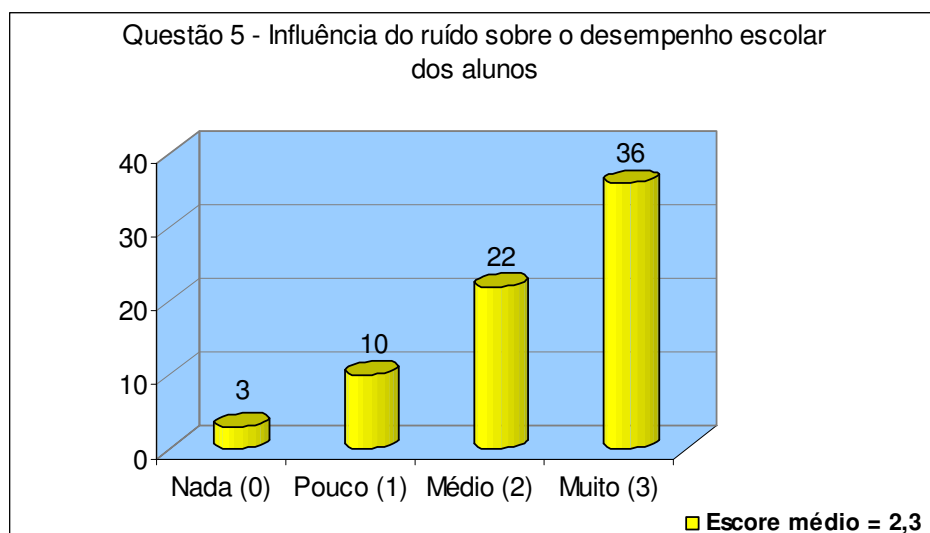
Outra questão abordada no questionário aplicado aos professores trata das atividades realizadas em sala de aula mais afetadas pela presença de ruídos. A tabela 32 apresenta o resultado para essa questão.

Atividades em grupo e de ministrar aulas são as mais afetadas pelo ruído, segundo os professores. Os escores para essas duas atividades estão muito próximos e confirmam o resultado do questionário aplicado aos estudantes que indicaram a tarefa de ouvir o professor como a mais prejudicada.

Quanto ao processo cognitivo, o resultado do questionário (Figura 74) indica que os professores consideram alta a influência dos ruídos sobre o

desempenho escolar dos alunos. A influência do ruído no ambiente de ensino e no conseqüente desempenho escolar é evidenciada na literatura internacional (EVANS e LEPORE, 1993; CRANDELL e SMALDINO, 2000; HAGEN et al., 2002; LERCHER et al., 2003; SHIELD e DOCKRELL, 2003; NELSON et al., 2005).

FIGURA 74 – RESPOSTA DOS PROFESSORES SOBRE A INFLUÊNCIA DO RUÍDO NO DESEMPENHO ESCOLAR DOS ALUNOS



A tabela 33 apresenta a influência do ruído no desempenho escolar segundo a opinião dos professores para cada padrão construtivo.

TABELA 33 – RESPOSTAS DOS PROFESSORES SOBRE A INFLUÊNCIA QUE O RUÍDO EXERCE SOBRE O RENDIEMTO ESCOLAR SEPARADAS POR PADRÃO CONSTRUTIVO

<b>QUESTÃO 5 - Influência do ruído sobre rendimento escolar conforme padrão construtivo</b>					
Padrões	Influência				Total
	Nada	Pouca	Média	Muita	
	0	1	2	3	
"10"	1	2	8	18	29
"22"	1	5	5	11	22
"23"	1	3	9	7	20
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>22</b>	<b>36</b>	<b>71</b>

Para a questão da tabela 33, o teste qui-quadrado ( $Q_s = 2,649$ ,  $p\text{-valor} = 0,266$ ) indica que não há associação entre o padrão construtivo e a influência do ruído sobre o aprendizado. Isso significa que independentemente do padrão construtivo 51% dos professores consideram que o ruído influencia muito no rendimento escolar.

TABELA 34 – RESPOSTAS DOS PROFESSORES SOBRE A INFLUÊNCIA QUE O RUÍDO EXERCE SOBRE OS MESMOS

<b>QUESTÃO 6 – Influência do ruído sobre o professor no decorrer das aulas e ao término</b>						
	0	1	2	3	total	Escore médio
Dificuldade de concentração	13	20	19	19	71	1,6
Dor de cabeça	16	15	25	15	71	1,5
Irritabilidade	5	20	20	26	71	1,9
Cansaço	5	19	15	32	71	<b>2,0</b>
Zumbido nos ouvidos	24	20	13	14	71	1,2
Obriga-se a elevar o tom da voz	0	11	12	48	71	<b>2,5</b>
Fadiga vocal	11	9	19	32	71	<b>2,0</b>

A percepção da influência do ruído sobre o professor é apresentada na tabela 34. Os principais aspectos levantados pelos professores foram: necessidade de elevar o tom de voz (2,5), cansaço (2) e fadiga vocal (2).

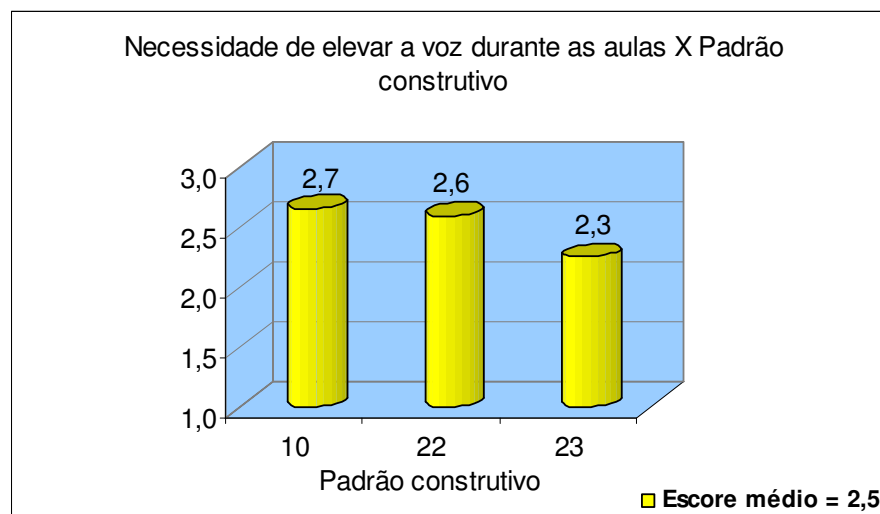
Segundo LUBMAN e SUTHERLAND (2001), nos Estados Unidos o gasto anual em função da fadiga vocal em professores de escolas até o segundo grau equivale a US\$ 638 milhões de dólares. No Brasil não há estimativas em relação a esses gastos. Entretanto, conforme a tabela 34, a necessidade dos professores em elevar o tom de voz é considerada alta (2,5).

As respostas obtidas para a questão 6 confirmam os resultados das medições realizadas durante as aulas de português e matemática, nas escolas Anibal Khury Neto e Luarlindo dos Reis Borges, respectivamente.



Os valores obtidos de 73,7 dB(A) e 74 dB(A) deixam claro a necessidade dos professores em elevar o tom de voz para garantir a compreensão do conteúdo das aulas. Segundo PIMENTEL (2000) a intensidade de ruído acima do nível 60 dB(A) já ultrapassa em 5 dB(A) a fala civilizada, a voz educada passa ao caos sonoro, e o ouvinte, tem distúrbios de atenção e concentração. Com isso podem ser estressadas as cordas vocais e comprometer a saúde desses profissionais.

