

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE SALAS DE AULA DE DIMENSÕES
REDUZIDAS ATRAVÉS DA TÉCNICA IMPULSIVA

Nádia Freire Oliveira

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Stelamaris Rolla Bertoli

Dissertação de mestrado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção.

Campinas, SP

2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

OL4a	<p>Oliveira, Nádía Freire Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva / Nádía Freire Oliveira.--Campinas, SP: [s.n.], 2006.</p> <p>Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.</p> <p>1. Acústica arquitetônica. 2. Salas de aula. 3. Som – Medição. I. Bertoli, Stelamaris Rolla. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.</p>
------	---

Titulo em Inglês: Acoustic assessment of classrooms of reduced dimensions through impulsive technique

Palavras-chave em Inglês: Architectonic acoustic, Classrooms, Impulsive technique

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Dinara Xavier Paixão e Doris C. C. Kantz Kowaltowski

Data da defesa: 22/08/2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE SALAS DE AULA DE DIMENSÕES
REDUZIDAS ATRAVÉS DA TÉCNICA IMPULSIVA**

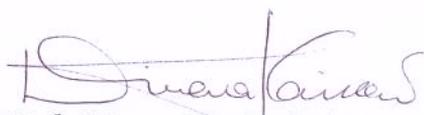
Nádia Freire Oliveira

Dissertação de Mestrado aprovada pela banca examinadora, constituída por:



Prof.^a. Dr.^a. Stelamaris Rolla Bertoli

Presidente e Orientadora/FEC-UNICAMP



Prof.^a. Dr.^a. Dinara Xavier Paixão

UFSM



Prof.^a. Dr.^a. Doris C. C. K. Kowaltowski

FEC-UNICAMP

Campinas, 22 de agosto de 2006

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à arquitetura, que através dela possam ser concebidos espaços que proporcionem bem estar do ser humano, que as intervenções espaciais sejam feitas acima de interesses pessoais, políticos e econômicos, mas visem acima de tudo o homem, sua cultura e as relações sociais, em um mundo que vive em constante mutação.

AGRADECIMENTOS

Agradecer nesta hora é mais que preciso, grandes momentos foram compartilhados com outros. Agradeço à minha orientadora Stelamaris, pela imensa dedicação a essa pesquisa e grande amizade cultivada ao longo deste trabalho. Agradeço aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, que contribuíram para essa pesquisa, em especial: aos técnicos do laboratório Obadias Jr. e Daniel, que auxiliaram nas medidas acústicas das salas de aula; ao Marcio Gomes, pelo conhecimento em técnica impulsiva e à colega Ana Paula. Agradeço aos gerentes e funcionários das escolas de idiomas, que abriram as portas para a concretização desta pesquisa.

De forma especial, agradeço a Deus pelas oportunidades; aos meus pais pelo amor e incentivo incondicional; às minhas irmãs, sempre presentes; ao Marcelo, pelo carinho e apoio em todos os momentos; e a todos aqueles que de alguma forma estiveram ao meu lado. Por fim, agradeço a todos os meus professores: eternos mestres!

OLIVEIRA, Nádía Freire. **Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva**. 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

RESUMO

As atividades desenvolvidas num ambiente definem quais as condições acústicas requeridas para que este apresente um bom desempenho acústico. No caso das salas de aula, para garantir a nitidez dos sons pronunciados, com suficiente intensidade e sem distorções é necessário que o ambiente tenha um bom desempenho acústico, promovendo o aprendizado. Esta preocupação se torna ainda maior quando nos referimos aos espaços destinados ao ensino de uma língua estrangeira. Esta pesquisa se focaliza em avaliar o desempenho acústico de salas de aula de dimensões reduzidas usadas em escolas de idiomas visando a qualidade da inteligibilidade. Primeiramente foi feito um levantamento dos dados arquitetônicos e construtivos das salas de aula selecionados, em seguida foram feitas medidas acústicas através da técnica impulsiva. Os parâmetros medidos foram: nível de pressão sonora por frequência e equivalente para medir o ruído de fundo; tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, definição, para avaliar o efeito das reflexões sonoras nas salas; índice de transmissão da fala, índice rápido de transmissão da fala e porcentagem de consoantes não compreendidas na fala, que avaliam a qualidade da inteligibilidade. Com a realização das medidas acústicas foi feita uma análise e discussão dos resultados encontrados para verificar se atendem às normas para conforto acústico brasileiras e índices recomendados por pesquisas nacionais e internacionais. Nas salas de aulas avaliadas nesta pesquisa não foi encontrada aquela que atendesse a todas as recomendações aceitáveis para conforto acústico, o que compromete a qualidade da inteligibilidade nessas salas de aula.

Palavras-chave: acústica arquitetônica, salas de aula, técnica impulsiva.

OLIVEIRA, Nádía Freire. **Acoustic Assessment of classrooms of reduced dimensions through impulsive technique**. 2006. 127f. Dissertation (Master's degree in Civil Engineering) – Faculty of Civil Engineering, Architecture, and Urbanism, Universidade Estadual de Campinas.

ABSTRACT

The ideal acoustic conditions for an environment depend on the activity developed in it. In case of classrooms, to assure the sharpness of pronounced sounds, with sufficient intensity and without distortions it is necessary that the environment have a good acoustic execution, fostering learning. This preoccupation becomes even bigger when it comes to rooms destined to the teaching of a foreign language. This research focuses on evaluating the acoustic performance of reduced dimensions classrooms used in language schools aiming the quality of intelligibility. First of all, a survey of architectonic and constructive data of selected classrooms was done, and then some acoustic measurements were done through the impulsive technique. The parameters measured were: sound spectrum and global level pressure sound to measure the background noise; reverberation time, early decay time, definition; to evaluate the effect of the sound reflection of the classrooms; speech transmission index, rapid speech transmission index and percentage articulation loss of consonants, that evaluate the quality of intelligibility. With the achievement of acoustic measurement an analysis was done and also an argumentation of the found outcome to verify whether they meet the requirements to Brazilian acoustic comfort and indices recommended by national and international research. In all the classrooms evaluated it was not found that classroom that met all the acceptable recommendations for an acoustic comfort, which implicates the quality of intelligibility in those classrooms.

Keywords: architectonic acoustic, classrooms, impulsive technique

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Limites de freqüência em algumas situações	28
Figura 4.1. Tempos de reverberação na freqüência 500 Hz ideais para salas de diferentes usos em função do volume.....	37
Figura 4.2. Curvas NC.....	40
Figura 4.3. Tipos de paredes divisórias que melhoram a qualidade do isolamento entre ambientes.....	42
Figura 4.4. Nível de interferência da fala (SIL) em relação à distância entre orador e ouvinte ...	44
Figura 5.1. Tipologias e variáveis de projeto para conforto acústico	57
Figura 5.2. Arranjos de portas (a) e (b) são bons arranjos 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	59
Figura 5.3. O som propaga através do forro. As divisórias devem se estender ate o teto estrutural para que funcionem como barreiras sonoras	60
Figura 6.1. Mapa do município de Campinas-SP localizando Barão Geraldo	72
Figura 6.2. Mapa de Barão Geraldo localizando as escolas selecionadas	73
Figura 6.3 – Esquema de montagem do sistema que calcula a resposta impulsiva na sala	75
Figura 7.1. Croquis das escolas selecionadas	80
Figura 7.2. Croquis das escolas selecionadas	81
Figura 7.3. Salas de aula das escolas selecionadas	82
Figura 7.4. Planta da sala de aula da escola E01 localizada na Avenida Romeu Tortima	83
Figura 7.5. Planta da sala de aula da escola E02 localizada na Avenida Romeu Tortima	84
Figura 7.6. Planta da sala de aula da escola E03 localizada na Avenida Romeu Tortima	85
Figura 7.7. Planta da sala de aula da escola E04 localizada na Avenida Romeu Tortima	85

Figura 7.8. Planta da sala de aula da escola E05 localizada na Rua Antonio Augusto de Almeida.....	86
Figura 7.9. Planta da sala de aula da escola E06 localizada na Rua Antonio Augusto de Almeida.....	87
Figura 7.10. Planta da sala de aula da escola E07 localizada na Rua João Batista Antonielli	87
Figura 7.11. Planta da sala de aula da escola E08 localizada na Rua Antonio Augusto de Almeida	88
Figura 7.12. Valores de NC com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado	93
Figura 7.13. Leq em dB(A) para as salas de aula com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado	95
Figura 7.14. Tempos de reverberação em função da frequência	96
Figura 7.15. EDT em função da frequência	99
Figura 7.16. D50 em função da frequência	101
Figura 7.17. STI e RASTI para ar condicionado ou ventilador desligado	103
Figura 7.18. STI e RASTI para ar condicionado ou ventilador ligado	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Pressão, Intensidade e Nível de Pressão Sonora de alguns ruídos	26
Tabela 3.2. Bandas de freqüências centrais de 1/1 oitava em Hertz	27
Tabela 3.3. Bandas de freqüências centrais de 1/3 oitava em Hertz	27
Tabela 3.4. Valores de ponderação A discriminados por freqüência	28
Tabela 3.5. Coeficiente de absorção sonora de alguns materiais de construção em função da freqüência	31
Tabela 3.6. Impressão subjetiva para alguns níveis de ruído	33
Tabela 4.1. Os valores dos níveis de pressão sonora em função da freqüência relativos a cada curva NC	41
Tabela 4.2. Valores de NPS em dB(A) e NC para conforto acústico	41
Tabela 4.3. Valores de STI e RASTI e a qualidade da inteligibilidade	45
Tabela 4.4. Valores de STI, RASTI e %ALCons e a qualidade da inteligibilidade	46
Tabela 4.5. Escala e descrição da qualidade da inteligibilidade	47
Tabela 4.6. Relação entre porcentagem de energia e inteligibilidade de fala	48
Tabela 7.1. Dados arquitetônicos e construtivos das salas de aula das escolas	89
Tabela 7.2. Nível de pressão sonora em bandas de freqüência de 1/1 oitava medido nas salas de aula com ar condicionado ou ventilador desligado	90
Tabela 7.3. Nível de pressão sonora em bandas de freqüência de 1/1 oitava medido nas salas de aula com ar condicionado ou ventilador ligado	91
Tabela 7.4. Valores de NC das salas de aula com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado	92
Tabela 7.5. Valores de Leq medidos em dB(A) para cada sala de aula	94
Tabela 7.6. Tempos de reverberação (segundos) em função da freqüência	97
Tabela 7.7. Valores de EDT em função da freqüência	99
Tabela 7.8. Valores de D50 em função da freqüência	100

Tabela 7.9. Valores de STI fem, STI mas, RASTI e %ALC com ar condicionado ou ventilador desligado	102
Tabela 7.10. Valores de STI feminino, STI masculino, RASTI e %ALC com ar condicionado ou ventilador ligado	104

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas

ASA - *Acoustical Society of América*

ASHA - *American speech-language-hearing Assocation*

ANSI - *American National Standards Institute*

dB - decibéis

dB(A) - decibéis ponderação A

D50 - Definição

EDT - *Early Decay Time* (Tempo de decaimento inicial)

Hz - Hertz

IEC - *Internacional Electrotechnical Commission*

IEC 60268-16 - *Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*

ISO - *Internacional Organization for Standartization*

ISO 3382:1997 - *Acoustics: Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*

Leq - Nível de Pressão Sonora Equivalente

MEC - Ministério da Educação e Cultura

NB - Norma brasileira

NB 101 - Tratamento Acústico em Recintos Fechados

NBR – Norma brasileira

NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico

NBR 10151 - Avaliação do nível de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade

NC – *Noise Criteria* (Critério para ruído)

NPS - Nível de Pressão Sonora

OMS - Organização Mundial de Saúde

RASTI – *Room Acoustics or Rapid Speech Transmission Index* (Índice Rápido de Transmissão da Fala)

SAEB – Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica

SIL - *Speech Intelligibility Language* (Nível de Interferência da Fala)

STI - *Speech Transmission Index* (Índice de Transmissão da Fala)

TR - Tempo de Reverberação

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

%ALCons - *Percentage Articulation Loss of Consoants* (Porcentagem de Consoantes não Compreendidas)

Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Abreviaturas	xi
1. Introdução	17
2. Objetivos	23
2.1. Objetivo geral	23
2.2. Objetivos específicos	23
3. Acústica: conceitos e percepção	25
3.1. Conceitos acústicos	26
3.2. Percepção acústica	32
4. Avaliação acústica de salas	35
4.1. Tempo de reverberação – TR	35
4.2. Tempo de decaimento inicial – EDT	38
4.3. Definição – D50	38
4.4. Espectro sonoro	39
4.5. Classificação de curvas NC (Noise Criteria)	39
4.6. Isolamento aéreo	42
4.7. Nível de interferência da fala (SIL)	43
4.8. Índice de transmissão da fala - STI (Speech transmission index) e RASTI (Room acoustics or rapid Speech transmission index)	44
4.9. Porcentagem de consoantes não compreendidas - %ALCons (Percentage articulation loss of consoants)	45