FIGURA 75 – RELAÇÃO ENTRE O PADRÃO CONSTRUTIVO E A NECESSIDADE DE ELEVAR A VOZ DURANTE AS AULAS



A figura 75 relaciona os padrões construtivos com a necessidade dos professores em elevar o tom de voz durante as aulas. A figura sugere que a necessidade dos professores em elevar a voz é maior no padrão 023. Contudo o teste qui-quadrado ( $Q_s = 6,244$ ,  $p\text{-valor} = 0,182$ ) mostrou não haver associação entre o padrão construtivo e o esforço vocal dos professores.

#### 4.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS TRÊS PADRÕES CONSTRUTIVOS

Os resultados das medições apresentados nesta pesquisa indicam que as salas de aula dos padrões construtivos 010, 022 e 023 não possuem condições de conforto acústico para o desenvolvimento de atividades educacionais.

Quanto à implantação das escolas abordaram-se dois aspectos relevantes, a escolha do terreno onde estão situadas e o posicionamento das áreas de recreação. A tabela 35 apresenta um resumo relacionando esses dois aspectos com as premissas de conforto acústico, indicando se estão de acordo ou não.

TABELA 35 – ADEQUAÇÃO SEGUNDO PREMISSAS DE CONFORTO ACÚSTICO DA IMPLANTAÇÃO DAS ESCOLAS

Implantação	Padrão 010		Padrão 022		Padrão 023	
	Alfredo Parodi	Luiza Ross	Anibal K. Neto	Paulo Freire	Walde R. Galvão	Luarlindo R. Borges
Escolha do terreno	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Inadequado
Posicionamento áreas de recreação	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Adequado	Adequado

As escolas avaliadas estão implantadas em regiões onde os níveis de ruído de tráfego não são a causa de poluição sonora dentro das salas de aula. Essa situação indica a correta escolha dos terrenos para cinco das seis escolas pesquisadas.

Ao avaliar a escola Luarlindo dos Reis Borges (padrão 023) constatou-se que na escolha do terreno para a implantação da escola, um aspecto de grande importância foi negligenciado. A escola situa-se em região tranqüila onde o tráfego de veículos apresentou  $L_{eq} = 51,8$  dB(A), valor muito próximo aos 50 dB(A) recomendados pela NBR 10151 (2000). Contudo, a linha férrea está localizada nos fundos da escola e tem impacto direto sobre as salas de aula. Os resultados das

avaliações qualitativas e subjetivas mostraram que os ruídos provenientes do tráfego ferroviário são elevados,  $L_{eq} = 71,8$  dB(A), e perturbam alunos e professores.

As investigações nos padrões 010 e 022 apontaram para um erro grave na concepção do projeto arquitetônico com relação ao posicionamento dos pátios e quadras de esporte, pois nas escolas avaliadas estes ambientes estavam localizados próximos às salas de aula. Também foi constatado, considerando todas as escolas avaliadas, que os ruídos que perturbam as atividades em sala são oriundos da própria escola, tanto de salas adjacentes, corredores e pátios, quanto, e principalmente, da própria sala de aula.

A tabela 36 apresenta os valores do ruído de fundo medido em sala de aula vazia considerando as demais salas em aulas normais. Os valores são comparados à norma NBR 10152 (1987) para todos os padrões analisados.

TABELA 36 – RUÍDO DE FUNDO EM SALA DE AULA VAZIA COMPARADOS ÀS NORMAS NBR 10152 E ANSI S12.60

<b>Níveis de ruído em sala de aula vazia com as demais em aula</b>			
<b>Escola</b>	<b>Padrão</b>	<b>Leq dB(A)</b>	<b>Valores de referência dB(A)</b>
			<b>NBR 10152</b>
Alfredo Parodi	10	59,4	40 - 50
Luiza Ross	10	63,2	
Paulo Freire	22	51,1	
Luarlindo R. Borges	23	60,7	
Walde R. Galvão	23	59,1	

Como resultado obtiveram-se níveis de ruído de fundo superiores ao que recomenda a norma, comprovando, assim, a influência negativa que as salas de aula exercem umas sobre as outras, principalmente nos padrões 010 e 023.

LORO (2003) comenta que na implantação de uma escola, o arranjo de salas de aula dispostas lado a lado com circulação central constitui-se em boa opção, pois é possível compor um bloco com um número maior de salas ocupando

uma área de terreno menor. Contudo, sob o ponto de vista de conforto acústico, essa opção não é a melhor solução.

Os resultados apresentados na tabela 36 confirmam a afirmação feita por LORO (2003), uma vez que apenas no padrão 022 o ruído de fundo estava próximo ao que a NBR 10152 (1987) estabelece como nível aceitável para a função do ambiente. Nesse padrão, os blocos de salas de aula são compostos por salas dispostas lado a lado, sem a existência de corredores. Nos outros dois padrões, onde as salas são separadas por um corredor central, os níveis de ruído foram superiores.

Quanto às demais dependências escolares, como bibliotecas e corredores, os valores para o ruído de fundo também resultaram mais altos do que o estabelecido na NBR 10152 (1987).

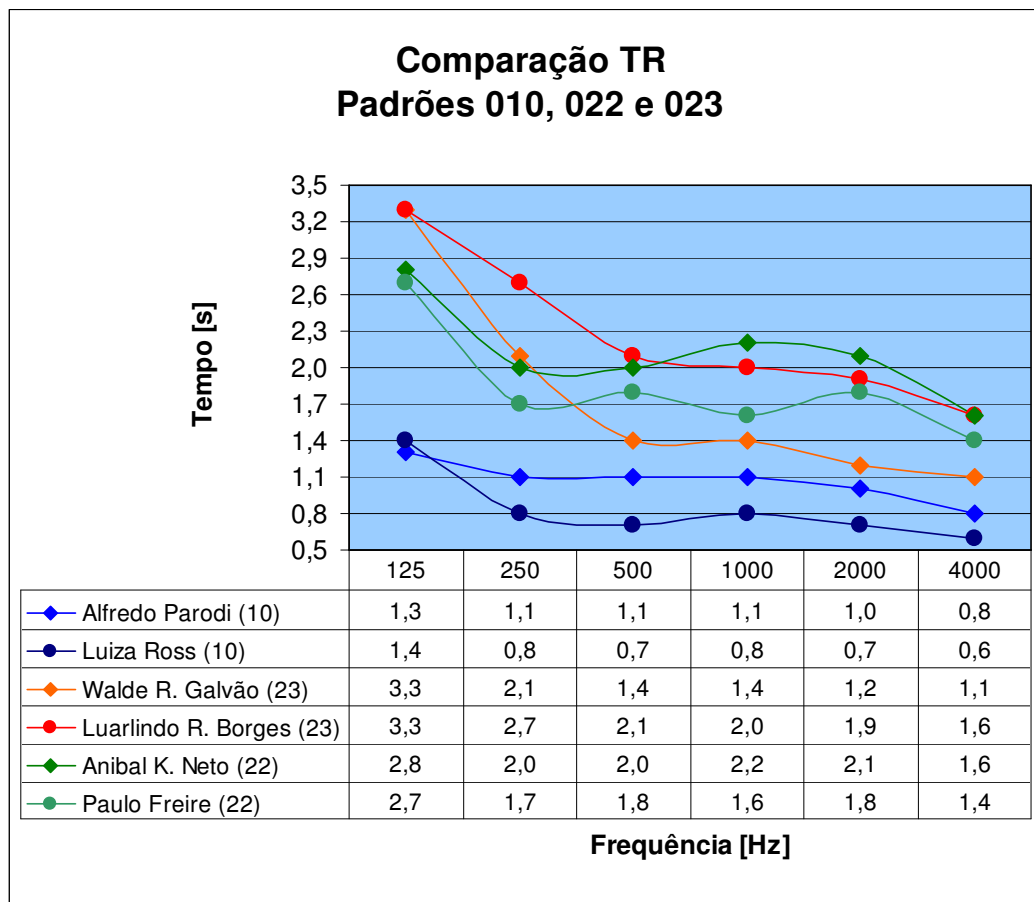
De acordo com BRADLEY et al. (1999) e CRANDELL e SMALDINO (2000), o reconhecimento da fala é prejudicado pelos efeitos combinados de ruído excessivo e reverberação em sala de aula e isso tende a interferir no processo de aprendizagem. A combinação de ruídos e reverberação tem uma influência maior sobre o reconhecimento da fala que a soma de ambos os efeitos ocorrendo isoladamente.

Os tempos de reverberação medidos nas escolas estaduais são apresentados e comparados na figura 76.

Na figura 76 é possível observar que os TRs de todas as escolas avaliadas são superiores ao tempo estabelecido pela ANSI S12.60 (2002), 0,6 s para as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz. Entretanto, os tempos de reverberação obtidos para o padrão 010 são inferiores aos tempos dos outros dois padrões.

Quando comparados à recomendação da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001), apenas a escola Luiza Ross (padrão 010) permanece no intervalo estabelecido de 0,4 a 0,8 s. Nas outras escolas os tempos não são satisfatórios.

FIGURA 76 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO PADRÕES 010, 022 E 023



Conforme SCHÖNWALDER (2005) a norma DIN 18041 estabelece o TR de 0,55 s para salas de aula com volumes entre 180 e 230 m<sup>3</sup>. Contudo, para crianças com problemas auditivos, para as quais a clareza e a inteligibilidade da fala são determinantes no aprendizado, essa norma exige uma redução de 20% no tempo de reverberação para as frequências de 250 a 2000 Hz. Dessa forma, o TR requerido para essas situações é de 0,45 s. Ainda, segundo o autor, essa redução também vai de encontro às necessidades de crianças com distúrbios na comunicação ou com problemas de concentração.

Os valores medidos, quando comparados às exigências da norma alemã, deixam claro a inadequação das salas avaliadas até mesmo para crianças que não possuem as limitações acima descritas.

A diferença nos tempos de reverberação entre os padrões construtivos está relacionada com os materiais de revestimento utilizados. Nas salas de aula do padrão 010 o piso é em *parquet* e o teto possui forro em madeira.

No padrão 022 o piso é, também, *parquet*, enquanto no padrão 023 é revestido com cerâmica. O teto dos padrões 022 e 023 não tem forro, somente reboco e pintura. O acabamento das paredes de todos os padrões é em reboco e pintura, entretanto, na escola Luarlindo dos Reis Borges, as paredes possuem revestimento cerâmico até metade de sua altura.

Devido à construção das escolas do padrão 010 ter ocorrido, aproximadamente, 20 anos antes dos padrões 022 e 023 e, tendo se observado os materiais de revestimento e tempos de reverberação em cada sala de aula, verificou-se haver melhores condições acústicas nas salas mais antigas. Isso atribui-se aos baixos coeficientes de absorção sonora dos acabamentos atualmente empregados.

Diversos autores afirmam que os níveis de ruído de fundo e o tempo de reverberação são os parâmetros mais importantes na qualidade acústica das salas de aula (SHIELD e JEFFERY, 2001; SEEP et al., 2002; KARABIBER e VALLET, 2003), contudo, o isolamento acústico não pode ser negligenciado.

O isolamento acústico merece destaque em ambientes escolares, onde as fontes de ruído externo não podem ser alteradas, principalmente em escolas afetadas por altos níveis de ruído proveniente do tráfego rodoviário, aeroviário e ferroviário. Outro fator importante é o isolamento acústico entre ambientes silenciosos e muito ruidosos, como é o caso das escolas padrão 010 e 022, onde o pátio de educação física e recreação situa-se próximo às salas de aula.

A tabela 37 apresenta um resumo dos valores de isolamento acústico para cada padrão construtivo, comparados à norma ANSI S12.60 (2002).

TABELA 37 – COMPARAÇÃO DOS VALORES MEDIDOS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO COM RECOMENDAÇÕES DA NORMA ANSI S12.60

<b>Comparação dos valores medidos de isolamento acústico com as recomendações da norma ANSI S12.60</b>				
Índice	Valor de referência ANSI (dB)	Valor medido em dB		
		Padrão 010	Padrão 022	Padrão 023
Isolamento fachada - $R'_{45^{\circ},w}$	50	15	26	20
Isolamento parede sala/corredor - $R'_w$	45	22	-	13

Em todas as escolas avaliadas os índices de isolamento, tanto das fachadas quanto das paredes que separam salas e corredores, são inferiores ao que recomenda a norma ANSI S12.60 (2002) e, em parte, são responsáveis pelos elevados níveis de ruídos encontrados nas salas de aula.

Os resultados do isolamento de fachada apresentaram valores bem variados nos três padrões estudados. O padrão 022 teve o maior valor de isolamento, entretanto deve-se lembrar que é referente à fachada das portas e não à fachada das janelas. Nos outros dois padrões a fachada analisada era composta por janelas.

Quanto ao isolamento entre sala de aula e corredor, a diferença entre os valores está relacionada às aberturas dessas paredes. No padrão 010 é preenchida por esquadria de ferro do tipo basculante e vidro comum. No padrão 023 essa abertura é preenchida por blocos de tijolos de vidro vazados, permitindo a passagem dos ruídos para o interior das salas.

Para melhor visualização das condições de conforto acústico nas salas de aula, a tabela 38 traz um resumo relacionando os três aspectos avaliados: ruído de fundo, tempo de reverberação e isolamento acústico.

TABELA 38 – RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS COMPARADOS ÀS NORMAS DE CONFORTO ACÚSTICO - DISTRIBUÍDOS POR PADRÃO CONSTRUTIVO

Conforto Acústico		Padrão 010		Padrão 022		Padrão 023	
		Alfredo Parodi	Luiza Ross	Anibal K. Neto	Paulo Freire	Walde R. Galvão	Luarlindo R. Borges
Ruído de fundo sala de aula	NBR 10152	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
	ANSI S12.60	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
Tempo de reverberação sala de aula	ANSI S12.60	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
	WHO 2001	Não atende	<b>Atende</b>	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
Isolamento fachada	ANSI S12.60	-	Não atende	Não atende	-	-	Não atende
Isolamento sala/corredor	ANSI S12.60	-	Não atende	Não atende	-	-	Não atende

Conforme a tabela 38 observa-se que dentre todos os aspectos avaliados, apenas um quesito, em uma única sala, é atendido. Somente uma sala de aula do padrão 010 atende a recomendação da WHO (2001) para o tempo de reverberação. Contudo, quando confrontado com a norma ANSI S12.60 (2002) o mesmo quesito não é atendido.