4.10. Teste de inteligibilidade da fala	46
4.11. Técnica impulsiva	48
5. Conforto acústico de escolas e sala de aula	51
5.1. A acústica e os projetos escolares	53
5.2. Ruído e a sala de aula	62
5.3. A inteligibilidade e a sala de aula	68
6. Materiais e métodos	71
6.1. Objeto de estudo	71
6.2. Equipamentos usados nas medidas acústicas	74
6.3. Medidas acústicas	75
6.4. Análise dos resultados	77
7. Resultados, análise e discussão	79
7.1. Apresentação das escolas	79
7.2. Resultados e análise dos parâmetros acústicos medidos	89
7.2.1. <i>Espectro sonoro</i>	89
7.2.2. <i>Classificação NC</i>	91
7.2.3. Nível de pressão sonora equivalente – Leq	94
7.2.4. <i>Tempo de reverberação – TR</i>	96
7.2.5. <i>Tempo de decaimento inicial – EDT</i>	98
7.2.6. <i>Definição – D50</i>	100
7.2.7. <i>Parâmetros de inteligibilidade</i>	101
8. Considerações finais	107
Referências bibliográficas	111
Bibliografia consultada	119
Apêndice	121
<i>Apêndice A - Planilha das escolas e salas de aula avaliadas</i>	122
<i>Apêndice B - Nível de pressão sonora em bandas de frequência de 1/1 oitava medidos com ar condicionado ou ventilador desligado nos três pontos nas salas de aula nas escolas</i>	130

<i>Apêndice C</i> - Nível de pressão sonora em bandas de frequência de 1/1 oitava medido com ar condicionado ou ventilador ligado nos três pontos nas salas de aula das escolas.....	131
<i>Apêndice D</i> - Nível de pressão sonora em bandas de frequência de 1/1 oitava medido com ar condicionado ou ventilador ligado nos três pontos nas salas de aula das escolas	132
<i>Apêndice E</i> - Tempo de reverberação em função da frequência nos três pontos nas salas de aula das escolas	133
<i>Apêndice F</i> - Tempo de decaimento inicial em função da frequência nos três pontos nas salas de aula das escolas	134
<i>Apêndice G</i> - Definição em função da frequência nos três pontos nas salas de aula das escolas	135
<i>Apêndice H</i> - Índice de transmissão da fala (STI), índice rápido de transmissão da fala (RASTI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%ALC) nos três pontos nas salas de aula das escolas com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado	136

1. INTRODUÇÃO

Um ambiente confortável é essencial para o bem estar e saúde do ser humano. Uma edificação deve proporcionar condições térmicas, acústicas e de luminosidade ideais para garantir a sensação de bem estar ao usuário.

A falta de conhecimento de algumas tecnologias construtivas e o uso inadequado de materiais de construção pode causar um ambiente que não oferece as condições térmicas, luminosas, acústicas, ergonômicas e funcionais ideais. O conforto do ambiente faz parte do projeto, da edificação e da vida de seus usuários, atuando como elemento essencial para garantir a saúde e o bem estar.

O uso de medições para avaliar o conforto acústico nos ambientes vem sendo estudado e aplicado há algumas décadas. Com o desenvolvimento rápido e desordenado das cidades, o ruído ambiental aumentou consideravelmente e passou a afetar diretamente a vida das pessoas. A poluição sonora é um fator preocupante que cresce a cada dia, principalmente devido ao aumento do tráfego de veículos, crescimento das atividades de construção civil e uso de equipamentos ruidosos.

Quanto ao conforto acústico de salas de aula, algumas pesquisas apontam os efeitos nocivos que a acústica inadequada pode causar na saúde dos indivíduos e no processo de aprendizagem. Vallet e Karabiber (2002 apud LOSSO e VIVEIROS, 2002) citam alguns desses efeitos: diminuição da atenção e fadiga mental, atraso no aprendizado para leitura, decréscimo da inteligibilidade do conteúdo das lições e falta de interesse em entender o que está sendo ensinado.

Richter (1962 apud BATISTA e SLAMA, 1998) em sua publicação para o Instituto Brasileiro de Acústica já falava sobre o desconhecimento dos diversos problemas acústicos: “Os

arquitetos sabem que terão problemas acústicos em salas de concertos, cinema, teatro ou auditório. Poucos, entretanto, se apercebem da importância do problema acústico na escola, hospital, edifício de escritórios ou apartamentos. Sem boa acústica, o edifício não pode ser considerado obra de boa qualidade”.

Na acústica arquitetônica trabalha-se com o tratamento acústico, modo pelo qual se procura dar aos ambientes boas condições de clareza e inteligibilidade, de acordo com a atividade desenvolvida. O tratamento engloba isolamento e condicionamento acústicos. O isolamento acústico procura garantir o nível sonoro interno ideal; e o condicionamento acústico trata da distribuição do som no ambiente.

O conhecimento e aplicação dos princípios básicos de acústica arquitetônica podem evitar alguns problemas existentes nas edificações. No caso dos edifícios escolares, podemos citar algumas decisões simples de projeto que favorecem o desempenho acústico: “adaptação do ambiente destinado à sala de aula e auditório para a inteligibilidade da fala, tratando acusticamente e cuidando da forma e dimensões; localização das salas em relação às fontes de ruído exterior e em relação às áreas de recreação; localização das aberturas em relação às fontes; especificação dos materiais dos fechamentos verticais de fachada e entre compartimentos” (BATISTA e SLAMA, 1998). Antes disso, deve-se observar a escolha do local onde a escola vai ser implantada, procurando implantá-la em locais mais distantes de áreas ruidosas.

As condições acústicas ideais para um determinado ambiente dependem das características deste ambiente e das atividades nele desenvolvidas, sendo que no caso das salas de aula, a clareza e inteligibilidade da fala devem ser otimizadas. Deve-se garantir a nitidez dos sons pronunciados, com suficiente intensidade e sem distorções. Ecos e reverberação excessiva, que impeçam a clareza da audição, são aspectos que devem ser analisados cuidadosamente uma vez que a eficiência ou ineficiência acústica destes ambientes interfere diretamente na compreensão, no ensino e na aprendizagem, além de gerarem um grande desgaste físico e psicológico nos alunos e educadores (PAIXÃO e SANTOS, 1995).

O conhecimento transcende a sala de aula, mas esta é o local para o desenvolvimento do processo de aprendizagem. Aprender na sala de aula envolve principalmente a comunicação da

fala entre professores e alunos, e entre alunos. A eficácia desta comunicação, e consequentemente, a eficácia do ambiente de aprendizado é medida também através das condições acústicas da sala. Com boa acústica, aprender fica mais fácil, mais aprofundado, mais contínuo e menos estressante. (LUBMAN e SUTHERLAND, 2001). A palavra é o instrumento que o professor possui para transmitir o conhecimento e o aluno depende de uma boa inteligibilidade para compreender o que está sendo falado.

No caso da avaliação acústica em ambiente escolar, tanto o ruído interno como o externo têm forte influência no rendimento dos alunos. O não tratamento acústico dos ambientes escolares provoca a dificuldade de comunicação entre o professor e o aluno e a falta de privacidade entre classes (BERNARDI, 2001). Schneider (2002) afirma em sua pesquisa sobre problemas que afetam a sala de aula, que uma boa acústica é fundamental para o bom desempenho acadêmico.

Para se garantir uma boa inteligibilidade entre alunos e professores requer-se que certos padrões acústicos estejam ajustados. Dentre eles podem ser citados: “o nível de ruído de fundo, o tempo de reverberação, o tempo de decaimento inicial, o som direto, a fração de energia inicial/final e a razão sinal-ruído” (BRADLEY, 2002). Esses parâmetros basicamente são influenciados pela localização da fonte sonora em relação à sala de aula, pelas propriedades físicas dos materiais empregados nas divisórias, pela geometria interna do ambiente e pelos materiais de revestimento e suas características (LOSSO, VIVEIROS e FIGUEIREDO, 2003).

Nos EUA, de acordo com Erdreich e Moran (1999 apud BERTOLI, 2001), muitas crianças, especialmente aquelas com problemas de audição ou aprendizado, estão enfrentando dificuldades para ouvir seus professores devido às más condições acústicas das salas de aula. Uma proporção alarmante destas salas de aula apresenta valores elevados de tempo de reverberação e ruído de fundo, tornando difícil, até mesmo para alunos que possuem audição normal, entender o que está sendo falado. E geralmente, os problemas são causados por superfícies reflexivas, acabamento do piso inadequado, equipamento de ventilação ruidoso, propagação do som em geral, como através do vento e tráfego de veículos.

A percepção auditiva é importante no desenvolvimento da comunicação humana, uma vez que possibilita a aquisição e o desenvolvimento da linguagem oral. Por esse motivo todo cuidado deve ser tomado, no sentido de observar o adequado desenvolvimento das habilidades auditivas. Nas crianças tais habilidades encontram-se em fase de desenvolvimento, sendo assim, em ambientes silenciosos as chances das crianças desenvolverem fala, linguagem, leitura e escrita podem ser muito maiores do que em ambientes ruidosos (MARTINS et al., 2002).

O objetivo principal desse trabalho é analisar o desempenho acústico de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva. Em geral, para analisar o desempenho acústico de salas são usados os parâmetros de ruído de fundo e tempo de reverberação. O método tradicional para medida de tempo de reverberação baseia-se na medida do decaimento do som no ambiente a partir da interrupção de um sinal sonoro (ruído branco ou rosa) emitido por uma fonte. Um método mais recente para avaliar as propriedades acústicas de uma sala baseia-se no princípio da resposta de um sistema a um impulso sonoro. A técnica impulsiva permite, além do cálculo do tempo de reverberação, o cálculo de outros parâmetros acústicos relacionados à inteligibilidade.

No Brasil, escolas de ensino de outros idiomas, em geral, utilizam salas com essa característica, pois o número de alunos geralmente é bem inferior ao de escolas convencionais. Devido a essa característica dimensional, as escolas de idiomas foram escolhidas como objeto de estudo desta pesquisa. Salas de aulas com dimensões reduzidas usadas em escolas de idiomas têm desempenho acústico adequado?

Aprender uma nova língua pode ser comparado com o desenvolvimento da fala e da linguagem de crianças. A pessoa que inicia o aprendizado de outra língua inicia um novo processo de entendimento e desenvolvimento de fala e escrita diferente daquela que o seu ouvido está acostumado. O aluno precisa ouvir bem para aprender, pois ele estará em contato com pronúncias fonéticas desconhecidas. Por isso é importante que esse novo aprendizado seja realizado em um ambiente livre de ruídos que possam interferir na comunicação verbal e que as características acústicas sejam favoráveis ao bom entendimento da fala.

Algumas escolas de idioma localizadas na região de Barão Geraldo em Campinas-SP foram selecionadas para a pesquisa de campo e nelas serão realizadas medidas de parâmetros relacionados à avaliação acústica de salas. A região foi escolhida pela concentração de escolas de idiomas e por ser uma área urbana ruidosa, devido principalmente ao tráfego de veículos. As escolas estão localizadas em avenidas de tráfego intenso, são vias de ligação interna no bairro e de acesso à Universidade Estadual de Campinas - Unicamp.

Este trabalho foi dividido em três partes: a primeira parte traz uma revisão dos conceitos acústicos e parâmetros da acústica arquitetônica; descreve o problema do desempenho acústico no ambiente escolar e nas salas de aula; e cita pesquisas que vêm sendo realizadas a respeito do assunto (capítulos 3, 4 e 5). A segunda parte (capítulo 6) descreve a metodologia usada na pesquisa de campo feita nas escolas. A terceira parte apresenta os resultados, análise e discussão dos parâmetros acústicos medidos nas salas de aulas das escolas selecionadas e as considerações finais desta pesquisa (capítulos 7 e 8).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Caracterizar o desempenho acústico de salas de aula de dimensões reduzidas usadas em escolas de idioma visando a inteligibilidade da fala.

2.2. Objetivos Específicos

Levantar as características arquitetônicas e construtivas das salas de aula das escolas de idiomas selecionadas em Barão Geraldo, no município de Campinas-SP.

Medir os parâmetros acústicos usados para caracterizar a acústica de salas de aula através da técnica impulsiva.

Analisar o desempenho acústico das salas de aula medidas.

Associar os resultados de desempenho acústicos com as características construtivas das salas.

Buscar solução para os principais problemas acústicos identificados.

3. ACÚSTICA: CONCEITOS E PERCEPÇÃO

De acordo com Nepomuceno (1977), a acústica arquitetônica tem por finalidade o estudo das condições acústicas aceitáveis nas edificações e é também conhecida como acústica das construções já que sua principal finalidade é exatamente orientar acusticamente a construção de edifícios com isolamento acústica entre as diferentes salas. A acústica de ambientes tem por escopo o estudo da forma e tratamento do ambiente, de modo a torná-los acusticamente satisfatórios. A acústica de edificações tem por finalidade o isolamento do barulho, visando o conforto, isolando uma sala da outra e a acústica arquitetônica tem por finalidade melhorar as condições de cada sala considerada, observando a absorção, o layout e os materiais aplicados. Nepomuceno considera o barulho como todo e qualquer som indesejável, e ainda todo e qualquer distúrbio à tranqüilidade, devido a efeitos auditivos. Muitas vezes se usa a palavra ruído para designar o barulho como algo importuno, um mesmo som pode ser ou não um barulho dependendo do ponto de vista sob o qual é observado, sendo assim, classificado de maneira subjetiva.