Apesar das escolas analisadas apresentarem falhas na concepção do projeto arquitetônico e na escolha dos materiais de revestimento, o ruído presente em seu interior também está ligado ao comportamento de seus usuários. Essa observação é corroborada por HAGEN et al. (2002), para os quais a composição de um ambiente favorável ao aprendizado não relaciona-se, apenas, aos parâmetros acústicos envolvidos no projeto de salas de aula, mas também às atitudes de seus ocupantes.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1. CONCLUSÃO

A qualidade acústica de salas de aula é um assunto que tem despertado interesse em diversos pesquisadores nos últimos anos. A maioria dos trabalhos publicados nessa área evidencia a precariedade das condições acústicas das salas de aula e suas conseqüências sobre o aprendizado.

Pesquisas têm mostrado que a acústica de salas de aula recebe pouca atenção da teoria educacional. Os recursos investidos em melhorias, a fim de promover conforto acústico, ainda são vistos apenas como despesas e não como um investimento em educação, que é baseada, em grande parte, na comunicação entre alunos e professores.

Visando contribuir nesse cenário, o presente trabalho avaliou a qualidade acústica de salas de aula construídas segundo projetos “padrão”. Para a realização da pesquisa optou-se pelos padrões 010, 022 e 023 de escolas modulares implementadas pelo Governo Estadual do Paraná em conjunto com a FUNDEPAR.

No padrão 022 as salas são dispostas lados a lado, formando blocos sem corredores. Já os padrões 010 e 023 são similares quanto à composição dos blocos, formados por duas fileiras de salas de aula separadas por um corredor.

A análise da qualidade acústica das salas baseou-se em medições dos parâmetros acústicos, como ruído de fundo, tempo de reverberação e isolamento acústico. Os questionários possibilitaram conhecer a percepção de alunos e professores quanto aos ruídos existentes nas escolas.

Por meio das medições e levantamento físico-construtivo, pode-se perceber erros de projeto em todas as escolas avaliadas. Os erros estão relacionados tanto à concepção do projeto arquitetônico, quanto à escolha dos materiais de revestimento.

Nas escolas do padrão 010 e 022, o principal erro diz respeito ao posicionamento das áreas de recreação. No padrão 023, a adoção de blocos de vidro vazados nas paredes que separam as salas do corredor, permite aos ruídos provenientes das salas adjacentes e do próprio corredor ter livre acesso às salas de aula, contribuindo para o aumento do ruído de fundo.

Com relação aos tempos de reverberação, constatou-se que as salas de aula antigas (padrão 010) possuem melhores condições acústicas que as modernas (padrões 022 e 023). Fator esse, referente aos materiais de revestimento empregados, principalmente nas áreas do piso e teto. Isso indica a necessidade das salas de aula em sofrerem alterações a fim de aumentar as áreas de absorção sonora.

Os níveis de ruído de fundo encontrados nas salas de aula, bem como nos corredores e bibliotecas estavam acima do que recomenda a NBR 10152. A inadequação dos níveis de ruído nesses ambientes, em grande parte, está relacionada ao isolamento acústico, tanto de fachada quanto de paredes divisórias. Os resultados obtidos foram valores muito inferiores ao determinado na norma americana ANSI S12.60.

A avaliação subjetiva permitiu comprovar que tanto os alunos quanto os professores percebem os ruídos presentes nas salas de aula e os consideram incômodos. Segundo os professores o ruído é um fator que afeta negativamente o ensino e o aprendizado.

A maioria dos alunos afirma ouvir bem o professor. Entretanto, consideram barulhentas as salas de aula e destacam a atividade de ouvi-lo como a mais prejudicada. Afirmação confirmada pelo resultado dos questionários aplicados aos professores.

Os resultados das medições e dos questionários revelaram os ruídos que perturbam as atividades em sala de aula como oriundos da própria escola. De forma

alguma estão relacionados aos ruídos provenientes do tráfego de veículos ou da vizinhança.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram a falta de conforto acústico em salas de aula e evidenciam a necessidade de intervenções. Tal renovação não diz respeito apenas às escolas avaliadas na presente pesquisa, mas a todas as outras construídas segundo os padrões abordados. Deve-se lembrar que, os erros ou deficiências acústicas presentes em uma escola, provavelmente, se propagarão a todas as outras, prejudicando a aprendizagem de centenas de estudantes em todo estado.

O conforto acústico não é o único, nem o mais importante fator indispensável na formação acadêmica de crianças e adolescentes. Todavia, assim como os demais fatores relacionados à educação, é um dos pilares que sustenta esse processo e, portanto, não deve ser negligenciado.

## 5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Medições acústicas da inteligibilidade e a clareza da fala;
- Simulações, com auxílio de programa computacional (ODEON) a fim de se avaliar melhores condições acústica-arquitetônicas para salas de aula;
- Medições dos parâmetros acústicos níveis de pressão sonora, tempo de reverberação, isolamento e inteligibilidade em outros padrões construtivos das escolas estaduais do Paraná.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRESTI, A. A survey of exact inference for contingency tables. **Statistical Science**, v.7, p. 131-153, 1992.
- AGRESTI, A. **An introduction to categorical data analysis**. Nova York: Wiley, 1996.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD. **ANSI S12.60**: Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. Melville, 2002.
- ASTOLFI, A.; CORRADO, V.; FILIPPI, M. Classroom acoustics assessment: a procedure for field analysis. In: Euronoise, 2003, Nápoles, Itália. **Anais...**
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro. 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico – procedimento. Rio de Janeiro. 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.
- BATISTA, N. N. **A importância do projeto acústico como um dos parâmetros para obtenção da qualidade do espaço edificado**. Rio de Janeiro, 1998. 272 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Arquitetura). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BERANEK, L. L. **Noise Reduction**. 1. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1960.
- BERANEK, L L; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering: Principles and applications**. John Wiley & Sons, Inc, 1992.
- BERTOLI, S. R. Avaliação do conforto acústico de prédio escolar da rede pública: O caso de Campinas. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, 6., 2001, São Pedro, Brasil. **Anais...**
- 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**, USA, v. 107, n. 2, p. 861-875, 2000.
- BOBRAN, H. W. **Handbuch der Bauphysik**. 7. ed. Stuttgart: völlig neubearbeitete Auflage, 1995.
- BOWDEN, E. E.; WANG, L.; BRADLEY, D. Classroom acoustics in Omaha, Nebraska: Measurements and outreach. **Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v.112, n.5, p. 2430, 2002.
- BRADLEY, J. S. Optimising Sound Quality for Classrooms. In: Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA, 20., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...**

- 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**, USA, v.106, n.4, p. 1820, 1999.
- BRUEL & KJAER. **Measurements in Building Acoustics**. Disponível em: <<http://www.bk.dk>> Acesso em: 24/10/2003.
- CANDRELL, C. C.; SMALDINO, J. J. Classroom Acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. **Language, Speech, and Hearing Services in Schools**, USA, v. 31, p. 362- 370, 2000.
- CARVALHO, B. de A. **Acústica Aplicada à Engenharia**. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos S. A, 1967.
- CALIXTO, C. **O Ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias – grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná.
- CHROUSOS, G.P. **Pediatric Endocrinology**. Philadelphia: Sperling, 1996.
- CORDEIRO, C. V. C. **Qualidade acústica em escritórios panorâmicos: A utilização de sistemas eletrônicos de mascaramento**. Rio de Janeiro, 1996. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- DE MARCO, C. S. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982.
- DOCKRELL, J; TACHMATZIDIS, I; SHIELD, B; JEFFERY, R. Children’s perceptions of noise in schools. In: Proceedings of International Congress on Acoustics, 17., 2001. Roma. **Anais...**
- DOCKRELL, J. E.; SHIELD, B. Children’s perceptions of their acoustic environment at school and at home. **Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v.115, n.6, p. 2964–2973, 2004.
- ELLIS, D. The social effects of poor classroom acoustics on students and The District of Columbia Public Schools demonstration of Support through mandating the ANSI Classroom Acoustics Standart. **Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v.112, n.5, p.2331, 2002.
- ELMALLAWANY, E. Field investigations of the sound insulation in school buildings. **Build and Environmental**, Egito, v18, p.85-89, 1983.
- ENIZ, A.; GARAVELLI, S.L. Acoustic conditions of school classrooms in the Federal District: Background noise and reverberation time. In: International Congress on Noise Control – INTERNOISE, 34., 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Anais...**
- ENMARKER, I; BOMAN, E. Noise annoyance responses of middle school pupils and teachers. **Journal of Environmental Psychology**, Nova York, v.24, p. 527-536, 2004.
- EVANS, G.V.; BULLINGER, M.; HYGGE, S. Chronic Noise Exposure And Physiological Response: A Prospective Study Of Children Living Under Environmental Stress. **Psychological Science**, v. 9, n. 1, jan. 1998.

- EVANS, G.V.; SALTZMAN, H.; COOPERMAN, J. Housing Quality And Children's Socioemotional Health. **Environment And Behavior**, v. 33, n. 3, p. 389-399, 2001.
- EVANS, G. W., LEPORE, S. J. Non-auditory Effects of Noise on Children: A Critical Review. **Children's Environments**, v. 10, n.1, p. 42-72, 1993.
- FASOLD, W.; VERES, E. **Schallschutz und raumakustik in der praxis**. Planungsbeispiele und konstruktive lösungen. Huss-medien GmbH, Verlag Bauwesen, Berlim, 2003.
- FERNANDES A.G.; VIVEIROS, E B. Impacto do Ruído de Tráfego em Edificações Escolares: uma Metodologia de Avaliação para o Planejamento Urbano. In: Encontro da Sociedade Brasileira de acústica - SOBRAC, 20., 2002, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...**
- FIORINI, A. C. Percepção da fala. In: Encontro da Sociedade Brasileira de acústica – SOBRAC, 20., 2002, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...**
- FLORU, R.; CNOCKSERT, I. C.; DAMONGEOT, A. Vigilance et nuisances physiques. **Cahiers de notes documentaires**, v.128, 331-355, 1987.
- FUNDEPAR. Site Dia-a-dia educação: Consulta Escolas. Disponível em: <<http://www4.pr.gov.br/escolas>> Acesso 12/10/2005.
- GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
- GERTIS, K., MEHRA, S.R., VERES, E., KIESSL, K. **Bauphysikalische Aufgabensammlung mit Lösungen**. Stuttgart-Leipzig: B.G. Teubener, 2000.
- HAGEN, M.; HUBER, L.; KAHLERT, J. Acoustic school desing. In: Forum Acusticum, 2002, Sevilha. **Anais...**
- HARRIS, C. M. **Handbook of noise control**. Londres: McGraw-Hill Book Company, 1979.
- HARRIS, C. M. **Noise control in buildings**. Nova York: McGraw-Hill Book Company, 1994.
- HARRIS, C. M. **Handbook of acoustical measurements and noise control** . 3. ed. Acoustical Society of America, 1998
- HOHMANN, R.; SETZER, M. J.; WEHLING, M. **Bauphysikalische formeln und tabellen**. 4. ed. Werner Verlag, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 140-4**: Acoustic – Measurement of sound insulation in building and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Suíça, 1978.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 140-5**: Acoustic – Measurement of sound insulation in building and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Suíça, 1998.

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 3382**: Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Suíça, 1997.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 717-1**: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Suíça, 1996.
- KARABIBER, Z.; VALLET, M. Classroom acoustics policies – an overview. In: Euronoise, 2003, Nápoles, Itália. **Anais...**
- KNUDSEN, V. O.; HARRIS, C. M. **Acoustical Designing in Architecture**. 5. ed. Acoustical Society of America, 1988.
- LERCHER, P.; EVANS, G. W.; MEIS, M. Ambient Noise and Cognitive Processes Among Primary Schoolchildren. **Environment and Behavior**, v. 35, n. 6, p. 725-735, 2003.
- LORO, C. L. P. **Avaliação acústica de salas de aula – Estudo de caso em salas de aula Padrão – 023 da rede pública**. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná.
- LOSSO, M. A. F. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: Avaliação e Elaboração de diretrizes para projeto e implantação**. Florianópolis. 2003, 149 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina.
- LUBMAN, D; SUTHERLAND, L. C. Good Classrooms Acoustic is a god investment. In: International Congress on Acoustics ICA, 2001, Roma, Itália. **Anais...**
- LUTZ, J., JENISCH, R., KLOPFER, H., FREYMUTH, H., KRAMPF, PETZOLD, K. **Lehrbuch der Bauphysik**. Stuttgart-Leipzig-Wiesbaden: B.G. Teubner, 2000.
- MARTINS, M.I.M. A interferência do ruído no reconhecimento da fala: análise do ambiente e da voz do professor. In: Encontro da SOBRAC, 20., 2002, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...**
- MAXWELL, E. L.; EVANS, G. W. The Effects of Noise on Pre-Scholl Children's Pre-Reading Skills. **Journal of Environmental Psychology**, Nova York, v. 20, p. 91-97, 2000.
- MILLINGTON, J.G. A modified formula for reverberation. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 4, n. 1, p. 69-82, 1932.
- MULLER, S.; NABUCO, M.; MASSARANI, P. Medição de inteligibilidade da palavra em duas escolas estaduais do Rio de Janeiro. In: Encontro da SOBRAC, 20., 2002, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...**
- NELSON, P; KOHNERT, K; SABUR, S; SHAW, D. Classroom Noise and Children Learning Through a Second Language: Double Jeopardy? **Language, Speech, and Hearing Services In Schools, USA**, v. 36, p. 219-229, 2005.
- NEUBAUER, R. Classroom acoustics – Do existing reverberation time formulae provide reliable values? In: Proceedings of International Congress on Acoustics, 17., 2001, Rome. **Anais...**