Em acústica arquitetônica a geometria da sala, a forma e volume, e o tipo de material utilizado na construção e no revestimento são muito importante para um bom desempenho da edificação. A fonte de ruído pode estar tanto do lado de dentro quanto de fora da edificação, por isso alguns fatores acústicos devem ser analisados, como o local da fonte e do receptor. O simples fato de um ambiente ser fechado já provoca alguns fenômenos acústicos, como a reverberação, porque as ondas sonoras encontraram na sua propagação barreiras físicas, o que não acontece em ambientes livres.

3.1. Conceitos Acústicos

A principal razão da diferença entre o som produzido no interior de uma sala e fora dela são as superfícies que o som encontra, refletindo inúmeras vezes entre os vãos das superfícies. As características de uma sala (geometria da sala, volume, e as características de absorção das suas faces e materiais) influenciam extremamente tanto na qualidade do som quanto no seu nível (MEHTA et al., 1999).

A medida mais comum de um sinal sonoro é o Nível de Pressão Sonora (NPS), expresso em dB (decibéis). O decibel expressa a razão logarítmica entre pressão, potência ou intensidade sonora, com a respectiva grandeza de referência. Utiliza-se o nível de pressão sonora no lugar da amplitude real do som em unidades de pressão, porque o seu valor logarítmico representa a forma como o ouvido humano interpreta o som (SEEP et al., 2002). A maioria dos sons está na faixa de nível de pressão 0 a 140 dB, que equivalem a amplitudes de pressão sonora de 2×10^{-5} a 20 Pa. Na tabela 3.1 são apresentados os valores de Pressão, Intensidade e Nível de Pressão Sonora de algumas fontes de ruído.

Tabela 3.1 – Pressão, Intensidade e Nível de Pressão Sonora de alguns ruídos.

Pressão sonora (Pa)	Intensidade sonora (W/m^2)	Nível de pressão sonora (dB)	Fontes de ruído
63,2	10	130	Limiar da dor
20	1	120	Próximo a um avião a jato decolando
2,0	0,01	110	Britadeira
0,02	0,000001	60	Conversa a 1 m
0,0002	0,0000000001	20	Zona rural
0,00002	0,000000000001	0	Limiar da audição

[Fonte: adaptado de MEHTA et al., 1999]

Uma pessoa jovem e saudável é capaz de ouvir sons no intervalo de frequência de aproximadamente 20 a 20.000 Hz (EGAN, 1988). Esse intervalo é dividido em faixas de frequência. As faixas de frequência padronizadas e mais utilizadas são denominadas de bandas de frequência de 1/1 oitava ou 1/3 de oitava. Sons de alta frequência (> 2.000 Hz) geralmente

incomodam mais que sons de média ou baixa frequência porque o ouvido humano é menos sensível pra sons de baixa frequência. A tabela 3.2 indica as frequências centrais (Hz) de bandas de 1/1 oitava e a tabela 3.3 mostra as frequências centrais (Hz) de bandas de 1/3 de oitava (EGAN, 1988).

Tabela 3.2 – Bandas de frequências centrais de 1/1 oitava em Hertz.

Bandas de frequências centrais de 1/1 oitava (Hz)							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

[Fonte: MEHTA et al., 1999]

Tabela 3.3 – Bandas de frequências centrais de 1/3 oitava em Hertz.

Bandas de frequências centrais de 1/3 oitava (Hz)		
50	63	80
100	125	160
200	250	315
400	500	630
800	1000	1250
1600	2000	2500
3150	4000	5000
6300	8000	10000

[Fonte: MEHTA et al., 1999]

A figura 3.1 foi extraída de Mehta et al. (1999) e mostra os limites de frequências para alguns tipos de som. O limite de frequência da fala humana se estende próximo de 100 Hz até 5 KHz, cobrindo mais ou menos 5 oitavas. Aproximadamente 75% da energia sonora da fala é composta por vogais, que são os componentes de baixa frequência da fala. É este som nas vogais que distinguem a fala de um indivíduo. As consoantes são componentes de alta frequência da fala. A energia contida nas consoantes é relativamente pequena, mas são as consoantes que determinam a inteligibilidade da fala humana. Frequências abaixo de 500 Hz contribuem insignificadamente para a inteligibilidade da fala.

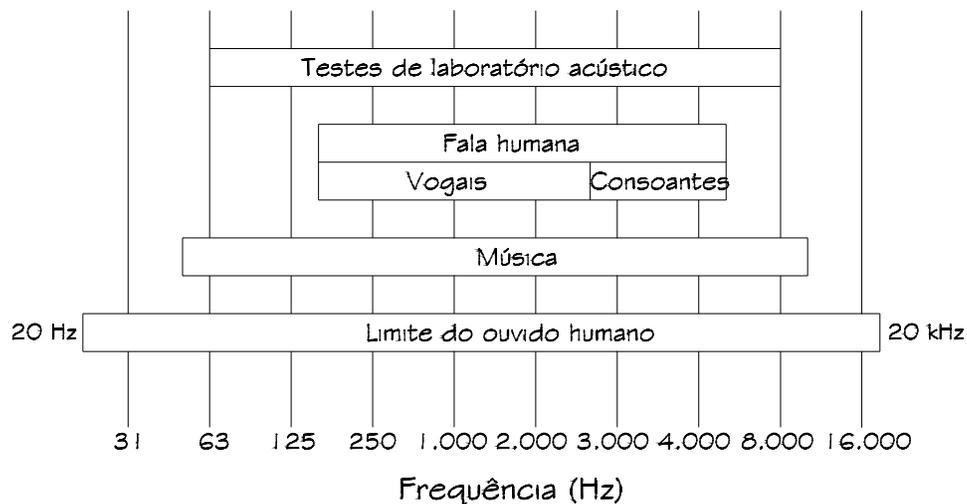


Figura 3.1 – Limites de frequência em algumas situações.

[Fonte: adaptado de MEHTA et al., 1999]

A percepção humana ao som acontece de forma diferente quanto à frequência, em frequências mais baixas a percepção é menor. Assim foi criado um ajuste de medida do nível de pressão sonora variando em função da frequência. Esse ajuste é feito de forma diferente para cada frequência, pois indicam a percepção real do ouvido humano, é o que chamamos de ponderação-A. Proceder a medida na escala A exprime os sons e ruídos que chegam ao ouvido humano mais efetivamente. A ponderação-A reduz o nível de som em baixas frequências para simular as variações de sensibilidade do ouvido em frequências distintas. Quando o nível de pressão sonora é medido nos valores de ponderação-A é indicado na nomenclatura dB(A), que é a forma de diferenciá-lo do nível não ponderado em dB. A tabela 3.4 mostra os valores de ponderação de acordo com a frequência.

Tabela 3.4 – Valores de ponderação A discriminados por frequência.

	Frequências centrais de bandas de oitavas (Hz)								
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ponderação-A	-40	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1

[Fonte: adaptado SEEP et al., 2002]

As ondas sonoras se propagam a partir de uma fonte, sendo refletida através das paredes, barreiras e móveis. O resultado do campo sonoro na posição do receptor é composto de duas partes: campo direto e campo reverberante. O campo direto é aquele onde o som que propaga diretamente através da fonte para a posição do receptor é predominante. Sua amplitude diminui com o aumento da distância da fonte como no campo livre. O campo reverberante é campo composto predominantemente por sons que chegam a posição do receptor depois de ter refletido através das paredes ou componentes do ambiente (BERANEK, 1992).

Logo que o som é produzido, ele se propaga no espaço em várias direções e incide sobre as paredes, refletindo inúmeras vezes. Em cada reflexão, alguma energia da onda sonora é perdida por absorção, reduzindo sua intensidade. Estas reflexões caracterizam uma sala e podem ser desejáveis ou prejudiciais de acordo com o tempo que duram no ambiente e do tipo de uso deste ambiente (MEHTA et al., 1999).

Se uma fonte de ruído é operada continuamente em uma sala, somente a absorção nas paredes e no ar permitirá um estado estacionário do nível de pressão sonora dentro da sala. Nesta condição a energia emitida pela fonte é igual a energia absorvida pelas paredes e ar. Para salas pequenas a absorção do ar é negligenciada, especialmente em baixas frequências. O nível de pressão sonora e seu crescimento até o estado estacionário dentro de uma sala são controlados pela absorção das paredes. Quando a energia absorvida é grande, leva-se mais tempo para atingir o estado estacionário; e se a energia absorvida é pequena esse tempo será menor (GERGES, 2000).

Para Kinsler et al. (1982), salas onde a absorção é pequena são conhecidas como salas vivas ou reverberantes. Quando uma fonte de ruído é ligada numa sala viva, as reflexões das paredes produzem uma distribuição do ruído que se torna cada vez mais uniforme com o aumento do tempo. Finalmente, exceto próximo da fonte ou das superfícies de absorção, a distribuição de energia pode ser considerada completamente uniforme e ter essencialmente uma distribuição aleatória de fluxo de energia.

Segundo De Marco (1982), o som reverberante incide de três modos em recintos fechados:

“a) como absorção dos diferentes materiais é seletiva com relação à frequência, o espectro do som reverberante não coincide com o do som direto;

b) uma vez que os materiais absorventes não serão distribuídos homoganeamente no recinto, por exemplo, estão concentrados nas paredes, a distribuição espacial do som não é homogênea;

c) o som reverberante persiste um certo tempo no local, depois da fonte deixar de emitir o sinal sonoro. Esta é a característica mais importante do ponto de vista do arquiteto, pois se a reverberação persiste muito tempo depois da extinção do som direto, isso irá afetar a clara percepção do som e a inteligibilidade de um discurso”.

A capacidade de uma superfície de absorver a energia do som incidente é caracterizada através do coeficiente de absorção sonora do material. A fração de energia incidente na superfície que é absorvida durante a reflexão varia de acordo com a frequência. Assim o coeficiente de absorção sonora do material terá valores diferentes para frequências distintas. Normalmente o coeficiente de absorção sonora é medido em bandas de frequência de 1/1 oitava ou 1/3 de oitava. (BERANEK, 1992; EGAN, 1988). Podendo variar de 0 a 1.0. Materiais com coeficiente de absorção sonora maiores que 0,50 são conhecidos como absorvedores sonoros, aqueles materiais com coeficientes menores que 0,20 são refletores sonoros. A tabela 3.5 mostra o coeficiente de absorção sonora de alguns materiais em função da frequência.

Tabela 3.5 – Coeficiente de absorção sonora de alguns materiais em função da frequência.

Materiais	Coeficientes de absorção sonora em bandas de frequências 1/1 oitava					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Forro de lã de vidro	0,70	0,85	0,75	0,85	0,90	0,90
Painel de lã de vidro de 2 polegadas para paredes	0,70	0,85	0,75	0,85	0,90	0,90
Bloco de concreto pintado	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Placa de gesso	0,25	0,15	0,08	0,06	0,04	0,04
Parede ou teto de argamassa	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03
Piso de linóleo ou ladrilho	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Carpete fino sobre concreto	0,05	0,10	0,25	0,30	0,35	0,40
Porta de madeira	0,15	0,11	0,09	0,07	0,06	0,06
Vidro	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04

[Fonte: adaptado EGAN, 1988]

O isolamento acústico, segundo Paya (1994 apud ROSA, 2003) consiste em impedir que os sons se propaguem de um lado para o outro de uma divisória, ou pelo menos, que ao transmitir percam a maior parte da sua intensidade. O tratamento ou correção acústica refere-se a melhoria da audição do som que nos interessam. Além de aumentar os ruídos devido a mecanização do ambiente, com a adoção muito generalizada do concreto armado, os edifícios passaram a constituir verdadeiros conjuntos monolíticos por onde se propagam com maior facilidade todos os tipos de vibrações. De outro lado, ao serem geralmente muito reduzidas as espessuras das paredes, estas formam uma proteção pouco eficaz contra os ruídos do exterior.

Um fato importante é que as autoridades médicas de todo o mundo reconhecem que as doenças nervosas vêm aumentando nos últimos anos e não vacilam em atribuir grande parte deste aumento à influência da interferência do ruído nos ambientes. Segundo Paya (1994 apud ROSA, 2003), numerosas experiências têm demonstrado que o rendimento de um indivíduo, que exerce uma atividade ou trabalho no meio de ruído intenso, diminui em grandes proporções, tanto em quantidade quanto em qualidade.

3.2. Percepção Acústica

No corpo humano, o ouvido é o sensor responsável pela percepção acústica. Sua exposição a níveis de pressão sonora elevados por um longo espaço de tempo pode causar perdas irreparáveis.