- PAMPANA, A. E.; FARIA, J.R.G de; SOUZA, L.C.L de. Desempenho acustico de edificações de escolas de ensino fundamental da cidade de Bauru (SP). In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, 6., 2003, Curitiba, Brasil. **Anais...**
- PIMENTEL, S. F. Efeitos do ruído estressante. In: Reunião Anual da SBPC, 49., vol.1, 1997. **Anais...** Disponível em: <<http://www.icb.ufmg.br/lpf/2-22.html>> Acesso em 10/04/2004.
- PIMENTEL, S. F. Efeito do ruído no homem dormindo e acordado. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica em Simpósio Internacional –SOBRAC, 19., 2000. **Anais...** Disponível em: <<http://www.icb.ufmg.br/lpf/pimentel,sobrac2000.html>> Acesso em 27/11/2004.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R : A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Áustria (2005).
- RECCHIA, C. **Estudo do desempenho acústico dos elementos construtivos que compõem a fachada**. Santa Maria, 2001. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria.
- ROMAN, M. **New Acoustical Standards for Classrooms**. Disponível em: <<http://www.mbinet.org>> Acesso em 16/06/2003.
- RUSSO, I. C. P. A importância da acústica e da psicoacústica para audiologia: A influência da acústica das salas de aula na percepção da fala. **Acústica & Vibrações**, Florianópolis, v.16, dez, 1995.
- SANTOS, M. J. O. **Ruído no Ambiente Escolar – Causas e Conseqüências**. Rio de Janeiro, 1993. 205 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SANTOS, M.J.O.; SLAMA, J.G. Ruido no ambiente escolar: causas e conseqüências. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 2., 1993, Florianópolis, Brasil. **Anais...**
- SCHÖNWALDER, H. G. **Schulmanagement handbuch – Lärm und stress in der schule**. München: Oldenburg Schulbuchverlag, 2005. p. 74.
- SEEP, B.; GLOSEMEYER, R.; HULCE, E.; LINN, M.; AYTAR, P. Acústica de salas de aula. **Revista de Acústica e Vibrações**, n 29, 2002.
- SHIELD, B.; DOCKRELL, J. E. The effects of classroom noise on children's academic attainments. In: Euronoise, 2003, Nápoles, Itália. **Anais...**
- SHIELD, B. M.; JEFFERY, R. L. A Survey of noise levels in and around Primary Schools in London. In: Proceedings of International Congress on Acoustics, 17., 2001, Rome. **Anais...**
- SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 3. ed. Belo Horizonte: Edital, 1997.
- SOTIRIOS D.; GEORGE, C. The Acoustics of Learning environments and Implications in Communication and Learning. In: International Congress on Noise Control – INTERNOISE, 34., 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Anais...**



STRUMPF, M.F. **Acoustic in Schools**. Telaviv: The Institute for the Development of Education & Welfare Buildings, 1984.

VALLET, M.; AUZILLEAU, S.; LEMONNIER, P. A new regulation for educational buildings in France; a comparison with existing policies in other countries. In: Euronoise, 2003, Nápoles, Itália. **Anais...**

VERDUNSSSEN, R. **Ergonomia: A racionalização humanizada do trabalho**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos.

VIVEIROS, E.. **Excelência Acústica: O objetivo de projeto de uma edificação escolar**. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica em Simpósio Internacional –SOBRAC, 19., 2000, Belo Horizonte. **Anais...**

WATTS, G.; CHINN, L.; GODFREY, N. The effects of Vegetation on the Perception of Traffic Noise. **Applied Acoustic**, Australia, v. 56, p. 39-56, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Noise**. Geneva, 1980.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Noise in schools**. Geneva, 2001.

ZANNIN, P.H.T. **Acústica Ambiental**. Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, Universidade Federal do Paraná, 2002. Apostila digitada.

ZANNIN, P.H.T.; FERREIRA, J.A.C.; SCHULLI, R.B.; DINIZ, F.B. Acústica em Edificações – Predição Computacional e Medição *In Situ* de Parâmetros Acústicos. **Engenharia e Construção**. n. 72, p. 49, 2002.

ZANNIN, P. H. T.; FERREIRA, A. M.; ZWIRTES, D. P.; NUNES, E. L.S.; STUMM, S. B.; TÔWS, M. Comparação entre tempos de reverberação calculados e medidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 75-85, 2005.

APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ALUNOS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR  
LABORATÓRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL, INDUSTRIAL E  
CONFORTO ACÚSTICO.

### **Questionário Sobre o Ruído em Salas de Aula**

Prezado Aluno (a),

Visando pesquisar o conforto acústico das salas de aula da rede pública de ensino e relatá-lo em dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná é que solicitamos a sua colaboração para o preenchimento do questionário que se segue.

Nome (Optativo): \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

Série: \_\_\_\_\_ Sexo: ( ) Feminino ( ) Masculino

Leias às perguntas abaixo com atenção e marque um (X) em apenas uma das respostas.

**1. Em qual lugar da sala você geralmente senta?**

- ( ) na frente
- ( ) no meio
- ( ) no fundo

**2. Você ouve bem a voz do seu professor durante a aula?**

- ( ) sim
- ( ) não
- ( ) mais ou menos

**3. Você acha que a sua sala de aula é barulhenta ou silenciosa.**

- ( ) barulhenta
- ( ) silenciosa

**4. Qual barulho você mais ouve na sua sala?**

- ( ) a voz do professor da outra sala
- ( ) a voz dos alunos da outra sala
- ( ) barulhos no corredor
- ( ) barulhos no pátio

**5. Qual barulho de fora da escola você mais ouve na sua sala?**

- aviões
- trem
- carros e motos
- buzinas
- vizinhos da escola

**6. Qual barulho você escuta mais na sua sala?**

- barulho da escola
- barulho de fora da escola

**7. Quando o barulho mais te atrapalha durante a aula?**

- quando estou lendo
- quando estou fazendo um teste
- quando o professor está falando e tento escutar
- o barulho nunca me atrapalha

**8. Qual barulho mais te atrapalha durante a aula?**

- carteiras sendo arrastadas
- voz dos colegas da minha sala
- passos na sala
- barulhos de fora da sala
- barulhos de fora da escola

**9. Você acha que a sua casa é:**

- barulhenta
- silenciosa

**10. Assinale qual o barulho que mais incomoda na sua casa**

- Vizinhos
- Carros e motos
- Trem
- Avião
- Buzinas e alarmes
- Indústrias
- Construções
- Nenhum

Obrigado pela colaboração!

APÊNDICE 2 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PROFESSORES



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR**  
**LABORATÓRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL, INDUSTRIAL E**  
**CONFORTO ACÚSTICO.**

### **Questionário Sobre o Ruído em Salas de Aula**

Prezado (a) Professor (a),

Visando pesquisar o nível de conforto acústico das salas de aula da rede pública de ensino e relatá-lo em dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná é que solicitamos a colaboração do Senhor (a) para o preenchimento do questionário que se segue. As informações obtidas através da presente pesquisa serão analisadas sigilosamente e o resultado final do trabalho estará disponível à FUNDEPAR, subsidiando o desenvolvimento de novos projetos com qualidade acústica nas salas de aula.

#### **Informações pessoais**

Nome (Optativo): \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_ Sexo: ( ) Masculino ( ) Feminino

Possui algum tipo de problema auditivo? ( ) Sim ( ) Não

Já precisou afastar-se de suas atividades escolares por fadiga vocal ou outro problema de saúde relacionado ao ruído? ( ) Não ( ) Sim. Qual? \_\_\_\_\_

#### **1. Atribua a escala de valores para a ao ruídos predominantes em sua sala de aula (ruídos provenientes da escola).**

**( 0 ) Nada                      ( 1 ) Pouco                      ( 2 ) Médio                      ( 3 ) Muito**

- ( ) Ruído produzido por alunos de outras salas de aula
- ( ) Voz do professor da sala vizinha
- ( ) Conversas no corredor
- ( ) Conversas no pátio da escola
- ( ) Ruído gerado pela movimentação de pessoas no corredor
- ( ) Aparelhos de TV, som, etc., utilizados em salas de aula vizinhas

#### **2. Atribua a escala de valores para o incômodo causado por ruídos provenientes de fora da escola.**

**( 0 ) Nada                      ( 1 ) Pouco                      ( 2 ) Médio                      ( 3 ) Muito**

- ( ) Buzinas, alarmes, ambulâncias, polícia, etc...

- Automóveis, motocicletas, caminhões, etc..
- Trem
- Avião
- Oficinas
- Industrias
- Construções
- Vizinhos da escola

**3. Atribua a escala de valores para as situações que você acredita gerar maior interferência na sala de aula**

**(0) Nada**                      **( 1 ) Pouco**                      **( 2 ) Médio**                      **( 3) Muito**

- Ruído proveniente dos alunos dentro da sala de aula
- Ruído proveniente das salas vizinhas, corredor, pátio
- Ruído proveniente de fontes externas à escola (automóveis, vizinhos, industrias...)

**4. Atribua a escala de valores para as atividades em sala de aula que são mais afetadas pelo ruído.**

**(0) Nada**                      **( 1 ) Pouco**                      **( 2 ) Médio**                      **( 3) Muito**

- Aula expositiva do professor
- Leitura individual dos alunos
- Concentração dos alunos durante as provas
- Compreensão por parte dos alunos do conteúdo das aulas
- Atividades em grupo

**5. Na sua opinião, qual a influência do ruído sobre o rendimento escolar dos alunos?**

Nada                       Pouco                       Médio                       Muito

**6. Atribua a escala de valores para a influência do ruído sobre você no decorrer das aulas e ao seu término.**

**(0) Nada**                      **( 1 ) Pouco**                      **( 2 ) Médio**                      **( 3) Muito**

- Dificuldade de concentração
- Dor de cabeça
- Irritabilidade
- Cansaço
- Zumbido nos ouvidos
- Obriga-se a elevar o tom de voz
- Fadiga vocal

Obrigado pela colaboração!

APÊNDICE 3 – REGULAMENTAÇÃO PARA MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO  
ACÚSTICO (ISO 140-4, 140-5 E 717-1)



**ISO 140: MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES E EM ELEMENTOS DA EDIFICAÇÃO - PARTE 4: MEDIÇÕES EM CAMPO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO ENTRE SALAS.**

**DEFINIÇÕES:**

1. “**Average sound pressure level in a room**”(L): dez vezes o logaritmo da relação entre o valor médio da pressão Sonora na sala e o número de pontos avaliados multiplicado pela pressão sonora de referência.

$$L = 10 \log \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{n \cdot p_0^2} \quad (dB)$$

Onde:

$p_1, p_2, \dots, p_n$  = pressão sonora em diferentes pontos da sala

$n$  = número de pontos avaliadas

$p_0$  = 20  $\mu$ Pa é a pressão de referência

2. “**Level difference**” (D): Diferença entre os níveis de pressão sonora produzidos em duas salas por uma ou mais fontes sonoras presentes no interior de uma das salas.

$$D = L_1 - L_2$$

Onde:

$L_1$  = nível médio de pressão sonora na sala de emissão

$L_2$  = nível médio de pressão sonora na sala de recepção

3. **“Standardized level difference”** ( $D_{nT}$ ): Diferença de nível correspondente ao valor de referência do tempo de reverberação na sala de recepção.

$$D_{nT} = D + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (dB)$$

Onde:

D = diferença de nível

T = Tempo de reverberação na sala de recepção

$T_0 = 0,5s$  é o tempo de reverberação de referência

4. **“Apparent sound reduction index, apparent transmission loss”** ( $R'$ ): dez vezes o logaritmo da relação entre a potência sonora  $W_1$  incidente sobre a partição em avaliação, e a potência sonora  $W_3$  transmitida no interior da sala de recepção.

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_3} \quad (dB)$$

Quando é assumido um campo sonoro difuso no interior da duas salas, o “Apparent sound reduction index” pode ser avaliado pela fórmula:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (dB)$$

Onde:

S = área do espécime em teste

A = área de absorção sonora equivalente na sala de recepção

## PROCEDIMENTO DE TESTE E AVALIAÇÃO

### 1. Geração do campo sonoro na sala de emissão:

O som gerado na sala de emissão deve ser estável e possuir um espectro contínuo na gama de frequência considerada. Filtros com uma largura de banda de pelo menos 1/3 de oitava podem ser utilizados.

Se uma fonte sonora tiver mais de um autofalante operando simultaneamente, os autofalantes devem estar enclausurados em um recinto com dimensões máximas de 0,7m. Os autofalantes devem estar em fase.

Os autofalantes enclausurados devem ser colocados para promover um campo sonoro o mais difuso possível e a uma distância do espécime de teste que a radiação direta não seja dominante.

### 2. Medição do nível médio de pressão sonora:

O nível médio de pressão sonora pode ser obtido utilizando um número fixo de posições do microfone ou um microfone com movimentação contínua com uma integração de  $p^2$ .

Quando em uma banda de frequência o nível de pressão sonora na sala de recepção é menor que 10 dB sobre o nível de ruído de fundo, então o nível de ruído de fundo deve ser medido antes e depois da determinação do nível de pressão sonora devido à fonte sonora e à correção dada na tabela abaixo.

Se a diferença é menor que 3 dB, isto é, o nível de pressão sonora  $L_2$  é menor que o nível de ruído de fundo, um valor preciso de  $L_2$  não pode ser determinado.

TABELA A1 – CORREÇÃO PARA LEITURA DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Difference between sound pressure level measured with sound source operating and background level alone	Correction to be subtracted from sound pressure level measured with sound source operating to obtain sound pressure level due to sound source alone
dB	dB
3	3
4 to 5	2
6 to 9	1

FORNE: ISO 140-4 (1978)

### **ISO 140: MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES E EM ELEMENTOS DA EDIFICAÇÃO - PARTE 5: MEDIÇÕES EM CAMPO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE FACHADAS E DE ELEMENTOS DE FACHADAS.**

Essa parte da norma ISO 140 especifica duas séries de métodos (método do elemento e método global) para medição do isolamento acústico de elementos de fachadas e fachadas inteiras, respectivamente.

O método do elemento tem por objetivo estimar o índice de redução sonora de um elemento da fachada. O método do elemento mais preciso utiliza um aut falante como uma fonte sonora artificial. O outro método, menos preciso, utiliza o ruído de tráfego.

O método global tem por objetivo estimar a diferença de nível sonoro entre o ambiente interno e externo sob condições de tráfego. O método global mais preciso utiliza o tráfego como fonte sonora. Um aut falante pode ser utilizado como uma fonte sonora artificial.

TABELA A2 – RESUMO SOBRE OS DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO

No.	Method	Reference	Result	Field of application
	Element			
1	Element loudspeaker	Clause 5	$R'_{45^\circ}$	Preferred method to estimate the apparent sound reduction index of façade elements
2	Element road traffic	Clause 6	$R'_{tr,s}$	Alternative to method No.1 when road traffic noise of sufficient level is available
3	Element railway traffic	Annex D (informative)	$R'_{rt,s}$	Alternative to method No.1 when railway traffic noise of sufficient level is available
4	Element air traffic	Annex D (informative)	$R'_{at,s}$	Alternative to method No.1 when air traffic noise of sufficient level is available
	Global			
5	Global loudspeaker	Clause 5	$D_{ls,2m,nT}$ $D_{ls,2m,n}$	Alternative to methods Nos. 6, 7 and 8
6	Global road traffic	Clause 6	$D_{tr,2m,nT}$ $D_{tr,2m,n}$	Preferred method to estimate the global sound insulation of a façade exposed to road traffic noise
7	Global railway traffic	Annex D (informative)	$D_{rt,2m,nT}$ $D_{rt,2m,n}$	Preferred method to estimate the global sound insulation of a façade exposed to railway traffic noise
8	Global air traffic	Annex D (informative)	$D_{at,2m,nT}$ $D_{at,2m,n}$	Preferred method to estimate the global sound insulation of a façade exposed to air traffic noise

FONTE: ISO 140-5 (1998)

#### DEFINIÇÕES:

1. “ Apparent sound reduction index,  $R'_{45^\circ}$ ” : Medida do isolamento acústico de um elemento construtivo quando a fonte Sonora é um autofalante e quando o ângulo de incidência sonora é de 45°. Esse índice é calculado pela equação:

$$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right) - 1,5 \quad (dB)$$

Onde:

$L_{1,s}$  = nível médio de pressão sonora sobre a superfície de teste

$L_2$  = nível médio de pressão sonora na sala de recepção

S = área da superfície de teste

A = área de absorção sonora equivalente na sala de recepção

Essa equação é válida somente se o campo sonoro na sala de recepção é difuso e o ângulo de incidência é de 45°.