Ruído e som não são sinônimos. Um ruído é apenas um tipo de som, mas um som não é necessariamente um ruído. O conceito de ruído é associado a som desagradável e indesejável. Som é definido como variação da pressão atmosférica dentro dos limites de amplitude e banda de frequência (GERGES, 2000).

De acordo com Russo (1999 apud MARTINS et al., 2002), o ruído é caracterizado como o sinal acústico aperiódico, originado da superposição de vários movimentos de vibração com diferentes frequências, que não estabelecem relação entre si.

Em arquitetura, deve-se observar a influência do ruído no interior da edificação na medida em que este estiver afetando os indivíduos que trabalham ou vivem em locais ruidosos. O ruído pode afetar o homem de várias formas: pode ser tão forte que cause dano imediato ao ouvido; pode ser forte para causar dano permanente ao ouvido. Se uma pessoa estiver exposta ao ruído por um tempo prolongado, pode ser suficientemente forte para interferir na audição de uma música ou de um texto lido, ou simplesmente, pode ser perturbador (DE MARCO, 1982).

Segundo Beranek (1992), os problemas causados devido à exposição ao ruído por usuários de ambientes ruidosos incluem: perda temporária ou permanente de audição em trabalhadores de fábricas; comunicação verbal pobre em salas de conferências; incapacidade de concentração em salas de aula ou bibliotecas; e inadequado isolamento de fala em escritórios panorâmicos. Para modificar campos sonoros e melhorar as condições acústicas o projetista deve entender as relações entre as fontes sonoras, a sala e seus componentes, e as características do campo sonoro do ambiente. A tabela 3.6 mostra relação entre a impressão subjetiva e nível de pressão sonora.

Tabela 3.6 – Impressão subjetiva para alguns níveis de ruído.

Nível de pressão sonora (dB)	Impressão subjetiva
100 - 120	Suportável por breve instante
85 - 100	Ruídos penosos
70 - 85	Suportável, mas ruidoso
45 - 65	Ruídos normais
25 - 45	Silencioso
Inferior a 25	Muito silencioso

[Fonte: adaptado de LAVILLE, 1977 apud ROSA, 2003]

O ruído de fundo é o ruído ambiental gerado por fontes que não sejam a fonte de objeto de estudo. O ruído de fundo não deve mascarar o sinal de interesse (GERGES, 2000).

O ruído de fundo pode ter origem interna ou externa à edificação. A transmissão de ruído para o interior dos ambientes pode ser feita através do ar e da estrutura da edificação. O ruído interno em salas geralmente é oriundo de ventiladores, ar condicionado e outros equipamentos. Grande parte do ruído externo vem de fontes como: o ruído de tráfego de veículos e atividades de construção civil. O ruído externo pode passar pela edificação através de paredes, aberturas, portas e janelas que compõem o envelope.

Para Seep et al. (2002), em décadas recentes, a necessidade de diminuir os custos da construção civil levou ao uso de paredes finas com materiais leves, que oferecem uma redução mínima de ruídos. Por exemplo, em escolas o ruído de salas adjacentes interrompe o processo de aprendizagem, especialmente durante os períodos que necessitam de maior tranquilidade, como durante as leituras e aplicação de provas.

Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde), a poluição sonora é a terceira forma de poluição mais grave que afeta o meio ambiente (SEEP et al.,2002) e dificilmente pode ser controlada. Deve ser uma preocupação contínua de arquitetos e engenheiros que as edificações tenham um bom isolamento acústico, principalmente quando inseridas em locais onde são desenvolvidas atividades ruidosas nas proximidades.

O ambiente ruidoso acarreta danos à saúde e ao desempenho das atividades humanas. Fadiga, perda da concentração, nervosismo, reações ao estresse, ansiedade, falta de memória,

baixa produtividade, cansaço, irritação, problemas com as relações humanas, interferência na comunicação, dificuldade de aprendizagem são alguns prejuízos identificados por Lazarus (1998 apud ENIZA e GARAVELLIA, 2003).

4. AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE SALAS

Para avaliar o desempenho acústico de uma sala existem vários parâmetros que podem ser usados, não existindo uma norma que exija determinados tipos de medidas que devam ser realizadas. Existem alguns parâmetros que analisam o comportamento do som no ambiente através das características físicas da sala e medidas feitas no local, como o tempo de reverberação e o ruído de fundo. A qualidade acústica também pode ser avaliada de forma subjetiva, como por exemplo, a aplicação de questionários em usuários e testes de inteligibilidade. A análise conjunta dos resultados que irão caracterizar a qualidade acústica da sala.

Dentre os parâmetros existentes para analisar o desempenho acústico das salas estão: medida do espectro sonoro em dB e do nível de pressão sonora em dB(A) para caracterizar o ruído de fundo, classificação segundo as curvas NC, tempo de reverberação e tempo de decaimento inicial, definição, isolamento aéreo entre ambientes, nível de interferência do ruído na fala, qualidade da inteligibilidade, que serão apresentados neste capítulo.

4.1. Tempo de Reverberação - TR

O tempo de reverberação é o tempo que o som leva para decair 60 dB após cessada a fonte sonora. Este é certamente um dos critérios mais importantes para analisar uma sala. O som não morre no mesmo instante em que é produzido, mas continua sendo ouvido por alguns instantes por causa da sua reflexão (SMITH, PETERS E OWEN, 1996; MEHTA et al., 1999; GERGES, 2000).

Sabine (1964 apud MEHTA et al. 1999) obteve a relação entre tempo de reverberação e os parâmetros geométricos da sala. A equação de Sabine (equação 1) indica que o cálculo do tempo de reverberação (TR) é função somente de dois parâmetros: a absorção (A) e o volume da sala (V). A absorção da sala é determinada através do tipo materiais que a compõe e seus respectivos coeficientes de absorção sonora (α).

$$TR = \frac{0.16 V}{A_n}, s \quad (1)$$

onde,

V = volume da sala (m^3),

A = $\Sigma \alpha_n \cdot S_n$, absorção total na sala.

A equação de Sabine possui limitações, como em salas muito grandes e pouco reflexivas, onde a média dos coeficientes de absorção dos materiais é superior a 0,2. Para essas situações outras equações foram desenvolvidas e devem ser usadas, como por exemplo, a Equação de Eyring (equação 2).

$$TR = \frac{0.16 V}{-S \ln (1-\alpha)}, s \quad (2)$$

onde,

V = volume da sala (m^3),

S = área total das superfícies dos materiais (m^2),

α = média dos coeficientes de absorção.

A figura 4.1 mostra os valores de tempo de reverberação ideais em função do volume e do uso das salas avaliados na frequência de 500 Hz.

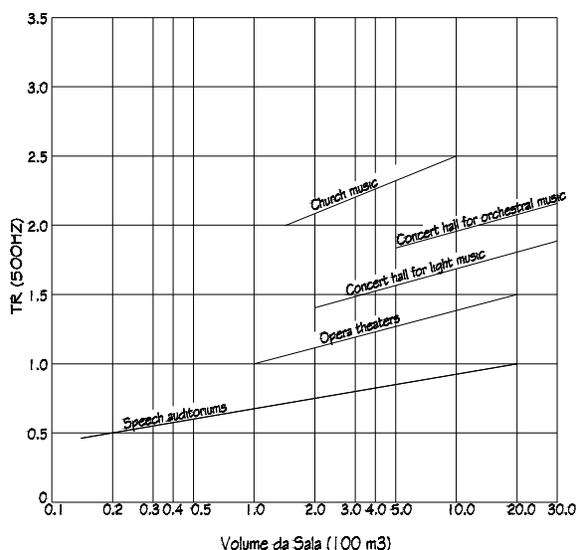


Figura 4.1 – Tempos de reverberação na frequência 500 Hz ideais para salas de diferentes usos em função do volume.

[Fonte: MEHTA et al., 1999]

Para medir o Tempo de Reverberação em uma sala são utilizados equipamentos específicos. Primeiramente gera-se um sinal sonoro, que deve ser amplificado até que preencha toda a sala. Em seguida o sinal é cortado e é medido quanto tempo o som leva para cair 60 dB. O tempo de reverberação é medido geralmente em função da frequência em bandas de 1/1 oitava.

Existe uma norma brasileira a NB 101 - Tratamento Acústico em Recintos Fechados da ABNT, que tem como objetivo estabelecer o tratamento e o condicionamento acústico dos ambientes. Segundo a norma, o tratamento acústico é o modo pelo qual se procura dar aos ambientes boas condições de clareza e inteligibilidade, de acordo com as atividades desenvolvidas em cada um deles. E o condicionamento acústico é o modo onde se procura garantir a boa distribuição do som e também o seu tempo ótimo de reverberação (ABNT, 1988). A norma traz uma figura semelhante ao modelo daquela apresentada na figura 4.1, que mostra os valores de tempo ótimo de reverberação de acordo com o volume do ambiente e da atividade nele

desenvolvida. A indicação na norma que mais se assemelha a sala de aula é o auditório para palavra falada.

No Brasil não existe recomendação sobre o tempo de reverberação ideal para salas de aula (BERTOLI, 2001). Segundo Seep et al. (2002) tempo de reverberação longo é uma deficiência comum de salas de aula. Idealmente, elas devem ter tempos de reverberação entre 0,4 e 0,6 segundos.

4.2. Tempo de Decaimento Inicial - EDT (Early Decay Time)

O tempo associado com a primeira parte do decaimento sonoro (10 dB) após cessada a fonte sonora é chamado de tempo de decaimento inicial ou EDT (Early Decay Time). O EDT é definido como o tempo que a energia sonora leva para decair 10 dB. O valor de EDT é multiplicado por 6 para que possa ser comparado com o tempo reverberação (MEHTA et al., 1999). Assim os valores medidos de EDT devem ter seus valores semelhantes àqueles encontrados para o tempo de reverberação. Os valores de EDT são medidos em segundos assim como o TR.

4.3. Definição - D50

Definição é a razão entre a energia que chega ao receptor nos primeiros 50 milisegundos pela taxa de decaimento sonoro total. Essa energia concentrada nos primeiros 50 ms que chega ao ouvinte ajuda a reforçar a voz do orador. A definição é representada por D50 e seus valores variam entre 0 a 1 ou pode ser representado em porcentagem de 0 a 100%. As reflexões que chegam ao ouvido do ouvinte nos primeiros 50 ms são integradas com o som direto amplificando o seu nível e melhorando a inteligibilidade da fala, mas as reflexões as quais chegam depois do período de integração mascaram o som da fala seguinte. (SALA e VILJANEN, 1995).

Existem poucas pesquisas sobre o parâmetro de definição em estudos sobre salas de aula, está parâmetro é avaliado com frequência em grandes auditórios e salas para música. A única indicação de D50 para salas visando a palavra falada, foi citada por Ribeiro (2002), onde o valor de D50 deve ser maior ou igual a 0,65, em todas as frequências.

4.4. Espectro Sonoro

Em grande parte dos estudos sobre conforto acústico, o ruído de fundo no ambiente é avaliado pelo nível de pressão sonora equivalente medido em dB(A). Esta é uma medida global que não fornece informações sobre a distribuição do nível de pressão sonora por frequência (GERGES, 2000). Porém, sabe-se que existem diferenças na percepção do ruído pelo ouvido em frequências diferentes. Desta forma, a medida do ruído de fundo em função da frequência é uma medida importante para conhecer melhor o comportamento do som no ambiente medido. Esta medida é chamada espectro sonoro, medido em dB.

4.5. Classificação de Curvas NC (Noise Criteria)

Após vários estudos, foi desenvolvido um critério que avalia o ruído de fundo de um ambiente através de um único número, são as chamadas curvas NC (critério de ruído). As curvas NC são conjuntos de níveis de pressão sonora pré-determinados em função de frequências em bandas de 1/1 oitava que podem ser comparados com os níveis de pressão sonora medidos no ambiente. A classificação do NC de um ambiente é determinada pelo valor que superpõe todos os valores medidos no ambiente pela curva padrão (GERGES, 2000). A figura 4.2 mostra o gráfico de curvas NC e os valores dos níveis de pressão sonora em função da frequência relativos a cada curva são apresentados na tabela 4.1.