2. “Apparent sound reduction index,  $R'_{tr,s}$ ”: Medida do isolamento acústico de um elemento de fachada quando a fonte sonora é o ruído de tráfego. Esse índice é calculado pela equação:

$$R'_{tr,s} = L_{eq,1,s} - L_{eq,2} + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right) - 3 \quad (dB)$$

Onde:

$L_{eq,1,s}$  = é o valor médio do nível de pressão sonora equivalente contínuo sobre a superfície da fachada, incluindo os efeitos de reflexão

$L_{eq,2}$  = é o valor médio do nível de pressão sonora equivalente contínuo na sala de recepção

S = área da superfície de teste

A = área de absorção sonora equivalente na sala de recepção

3. “Level difference,  $D_{2m}$ ”: Diferença, em decibéis, entre o nível de pressão sonora externa a 2m da superfície da fachada ( $L_{1,2m}$ ), e o nível médio de pressão sonora na sala de recepção ( $L_2$ ).

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$$

Nota: Quando o ruído de tráfego é utilizado como fonte sonora, a notação é  $D_{tr,2m}$ . Se um aut falante for utilizado será  $D_{is,2m}$ .

4. “Standardized level difference,  $D_{2m,n}$ ”: Diferença de nível, em decibéis, correspondente ao valor de referência do tempo de reverberação na sala de recepção.

$$D_{2m,n} = D_{2m} - 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (dB)$$

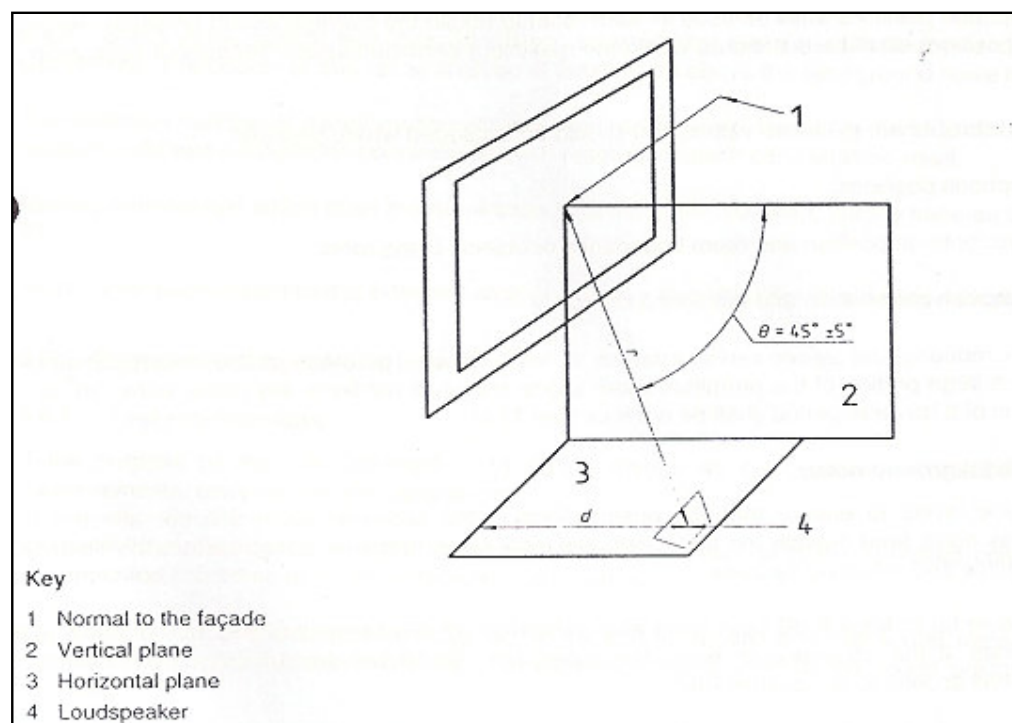
Onde:  $A_0 = 10m^2$

Nota: Quando o ruído de tráfego é utilizado como fonte sonora, a notação é  $D_{tr,2m,n}$ . Se um autofalante for utilizado será  $D_{ls,2m,n}$ .

## MEDIÇÕES UTILIZANDO AUTOFALANTE

O autofalante deve ser colocado em uma ou mais posições do lado externo da fachada a uma distância  $d$  da fachada, com ângulo de incidência de  $(45^\circ \pm 5^\circ)$  conforme indica a figura A1.

FIGURA A1 – GEOMETRIA DO MÉTODO COM AUTOFALANTE



FONTE: ISO 140-5 (1998)

A distância  $r$  da fonte sonora ao centro da superfície da fachada deve ser ao menos 5m ( $d > 3,5m$ ) para o método do elemento e ao menos 7m ( $d > 5m$ ) para o método global.

O nível médio de pressão sonora é determinado tanto diretamente sobre a fachada (método do elemento) ou a 2m de distância (método global), como também na sala de recepção.

Posição do microfone na sala de recepção: No mínimo, cinco posições devem ser utilizadas em cada sala para obter o nível médio de pressão sonora de cada campo sonoro. Essas posições devem ser distribuídas dentro do espaço máximo permitido.

As seguintes distâncias de afastamento são o valor mínimo e devem ser excedidas sempre que possível:

- 0,7m entre as posições do microfone
- 0,5m entre o microfone e superfícies refletoras (paredes, objetos,...)
- 1,0 m entre o microfone e a fonte sonora.

Duas medições complementares devem ser realizadas: ruído de fundo e tempo de reverberação na sala de recepção.

## **ISO 717: AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO EM EDIFÍCIOS E DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS - PARTE 1: ISOLAMENTO DE RUÍDO AÉREO.**

Essa norma define os valores de números únicos para o isolamento acústico em edificações e de elementos construtivos.



TABELA A3 – NÚMEROS ÚNICOS PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES

Derived from one-third-octave or octave-band values		Defined in	
Single-number quantity	Term and symbol		
Weighted apparent sound reduction index, $R'_w$	Apparent sound reduction index, $R'$	ISO 140-4:—	equation (5)
Weighted apparent sound reduction index, $R'_{45^\circ, w}$	Apparent sound reduction index, $R'_{45^\circ}$	ISO 140-5:—	equation (3)
Weighted apparent sound reduction index, $R'_{tr, s, w}$	Apparent sound reduction index, $R'_{tr, s}$	ISO 140-5:—	equation (4)
Weighted normalized level difference, $D_{n, w}$	Normalized level difference, $D_n$	ISO 140-4:—	equation (3)
Weighted standardized level difference, $D_{nT, w}$	Standardized level difference, $D_{nT}$	ISO 140-4:—	equation (4)
Weighted standardized level difference, $D_{ls, 2m, nT, w}$ or $D_{tr, 2m, nT, w}$	Standardized level difference, $D_{ls, 2m, nT}$ or $D_{tr, 2m, nT}$	ISO 140-5:—	equation (7)

FONTE: ISO 717-1 (1996)