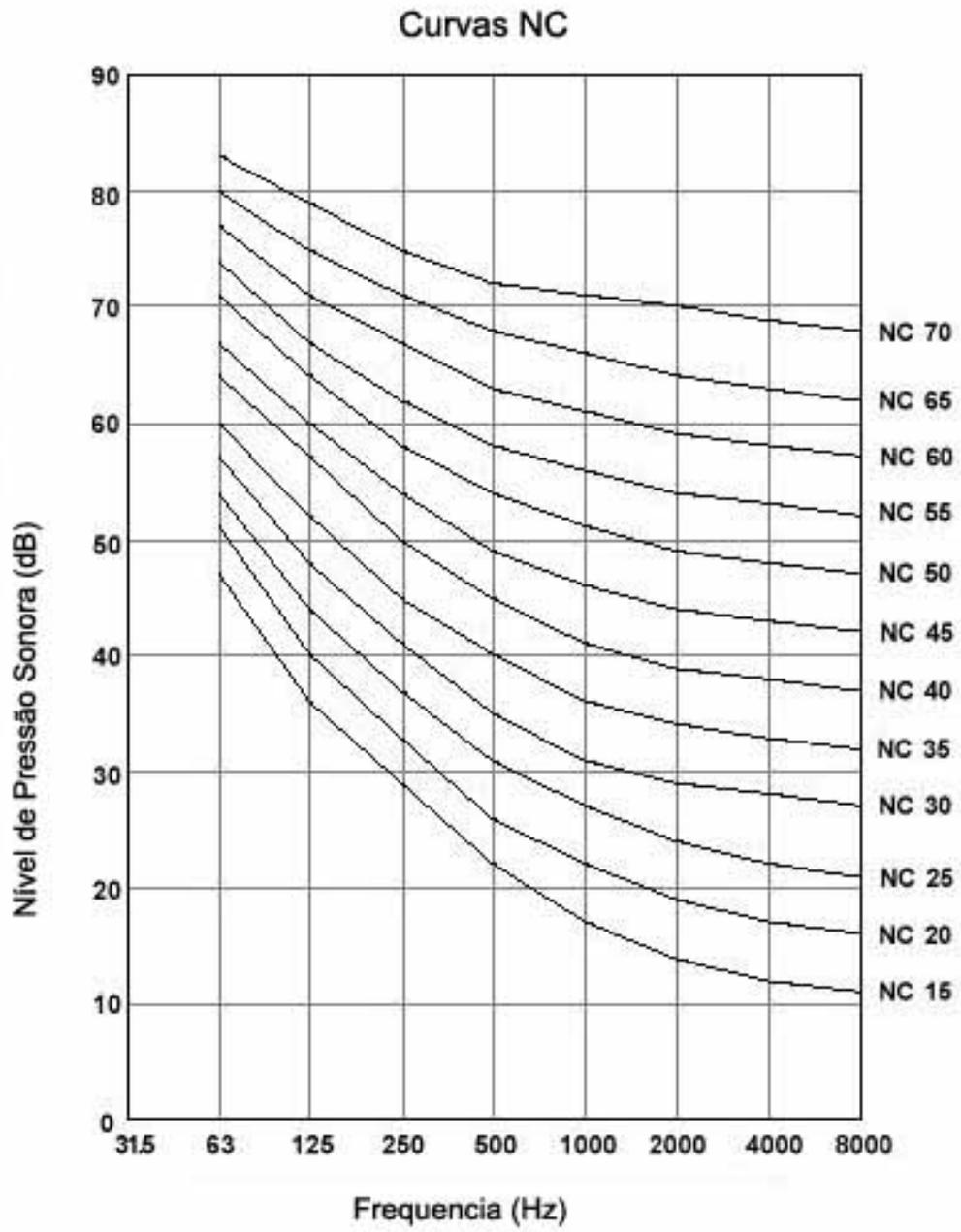


Figura 4.2 – Curvas NC

[Fonte: MEHTA et al., 1999]

Tabela 4.1 – Os valores dos níveis de pressão sonora em função da frequência relativos a cada curva NC.

NC	Frequência (Hz)							
	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
NC- 15	47	36	29	22	17	14	12	11
NC- 20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC- 25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC- 30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC- 35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC- 40	64	56	50	45	41	39	38	37
NC- 45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC- 50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC- 55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC- 60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC- 65	80	75	71	68	66	64	63	62
NC- 70	83	79	75	73	71	69	68	67

[Fonte: MEHTA et al., 1999]

No Brasil, existe uma norma que fixa os níveis de ruído de fundo compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos, é a NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico, da ABNT. Essa norma utiliza o parâmetro NC para indicar os valores de nível de ruído de fundo ideais para determinados ambientes através de uma tabela, que mostra também os valores de nível de pressão sonora medidos em dB(A). A tabela possui valores que variam em uma faixa de nível de pressão sonora, onde o valor inferior representa o nível sonoro para conforto desejável, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para ruído de fundo. Níveis superiores aos estabelecidos pela norma são considerados de desconforto, sem necessariamente provocar danos à saúde (ABNT, 1987).

Na tabela 4.2 são apresentados os níveis de pressão sonora em dB(A) e os valores de NC recomendados pela norma NBR 10152 para escolas.

Tabela 4.2 – Valores de NPS em dB(A) e NC para conforto acústico

Locais - escolas	dB(A)	NC
Bibliotecas, salas de música, salas de desenho	35 – 45	30 – 40
Salas de aula, laboratórios	40 – 50	35 - 45
Circulação	45 – 55	40 - 50

[Fonte: adaptado da NBR 10152, 1987]

4.6. Isolamento Aéreo

O nível de ruído de uma sala depende fortemente da interferência dos ruídos provenientes de ambientes contíguos, assim o isolamento aéreo tem uma importância fundamental no desempenho acústico de um ambiente, pois o som é transmitido de um lado para o outro. O valor adequado do isolamento depende do uso e do valor de nível de ruído de fundo desejável no interior da sala estudada.

Na figura 4.3 são mostrados alguns tipos de divisórias que podem ser utilizadas para melhorar o isolamento entre os ambientes contíguos. A divisória de número um é composta por duas lâminas com uma camada estreita de ar entre elas, não possui um bom desempenho em relação ao isolamento acústico. A divisória dois apresenta duas lâminas duplas com uma camada de lã de vidro entre elas, seu desempenho é melhor do que a primeira, sendo indicada para o uso em salas de aulas. A terceira divisória apresentada na figura possui as mesmas características da anterior acrescida de uma camada de ar junto à de lã de vidro, assim possui o melhor resultado para isolamento acústico, sendo indicada quando se deseja separar ambientes muito ruidosos.

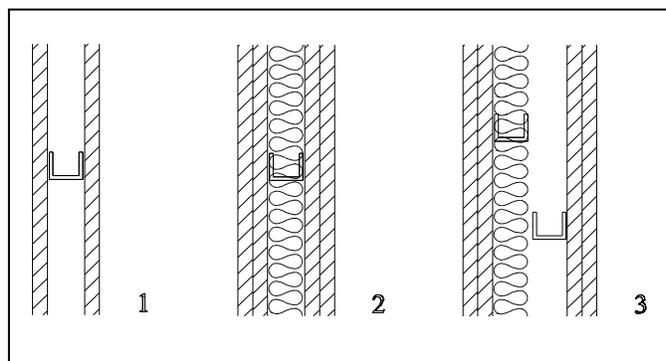


Figura 4.3 – Tipos de paredes divisórias que melhoram a qualidade do isolamento entre ambientes (1- pobre, geralmente não aceita; 2- melhor, boa para ser usada entre salas de aula; 3- a melhor, ideal para locais muito ruidosos).

[Fonte: adaptado de SEEP et al., 2002]

O parâmetro de isolamento utilizado entre salas é o R' que pode ser obtido através da fórmula mostrada na equação 2. Para determinar o isolamento aéreo de uma sala deve-se conhecer o volume da sala (V) e a área da parede que separa a sala da fonte da sala receptora (S). Em geral, o procedimento da medida do isolamento depende de quatro tipos de medidas: nível de pressão sonora da sala onde a fonte está localizada ($L1$), medida do nível de pressão sonora da sala receptora ($L2$), medida do tempo de reverberação da sala receptora ($T2$) e nível do ruído de fundo da sala receptora ($B2$). Essas medidas são obtidas através do uso de equipamentos específicos e seus valores são medidos em função da frequência.

$$R' = L1 - L2 + 10 \log \frac{S.T2}{0,16.V}, \text{ dB} \quad (2)$$

O isolamento aéreo também é medido em função de faixas de frequência, assim como o tempo de reverberação e o nível de pressão sonora. Pode-se associar esse conjunto de números e determinar um único valor denominado índice de isolamento R'_w , que corresponde ao isolamento que separa os ambientes estudados.

4.7. Nível de Interferência da Fala - SIL (Speech Intelligibility Level)

A comunicação entre as pessoas é um fator muito importante quando se trata de acústica de salas, principalmente se tratando de salas de aula. A fala deve ser clara, por isso existe uma relação entre o nível de pressão sonora e distância entre orador e ouvinte para que a comunicação seja bem entendida.

Um dos parâmetros que podemos utilizar para verificar a inteligibilidade da fala de acordo a relação do nível de pressão e a distância que o ouvinte se encontra do orador é o SIL, ou seja, nível de interferência da fala. O SIL indica o tom de fala para que a comunicação seja entendida.

Para determinar o SIL é feita a média aritmética do nível de pressão sonora nas faixas de frequência de bandas de 1/1 oitava usando apenas as faixas centrais: 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz. O valor encontrado desta média aritmética é colocado em um gráfico e em função da distância entre orador-ouvinte. De acordo com esse gráfico podemos saber o tom de fala para que a comunicação seja entendida.

A figura 4.4 mostra o gráfico que relaciona o SIL e a distância entre orador-ouvinte e o tom da fala para que esta seja entendida.

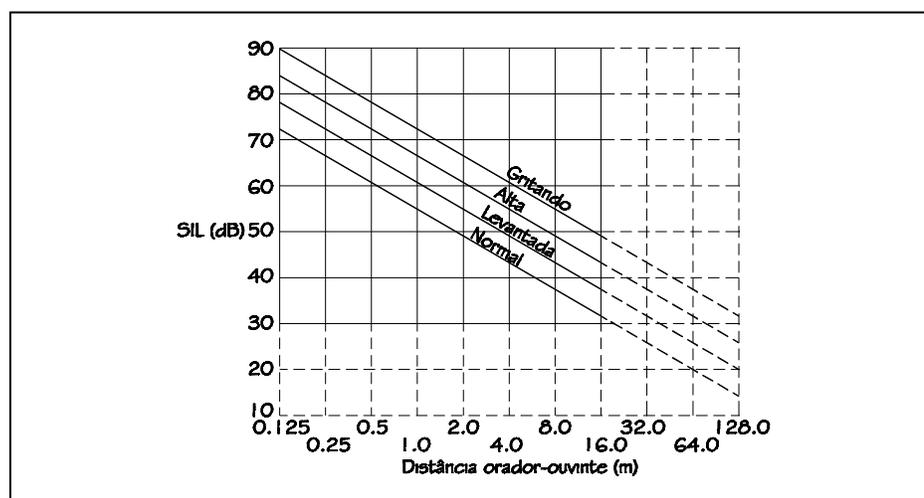


Figura 4.4 – Nível de interferência da fala (SIL) em relação à distância entre orador e ouvinte.

[Fonte: adaptada de MEHTA et al., 1999]

4.8. Índice de Transmissão da Fala - STI (Speech Transmission Index) e RASTI (Room Acoustics or Rapid Speech Transmission Index)

O índice de transmissão da fala (STI) foi proposto como um dos parâmetros para medida objetiva, sendo que representa a qualidade da transmissão da fala a respeito da inteligibilidade (IEC, 2003). O STI é baseado na função de transferência de modulação de frequência e considera os efeitos da reverberação e interferência do ruído de fundo. O sinal transmitido tem a frequência

do ruído rosa e uma modulação de frequências de baixa intensidade. Na redução das medidas da modulação no sinal transmitido é calculado o STI (SALA e VILJANEN, 1995).

Se um número reduzido de bandas de oitava e módulos de frequência são usados no procedimento de medição, o parâmetro é chamado de índice rápido de transmissão da fala ou RASTI. O RASTI constitui uma versão simplificada do método STI, para ser usado com o propósito de filtrar e focar a comunicação direta entre as pessoas sem fazer uso de um sistema de comunicação (IEC, 2003). No método RASTI o sinal é composto de bandas de oitavas centrais de 500 e 2000 Hz e é usado para medir a inteligibilidade em salas onde a comunicação verbal é a atividade mais importante (DIAZ e VELAZQUEZ, 1995; SALA e VILJANEN, 1995). Esses dois parâmetros foram introduzidos por Houtgast e Steeneken (FERNANDEZ et al., 1997).

O índice de STI e RASTI são medidos através de programas de computador específicos e seus valores variam de 0 (ininteligível) a 1,0 (inteligibilidade perfeita) e são representados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Valores de STI e RASTI e a qualidade da inteligibilidade.

STI - RASTI	0 - 0.30	0.30 – 0.45	0.45 – 0.60	0.60 – 0.75	0.75 – 1.00
Inteligibilidade	Ruim	Pobre	Aceitável	Bom	Excelente

[Fonte: adaptado de TISSEYRE, MOULINIER e ROURD, 1998; FERNANDEZ et al., 1997]

4.9. Porcentagem de Consoantes não Compreendidas - %ALCons (Percentage Articulation Loss of Consoants)

Este parâmetro avalia a quantidade de consoantes que serão perdidas ou mal entendidas durante a comunicação verbal. O parâmetro é medido com a influência da distância entre o orador-ouvinte e do tempo de reverberação da sala, considerando o nível de ruído de fundo. Para a determinação do índice são usadas frequências bandas de 1/1 oitavas centrais entre 500 e 2.000 Hz (SIMÕES e OLIVEIRA, 2005).

Este parâmetro foi introduzido por Peutz (1971), que em suas pesquisas notou que perda de consoantes, e não de vogais, que mais reduz a inteligibilidade da fala. A %ALCons expressa a perda de definição de consoantes, valores menores estão associados com qualidade de inteligibilidade melhor. A tabela 4.4 mostra os valores de %ALCons, o STI e a inteligibilidade. O uso deste parâmetro não se estende a todas as línguas, pois depende da composição fonética e da energia sonora das consoantes e vogais na pronúncia da palavra, que pode ser diferentes em línguas que não possuem origem latina, como as línguas inglesas e portuguesas.

Tabela 4.4 – Valores de STI, RASTI e %ALCons e a qualidade da inteligibilidade.

STI - RASTI	0 - 0.30	0.30 – 0.45	0.45 – 0.60	0.60 – 0.75	0.75 – 1.00
Inteligibilidade	Ruim	Pobre	Aceitável	Bom	Excelente
%ALCons	100 – 33	33 - 15	15 - 7	7 - 3	3 - 0

[Fonte: adaptado de TISSEYRE, MOULINIER e ROURD, 1998; FERNANDEZ et al., 1997]

4.10. Teste de inteligibilidade da fala

O termo “inteligibilidade” refere-se à qualidade de percepção de algumas unidades da linguagem (fonemas, palavras, sentenças, etc., dependendo do método), e a porcentagem de unidades compreendidas corretamente nas respectivas unidades faladas é chamada de “índice de inteligibilidade” (TISSEYRE, MOULINIER e ROUARD, 1998).

A inteligibilidade da fala é um parâmetro utilizado para avaliar a percepção correta pelo ouvinte em um discurso. Segundo Diaz e Velazquez (1995), os testes orador-ouvinte são um meio direto de obter a inteligibilidade da fala na sala.

O teste consiste em pronunciar-se uma série de monossílabos representativos do idioma, esta pronúncia pode ser feita através de uma gravação elaborada em local apropriado ou por um orador presente. O ritmo da leitura deve ser uma palavra monossílaba a cada quatro segundos. O resultado de acertos das palavras é a média de porcentagem dos monossílabos entendidos

(ROLLA e BARBOSA, 1993; DIAZ e VELAZQUEZ, 1995). Os alunos devem ser distribuídos homogeneamente na sala de aula e cada estudante deve estar presente em somente uma sala de aula, para evitar que as palavras sejam memorizadas. A altura do orador em relação aos ouvintes, a distância entre orador e ouvinte, a rapidez da leitura, a possibilidade de leitura labial são irrelevantes nos resultados (DIAZ e VELAZQUEZ, 1995).

As palavras devem ser monossílabos sem significados, mas foneticamente balanceados e representativos na língua específica, sendo que os monossílabos devem ser compostos por consoante-vogal-consoante (TJELLESEN e SORENSEN, 2005).

A média dos resultados dos testes de inteligibilidade mostra a porcentagem que indica a inteligibilidade do ambiente. Se a inteligibilidade da fala de uma sala é menor que 90%, devem ser implantados tratamentos acústicos para reduzir a reverberação e/ou melhorar a relação sinal/ruído (SEEP et al., 2002; OITICICA, DUARTE e SILVA, 2003). A tabela 4.5 mostra a escala e descrição da qualidade da inteligibilidade na sala.

Tabela 4.5 – Escala e descrição da qualidade da inteligibilidade.

Qualidade da sala	Descrição da qualidade
Excelente	Percepção muito boa sem qualquer esforço para ouvir
Bom	Percepção boa; compreensão fácil das palavras
Aceitável	Compreensão é difícil; é necessário algum esforço para ouvir
Pobre	O ouvinte apresenta dificuldade para compreender e reconstruir palavras e sentenças
Ruim	Impossível entender, portanto para reconstruir palavras e sentenças (simplesmente regular)

[Fonte: adaptado de TISSEYRE, MOULINIER e ROURD, 1998]

Diversos estudos indicam que a contribuição para a inteligibilidade de fala é específica de determinadas faixas de frequência. Abaixo de 500 Hz, embora 60% da energia aqui se concentre, a contribuição é apenas de 5%; já nas frequências de 500 a 1.000 Hz, tanto a energia quanto a inteligibilidade situam-se em torno de 35%; finalmente, acima de 1.000 Hz, encontramos apenas 5% da energia acústica que será responsável pelo impacto de 60% da inteligibilidade da informação (MILLER e NICELY, 1955 apud RUSSO e BEHLAU, 1993).

A tabela 4.6 mostra a relação entre porcentagem de energia de fala e inteligibilidade, enfatizando a importância das frequências altas.

Tabela 4.6 – Relação entre porcentagem de energia e inteligibilidade de fala.

Faixa de frequência (Hz)	Energia da fala %	Inteligibilidade %
62 – 125	5	1
125 – 250	13	1
250 - 500	42	3
500 – 1.000	35	35
1.000 – 2.000	3	35
2.000 – 4.000	1	13
4.000 – 8.000	1	12

[Fonte: RUSSO e BEHLAU, 1993]

Os resultados obtidos por este método são influenciados pelas características do orador e ouvintes, e um grande número de testes é necessário para encontrar médias seguras. Conseqüentemente, o método é muito lento (DIAZ e VELAZQUEZ, 1995).

4.11. Técnica Impulsiva

Alguns desses parâmetros referente a “Acústica de Salas” podem ser medidos através do método de medição acústica, técnica impulsiva, que tem como característica avaliar o parâmetro acústico segundo a relação fonte e receptor (AMORIM e BERTOLI, 2006).

A resposta impulsiva (domínio do tempo) é um registro de pressão sonora em determinado ponto da sala, feito a partir do momento em que a sala é sonorizada com um impulso (BISTAFA, 2003). Uma resposta impulsiva de um campo sonoro consiste então, no som direto somado a um grande número de reflexões e representa as características da transmissão de uma fonte sonora para um ponto de observação (YAMASAKI, 1992).

Muitos objetos de medição acústica são boas aproximações de sistemas lineares e invariantes no tempo (LIT). Sistemas lineares são, por definição, aqueles nos quais a relação entre o sinal de entrada e o de saída obedecem a uma lei linear. Se essa relação se mantém

constante ao longo do tempo, diz-se que o sistema é Linear e Invariante no Tempo. Se esse sistema é alimentado com um sinal de entrada, representado pela Função Delta de Dirac, um sinal de saída pode ser registrado através da resposta impulsiva (BERTOLI e GOMES, 2005).

Existem alguns equipamentos que medem a resposta impulsiva de uma sala, o programa de avaliação acústica de salas Dirac 3.0, da Brüel & Kjaer é um deles. O Dirac utiliza os parâmetros de acústica de salas de acordo com as normas ISO 3382 e IEC 60268-16 (BRÜEL & KJAER, 2003). Dentre os parâmetros medidos pelo Dirac pode-se citar: tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, definição, índice de transmissão da fala (masculino e feminino), índice rápido de transmissão da fala e porcentagem de consoantes não compreendidas. A utilização do programa Dirac para obter a resposta impulsiva da sala será detalhada no capítulo “Materiais e Métodos”, onde também será explicada a obtenção dos parâmetros medidos.

5. CONFORTO ACÚSTICO DE ESCOLAS E SALAS DE AULA

O ruído ambiental é um fator antigo, que na atualidade, devido ao avanço industrial, crescimento das cidades e evolução dos transportes está sempre presente. Assim, tem-se a necessidade de estudos dos problemas acústicos dos edifícios, com o objetivo de conseguir condições mínimas exigidas em qualidade acústica em seu interior, de acordo com o uso e atividades dos ocupantes (PEDRAZZI et al., 2001).

As edificações escolares devem ser capazes de produzir condições propícias ao desenvolvimento satisfatório das atividades de seus usuários, satisfazendo diferentes necessidades ambientais. Isto é, proteção frente às diferentes condições climáticas sejam elas: temperatura, vento e umidade; garantia de qualidade acústica, proteção de ruídos intrusivos, inteligibilidade do professor pelos alunos; garantia de condições ideais de visão e iluminação, natural ou artificial; proteção contra poluição e qualidade interna do ar; estabilidade estrutural da edificação; salubridade e higiene; segurança, conforto e funcionalidade (KOWALTOWSKI et al., 2001a; LOSSO e VIVEIROS, 2002).

Em salas de aula, a comunicação verbal é propriedade essencial para a transmissão do conhecimento. O sistema da comunicação verbal é composto principalmente de três elementos: o orador, o canal de comunicação e um receptor humano. No sistema de ensino tradicional, o orador é o professor, os receptores são os alunos, e o canal de comunicação é composto particularmente da linguagem usada e da propagação deste sinal, o qual inclui a acústica da sala de aula. Um bom desempenho acústico de uma sala de aula assegura que a comunicação e a troca de informações sejam feitas de maneira eficiente (GERGES et al., 2005).

Um projeto acústico ruim pode comprometer o aprendizado dos estudantes, desde que não seja possível entender claramente o que o professor diz. Este último também pode ser afetado a longo prazo, causando danos no sistema vocal devido ao alto e repetido esforço, resultando em menor capacidade vocal (MEDRADO e TENENBAUM, 2005). De acordo com as pesquisas do Centro Nacional de Voz e Fala em Iowa, nos Estados Unidos, o número de professores com distúrbios vocais fica em torno de 3,1 milhões. No mesmo país, a grande maioria dos pacientes com problemas vocais é composta de professores e conferenciantes (SOTIRIOS e GEORGE, 2005).

Na Europa e nos Estados Unidos, a acústica de salas de aulas e estudos sobre inteligibilidade da fala tem sido realizada desde a década de setenta e tem aumentado no Brasil nos últimos anos (ENIZA e GARAVELLIA, 2003; LOSSO e VIVEIROS, 2002; BERTOLI e NAGEM, 2002).

Dentre as diversas tipologias arquitetônicas, as construções destinadas a edifícios escolares demonstram ser uma das que mais evidenciam a necessidade de uma abordagem de conforto na edificação sob a perspectiva das diversas variáveis ambientais simultaneamente.

No caso das escolas e mais especificamente quando olhamos de perto a sala de aula, a questão acústica tem especial importância, pois é na sala de aula que acontece o processo ensino-aprendizado e é nela que a relação professor-aluno-comunicação verbal se estreita. Desde que falar e ouvir são um dos meios importantes de comunicação no ensino, a projeto acústico de uma sala de aula deve possibilitar a maior inteligibilidade possível entre professores e alunos (SALA e VILJANEN, 1995).

Os parâmetros de conforto específicos dos espaços escolares se referem aos baixos níveis de ruídos para o favorecimento da concentração para trabalho intelectual e boa qualidade sonora para permitir a inteligibilidade da comunicação verbal (TAVARES e CLIMACO, 1999).

A sala de aula é o local que exige um alto nível de concentração por parte de alunos e professores, podendo estes ser influenciados pelas condições ambientais deficientes do recinto.

Podemos citar como sintomas desagradáveis causados pela exposição a ruídos elevados: cansaço, desânimo, saída freqüente da sala, que culminam na perda de concentração e conseqüentemente prejudica o processo de ensino e aprendizagem (PEDRAZZI et al., 2001).

A questão da acústica de salas de aula não deve ser somente vista como um problema na comunicação verbal, onde o enfoque seja apenas o conforto e bem estar de alunos e professores, mas deve ser vista também do ponto de vista patológico, pois no exercício da profissão muitos professores passam por situações inadequadas. Por fazerem um esforço elevado para serem entendidos em sala de aula, muitos professores começam a apresentar problemas nas cordas vocais e pedem afastamento das escolas. Segundo um estudo de Santos e Slama (1993) realizado em escolas no Rio de Janeiro, grande números de professores solicitam afastamento por licença médica, seguido de casos de licença para maternidade, o mais comum são inflamações em cordas vocais, que muitas vezes é resultado de esforço contínuo para fala, e problemas nervosos.

Tem sido mostrado em adultos que níveis sonoros elevados danificam a audição, além de levar a uma série de alterações em sua saúde, tais como: influências sobre os sistemas endócrino e digestivo, insônia, irritabilidade e dores de cabeça (CELANI, BEVILACQUA, RAMOS, 1994).

5.1. A Acústica e os Projetos Escolares

Poucos indivíduos conhecem os efeitos nocivos do ruído urbano e dos altos níveis sonoros sobre a saúde e bem-estar. Um número ainda mais reduzido sabe dos recursos científicos e tecnológicos disponíveis e da importância de exigir condições mínimas de conforto no ambiente de trabalho, de lazer e/ou em sua casa (PAIXÃO, 1997).

As metodologias utilizadas atualmente para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, geralmente, consistem em análise e síntese e em tentativas e erros. Nem sempre proporcionam uma visão geral clara de seus objetivos e muitas vezes não permitem, ou não se preocupam com o

armazenamento das informações referentes às decisões efetuadas (SUH, 1998 apud GRAÇA, 2002).

Durante o processo de elaboração, as condições de conforto ambiental raramente são consideradas como um princípio de projeto, sendo apenas ocasionalmente usadas como uma “receita”, e não como alternativas possíveis para solução de problemas. Estes problemas pode ser resultado de decisões realizadas no início do processo projetivo quando são definidas a forma geral do edifício e sua implantação (GRAÇA, 2002).

Por isso, ao projetar qualquer edificação, o projetista (arquiteto ou engenheiro) deve estar consciente dos problemas e soluções que deve enfrentar para proporcionar um ambiente confortável ao usuário. Torna-se imprescindível um estudo que considere diversas variáveis simultaneamente, procurando integrar os diversos parâmetros ambientais, de forma que o projetista possa contar com dados que garantam a qualidade ambiental em escolas, evitando assim a situação atual de comprometimento em que se encontram muitos prédios escolares (PAMPANA, FARIA, SOUZA, 2003).

Vem sendo discutida nos últimos anos a problemática das salas de aula em relação à baixa qualidade acústica. Este assunto, muitas vezes, é negligenciado por projetos escolares e tem sido questionado quanto às implicações no aprendizado e no rendimento dos alunos. Percebe-se, então, a necessidade de conscientização dos dirigentes ligados diretamente ao setor educacional brasileiro para buscar melhorias do desempenho acústico de ambientes utilizados para a transmissão do conhecimento (OITICICA, DUARTE e SILVA, 2003).

Parte dos problemas acústicos são resultados do desenho das salas, tem-se a tendência de projetar salas grandes, fáceis de limpar e com tetos altos, o que resulta em grandes volumes. Por outro lado, os materiais usados são particularmente rígidos para que suportem menor manutenção por mais tempo. Também se tende a aproveitar a luz natural ao máximo, com grandes janelas de vidro. As escolas freqüentemente estão localizadas em vias importantes de comunicação, com níveis de ruído externo elevados. A associação destes fatores leva a sala de aula com características acústicas deficientes (GUTIÉRREZ e LACORZANA, 2002).

Muitos projetistas têm em mente que soluções acústicas requerem profissionais especializados e possui altos custos. O projeto de conforto acústico é visto como um projeto complementar, que deve ser feito após a conclusão do projeto arquitetônico, porém a grande maioria dos problemas acústicos poderia ser solucionada durante o processo projetivo. Para tal, é necessário no mínimo: conhecer o funcionamento do edifício e os princípios da acústica arquitetônica; identificar as principais fontes de ruído; conhecer os materiais com características de absorção e isolamento e usar a percepção natural do arquiteto (BATISTA e SLAMA, 1998). Podemos citar como exemplo o dimensionamento da sala de aula, este é analisado na maioria das vezes pela quantidade de alunos que deverá abrigar esquecendo que salas com grandes volumes podem causar reverberação alta se não receber materiais adequados.

No Brasil, os projetistas se deparam com outro problema, devido ao nosso clima ser muito quente, o conforto térmico não pode ser deixado de lado, pois ele causa efeitos mais imediatos nos usuários em situação de desconforto. Sendo assim, o arquiteto se vê muitas vezes obrigado a optar pelo favorecimento de um em detrimento de outro, conforme aquele que for mais importante segundo a opinião dele. Em muitas regiões brasileiras, a necessidade de ventilação cruzada nas salas de aula é termicamente um requisito imprescindível. A incompatibilidade destes dois requisitos é notória, pois se para o requisito acústico é necessário manter o elemento de aberturas e janelas fechadas, para o requisito térmico o oposto é verdadeiro (PAMPANA, FARIA e SOUZA, 2003).

Airey (2000 apud LOSSO e VIVEIROS, 2002) em seus estudos constatou que em meses de maior calor o problema do ruído de fundo fica majorado, pois as janelas das salas permanecem mais abertas permitindo, assim, que todo o ruído contido no meio ambiente exterior à sala de aula adentre-se sem qualquer obstáculo. Esse é um exemplo de ruído gerado externamente que, devido à incapacidade de atenuação dos componentes da fachada, influi no ambiente interno. As janelas produzidas no Brasil para isolamento acústico nem sempre são de boa qualidade em relação à vedação total do ruído, o que é necessário para garantir a função proposta. Além das janelas, o sistema construtivo e os materiais também definem a qualidade do isolamento.

É preciso que se reavalie as construções escolares, não só aquelas que foram projetadas para este fim, mas também aquelas que são adaptadas para serem utilizadas como escola, que na maioria das vezes ignoraram os fundamentos básicos de acústica arquitetônica (SANTOS e SLAMA, 1993).

Segundo Kowaltowski et al. (2001b) as falhas decorrentes de problemas acústicos em relação à forma do edifício se relacionam ao posicionamento de ambientes geradores de ruídos nas tipologias estudadas. Muitas escolas estão situadas em vias de tráfego de veículos intensos. A implantação da escola em ruas movimentadas é uma imposição que dificilmente depende do projetista, portanto podemos admitir o seguinte princípio de projeto: a implantação de escolas em locais de grande tráfego deve considerar tratamentos acústicos pertinentes (KOWALTOWSKI et al., 2001b).

Tavares e Climaco (1999) constataram nos seus estudos em escolas no Distrito Federal, Brasil, que apesar das escolas em Brasília estarem situadas em super quadras e afastadas das vias de tráfego intenso, as salas de aulas possuem altos níveis de ruído de fundo devido à tipologia das edificações, que possuem salas de aula voltadas para pátios internos e em alguns casos esses pátios são cobertos elevando ainda mais o nível de ruído. Isso acontece devido às atividades que ocorrem nesses locais, muitas vezes o horário de recreio é diferente para alunos de diferentes idades. Enquanto uns assistem aula, outros brincam ou ainda fazem atividades de educação física, como as salas de aulas estão voltadas para pátios internos, elas recebem todo esse ruído de forma direta.

A Figura 5.1 mostra algumas tipologias elaboradas por Graça (2002) na sua pesquisa sobre otimização do projeto arquitetônico, visando os parâmetros sobre conforto ambiental, as tipologias foram elaboradas considerando a posição de salas de aula em relação às áreas internas com atividade ruidosa próprias da escola (pátio coberto e quadras). De acordo com a pesquisa, as portas das salas estão voltadas para o corredor de circulação e as janelas na parede oposta à porta, nas tipologias de 1 a 7 as salas de aula estão espaçadas das áreas recreativas por áreas descobertas. Na pesquisa as tipologias foram apresentadas a três especialistas em conforto acústico que avaliaram cada uma delas. O resultado da análise mostrou que as tipologias 1 e 3

foram consideradas as mais favoráveis, pois as áreas recreativas ficam mais isoladas das salas de aula; as tipologias 4, 5, 6 e 7 foram consideradas situações intermediárias tendendo ao ruim, pois a área recreativa fica entre os blocos de salas de aula, estando separadas apenas pelo corredor de circulação e uma área estreita descoberta. As tipologias 2 e 8 foram consideradas a pior situação de posicionamento da sala de aula em relação à área recreativa, pois na tipologia 2 as janelas das salas de aula estão voltadas diretamente para a área ruidosa e na tipologia 8 a área é coberta, o que causa aumento no ruído interno (GRAÇA, 2002).

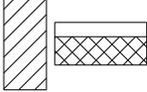
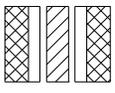
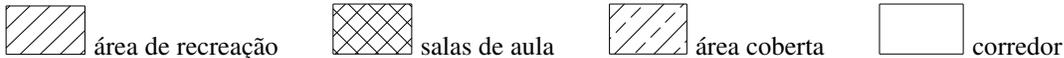
Tipologias de projeto para conforto acústico			
	Área recreativa em frente ao corredor que dá acesso às salas de aula.		Localizada entre os blocos pode ser utilizada para atividades recreativas ou de convivência
	Área recreativa do lado oposto ao corredor que dá acesso às salas de aula		Localizada entre os blocos pode ser utilizada para atividades recreativas ou de convivência
	Área recreativa próxima a um dos cantos do corredor		Localizada entre os blocos pode ser utilizada para atividades recreativas ou de convivência
	Localizada entre os blocos pode ser utilizada para atividades recreativas ou de convivência		Localizada entre os blocos pode ser utilizada para atividades recreativas ou de convivência
			

Figura 5.1 – Tipologias e variáveis de projeto para conforto acústico.

[Fonte: adaptado de GRAÇA, 2002]

O projetista e/ou executor da escola (arquiteto ou engenheiro) não encontra, subsídios onde possa orientar o seu trabalho. Informações interdisciplinares, em especial na área da educação, atividade-fim do prédio, bem como um elenco de características e detalhes ocupacionais que facilitariam o desempenho de professores e alunos não são contemplados em estudos específicos de nenhuma das áreas envolvidas nas construções de prédios escolares (PAIXÃO, 1997).

No Brasil, ainda não existe um guia que oriente arquitetos e engenheiros de como fazer os projetos escolares, o que eles fazem é seguir a própria experiência, o que muitas vezes não é

suficiente por desconhecerem os princípios da acústica arquitetônica. Apesar do conforto ambiental já ter seu espaço nos currículos das escolas de arquitetura, ainda pode-se considerar um assunto pouco explorado pelos arquitetos (BATISTA e SLAMA, 1998). O Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica, não estabelece uma legislação sobre como deverão ser as salas de aulas, apenas apresenta recomendações que são encontradas em alguns manuais de arquitetura, onde a área útil para ambientes de sala de aula deve ser usualmente de 1,2 a 1,5 m² por aluno (SAEB, 2006).

Serra e Biassoni (1993) recomendam uma divulgação de subsídios que possam orientar o projetista de edificações escolares nas tarefas de projeto, como a adoção de recuos mínimos para condições acústicas adequadas, orientação apropriada das aberturas em relação às fontes de ruído, tipo de esquadrias com possibilidade de fechamento adequado e escolha de materiais de acabamento que amenizam as múltiplas reflexões com baixa absorção. A Sociedade Americana de Acústica (ASA -Acoustical Society of America) tem escrito guias sobre como melhorar a audição em ambientes de estudos, enquanto que o Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI - American National Standards Institute) tem preparado padrões universais de acústica para locais de aprendizado. (MIR e ABDON, 2005).

Os avanços da ciência e tecnologia nos permitem a utilização de materiais mais eficazes na construção. A maioria dos problemas de ordem acústica poderia ser solucionada durante o projeto de arquitetura. Para tal, é necessário conhecer os materiais com características de absorção acústica e os materiais com características de isolamento acústico. Nesta fase do projeto é desejável a colaboração estreita entre o engenheiro acústico e o arquiteto (PEDRAZZI et al., 2001).

Para Seep et al. (2002) a principal razão para os problemas acústicos em salas de aula não é a falta de recursos, mas a falta de percepção do problema e suas soluções. Os projetistas de escolas e arquitetos devem iniciar o processo de planejamento com a acústica das salas de aula em mente. O melhor modo de resolver os problemas acústicos é evitá-los, e não corrigi-los. O autor dá algumas dicas de alguns pontos que devem ser observados durante o projeto de construção ou reforma de um edifício de escolas que podem evitar alguns problemas, como por

exemplo: é melhor não colocar portas de salas adjacentes lado a lado, pois isso confere uma pequena trajetória do som entre as salas o que facilita a sua propagação; as portas das salas de aula não devem ser colocadas frente a frente em um corredor, para criar um caminho mais longo para o som; as divisórias entre as salas de aulas devem ser evitadas, quando usadas devem ser colocadas do piso ao teto; os ambientes devem ser setorizados de acordo com o uso, para separar aqueles mais ruidosos dos que exigem maior concentração; o uso de carpetes no piso evita ruídos provocados pelos alunos ao arrastarem suas cadeiras (SEEP et al., 2002). A figura 5.2 mostra os arranjos de localização das portas de salas no corredor.

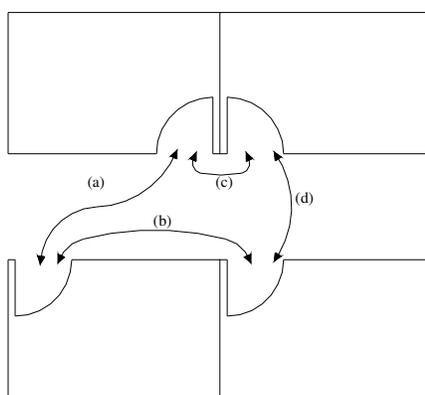


Figura 5.2 - Arranjos de portas (a) e (b) são bons arranjos porque o som percorre uma maior distância ao se propagar de uma sala a outra; os arranjos (c) e (d) são ruins porque a distância entre as salas é pequena.

[Fonte: SEEP et al., 2002]

A figura 5.3 mostra que quando as divisórias entre salas de aula não alcançam o teto o som se propaga através do forro, por isso as divisórias devem ser instaladas do piso ao teto. Um exemplo típico que temos no Brasil de escolas com as divisões entre salas de aula e corredor que não vão até o teto são os Cieps (Centros Integrados de Educação Pública) no Rio de Janeiro, projetadas pelo arquiteto Oscar Niemeyer. Essas escolas são frequentemente avaliadas e criticadas pelo desconforto acústico causado pelo ruído interno que passa de ambiente ao outro sem qualquer barreira, elevando os níveis de ruído de fundo e prejudicando o ensino.

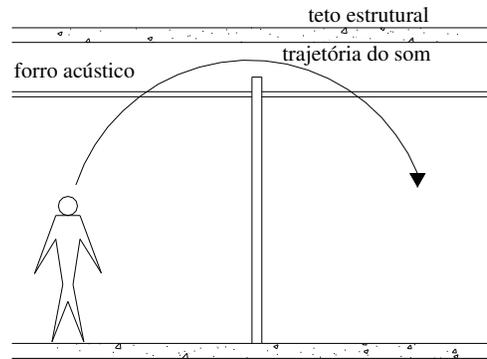


Figura 5.3 - O som propaga através do forro. As divisórias devem se estender até o teto estrutural para que funcionem como barreiras sonoras.

[Fonte: SEEP et al., 2002]

De acordo com Paixão (1997) avaliando a sala de aula como um lugar fechado por quatro paredes, com janelas e uma porta, chega-se ao estudo da chamada Acústica de Recintos, cujos principais enfoques são: a absorção sonora devido aos diversos materiais que se encontram nas paredes, teto, piso e, ainda, móveis e usuários; o isolamento de paredes, portas e janelas impedindo ingresso de ruídos externos e a transmissão de ruídos internos para outras dependências; a reflexão da onda sonora influenciando a reverberação.

Em salas de aulas, existem dois fatores ambientais os quais são importantes para a inteligibilidade da fala: a reverberação na sala e a interferência do ruído externo. Esses dois fatores não deveriam ser considerados separadamente (HOUTGAST, 1981; GUTIÉRREZ e LACORZANA, 2002; TISSEYRE, MOULINIER E ROUD, 1998).

Reflexões que chegam ao ouvido do ouvinte com audição normal dentro de 50 ms são integradas com o som direto amplificando o seu nível e melhorando a inteligibilidade da fala, mas as reflexões que chegam depois do período de integração mascaram o som da fala seguinte. Na sala de aula onde o professor permanece em algum lugar que pode variar a distância entre 1 e 8 m do seu/sua aluno, a transmissão da fala poderá ocorrer somente quando existir níveis de ruído baixo e condição acústica favorável (SALA e VILJANEN, 1995).

O aumento da energia nas primeiras reflexões é esperado para aumentar a inteligibilidade. As últimas reflexões do som da fala não estão integradas e causam falta de clareza do som da fala, diminuindo a inteligibilidade (BRADLEY, 2002). A reverberação da sala de aula pode prejudicar a inteligibilidade das palavras; pois ao permanecer mais tempo do que necessário em um recinto devido a múltiplas reflexões, o som passa a não ser entendido corretamente, ocorrendo a sobreposição de sílabas e, assim, a não compreensão adequada da fala do professor (OITICICA, DUARTE e SILVA, 2003).

O tempo de reverberação é o dado mais usado para analisar a qualidade do som em um recinto, sendo este grande responsável pela boa comunicação entre alunos e professores num mesmo ambiente. É importante que o tempo de reverberação em salas de aula seja baixo e suficiente para que as reflexões contribuam para reforçar a voz do professor. Por outro lado, caso as reflexões permaneçam por muito mais tempo do que deveriam, estas estariam contribuindo para dificultar o entendimento da fala, passando a sobrepor o som original da voz. Assim, tanto valores do tempo de reverberação alto quanto baixo prejudicam a qualidade acústica das salas, este valor deve ser ideal de acordo com o volume do ambiente e a atividade desenvolvida nele. Por isso é um dado importante em acústica de recintos internos. O tempo de reverberação pode ser medido ou estimado.

Para salas de pequenos volumes o número de modos excitados é pequeno e a absorção é pequena em baixa frequência, conseqüentemente têm-se tempos de reverberação maiores em baixas frequências (ROLLA e BARBOSA, 1993). No Brasil não existe recomendação sobre tempo de reverberação ideal para salas de aula (BERTOLI, 2001). De acordo com um guia para salas de aula da Sociedade Americana de Fala e Ouvido, uma sala de aula acusticamente satisfatória deve apresentar um tempo de reverberação (TR) que não ultrapasse 0,4 segundos (ASHA, 2003). Em muitas salas o tempo de reverberação excede este valor em duas ou três vezes mais, reduzindo a inteligibilidade da fala, diminuindo a capacidade de ouvir principalmente daqueles com problemas de audição do que os que ouvem normalmente. Problemas de reverberação interna nas salas podem ser solucionados com a introdução de material adequado de revestimento interno.

Não é somente a soma de absorção do material o fator determinante, como mostra a fórmula de Sabine, mas também a localização do material é importante. Tratamentos acústicos normalmente são feitos pelo uso de materiais absorventes somente no teto. Isto porque teto é livre de mobílias e dificilmente podem ser tocados, evitando que o material seja danificado. Porém, colocar material somente no teto não produz resultados satisfatórios. Para dar resultados mais eficientes o material deveria ser colocado em pelo menos duas superfícies diferentes, de preferência na parede do fundo e no teto, pois evita reflexões indesejadas (SALA e VILJANEN, 1995). Os materiais de absorção, quando colocados no teto, devem ser evitados em locais próximos à posição do professor, para evitar que o som seja absorvido antes de chegar ao ouvinte. Isto vale também para qualquer superfície que esteja nas proximidades do orador.

5.2. Ruído e a Sala de Aula

A poluição sonora, que segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), é a terceira mais grave forma de poluição, só perdendo para a poluição do ar e da água, e vem se agravando, exigindo soluções que controlem seus efeitos sobre o meio ambiente e à sadia qualidade de vida dos cidadãos (ENIZA e GARAVELLIA, 2003).

Com o desenvolvimento industrial e o crescimento rápido e desordenado das cidades, e ainda pelo aumento do tráfego de veículos nas vias, houve um aumento significativo da poluição sonora. O controle da poluição sonora nos centros urbanos deve envolver medidas que garantam a manutenção de níveis sonoros para diferentes situações, horários e locais, seja fiscalizando, legislando ou exercendo atividades relacionadas a este tema (ALVES e PIZZUTTI, 1998). Normalmente, o controle do ruído em comunidades é baseado em restrições de acordo com o zoneamento (uso do solo) e horário do dia. Zonas sensíveis ao ruído, em torno de hospitais e escolas, por exemplo, são criadas devido às condições sonoras especiais de que necessitam (CASALI, 2000).

A poluição sonora nas cidades é cada vez mais um problema de grande magnitude. Fontes diversas e, principalmente, aquelas oriundas do tráfego de veículos automotores, são causadoras de níveis de ruído elevados. Por outro lado, as edificações de maneira geral são construídas sem oferecer adequada proteção ao ruído intrusivo. O mesmo pode-se dizer das divisões internas. No caso específico de edificações escolares, a qualidade acústica é um item desconsiderado por arquitetos e engenheiros no projeto, apesar da importância em função do tipo de atividade desenvolvida nesses ambientes. Elevados níveis de ruído e/ou condições de reverberação inadequadas desfavorecem o processo de aprendizagem chegando, até, a contribuir para um baixo aproveitamento por parte dos alunos (LOSSO e VIVEIROS, 2002).

Uma pesquisa feita pela Equipe de Saúde Auditiva da Prefeitura de São Paulo, Brasil, durante breve levantamento em escolas municipais, mostrou que o aprendizado é prejudicado pela poluição sonora, já que o indivíduo normal precisa gastar em média 20% de energia extra para realizar uma tarefa em presença de ruído intenso. Uma vez que este interfere nos processos de memorização, planejamento e concentração (MARTINS et al., 2002).

Em um de seus trabalhos, Earthman e Lamasters (1998, apud SCHNEIDER, 2002) citaram três pontos: que os melhores desempenhos em estudos estão associados a escolas que possuem menor ruído externo, que ruídos externos aumentam a insatisfação dos estudantes com suas salas, e que ruído excessivo causa stress nos estudantes.

Antes de projetar uma escola, o espaço urbano também deve ser analisado, para que outras edificações que possuam fontes ruidosas não estejam localizadas e nem venham a ser construídas próximas da edificação escolar. Quando se constrói um edifício deve ser previsto que este vai interagir com o meio urbano, recebendo e transmitindo ruído. Para Batista e Slama (1998), o espaço edificado é o que está contido pelo edifício e exerce influência sobre o meio que está a sua volta, ou seja, o espaço urbano, se relacionando com: a paisagem, modificando-a; a arquitetura ao redor, compondo-a ou descaracterizando-a; as vias de tráfego e pedestres, aumentando o fluxo por vezes.

Para proporcionar conforto acústico em salas de aula deve-se observar não somente as fontes de ruído externas à edificação escolar, mas também aquelas oriundas do ambiente escolar e até mesmo da própria sala de aula.

Podemos caracterizar como ruído de fundo externo à edificação:

a) o ruído de tráfego, que pode ser proveniente de fontes veiculares e parâmetros de tráfego. No primeiro caso estão incluídos os ruídos causados por componentes do veículo, como o motor, no segundo estão as características gerais da via, como volume, composição e velocidade do tráfego (LOSSO, VIVEIRO e FIGUEIREDO, 2003).

b) os vizinhos das escolas podem ser fontes significativas de poluição sonora, ocasionada por atividades que geram ruído, como serralheria, oficina mecânica, serraria e feira livre (SANTOS e SLAMA, 1993).

Já o ruído de fundo oriundo do próprio ambiente escolar pode ser caracterizado por:

a) atividades de educação física e recreativa, que são ruidosas por natureza, geralmente encontram-se próximas à sala de aula. Quando estão localizadas em pátios internos ligados diretamente à sala de aula, a situação é mais agravante, principalmente se estes pátios forem cobertos (SANTOS e SLAMA, 1993).

b) “áreas de circulação, onde existem pessoas circulando e conversando, pode causar incômodo na sala de aula;

c) ruídos gerados por atividades em cantinas, refeitórios, lanchonetes e cozinhas, neste caso podemos citar o ruído causado por preparo de alimentos, impacto de objetos no manuseio ou máquinas;

d) ruído ocasionado por alunos e professores de salas adjacentes;

e) diversas fontes sonoras estão presentes em sala de aula, como: ventiladores, ar condicionado, retro-projetores, computadores e impressoras;

f) os próprios alunos são fontes de ruído, levando em conta aspectos comportamentais, físicos e construtivos” (LOSSO, VIVEIRO e FIGUEIREDO, 2003).

Além destes ruídos mais comuns, segundo Schick, Klatte e Meis (2000) existe um grande número de pesquisas que focalizam o estresse causado pela exposição ao ruído entre crianças e

peessoas jovens na idade escolar, estas pesquisas consideraram que o ruído causado por tráfego, aviões, metrô, trens, também estão presentes no dia a dia das pessoas.

Segundo Picard e Bradley (1999 apud BERTOLI, 2001), referindo-se à pesquisa realizada nos EUA, dizem que as salas de aula são locais extremamente barulhentos. Na realidade são tão barulhentos que a maioria dos estudantes apresenta problemas em escutar a voz dos professores. Em particular, os níveis de pressão sonora durante as atividades escolares estão aproximadamente 4 a 38 dB acima dos valores ideais, onde crianças normais (que possuem audição normal) possam entender otimamente o que está sendo falado.

Rudloff e Schuschke (1993 apud SHICK, KLATTE e MEIS, 2000) pesquisaram as escolas na área de Magdeburg (Alemanha) e chegaram à seguinte conclusão: na Alemanha existe ruído de tráfego sem limite nas ruas. Nas escolas expostas ao ruído na cidade, testes acústicos foram realizados e mostraram a necessidade de medidas para redução do ruído e a necessidade de ações na legislação para estabelecimento principalmente pela necessidade de proteção ao ruído.

Existem algumas normas internacionais e brasileiras que determinam o ruído de fundo ideal para salas de aula. Segundo a recomendação da ASHA (Sociedade Americana para Fala e Ouvido) em seu Guia de Acústica para Situações Educacionais (ASHA, 2003), o nível de ruído de fundo ideal é de 35 dB(A). Enquanto a NBR 10152 – Níveis de Ruído para o Conforto Acústico da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987), verifica-se que é aceitável o nível de ruído de fundo de 40 a 50 dB(A) para salas de aulas, sendo o primeiro o nível de conforto e o segundo considerado o limite máximo, a partir do qual gera desconforto sem causar necessariamente danos à saúde.

Medidas feitas em Berlim (Alemanha) revelam Leq acima de 76 dB no período de 8 horas em salas de aula do 5º ano primário da escola. A regulamentação do governo alemão para locais de trabalho fornece o limite de 55 dB onde o principal trabalho realizado é o intelectual. Isto significa: quando alunos são submetidos a uma situação permanente de elevado estresse na escola, isto pode causar uma redução de seu rendimento escolar (SHICK, KLATTE e MEIS, 2000).

A não observação das questões acústicas nas diversas etapas do projeto e seus efeitos no homem pode gerar edifícios de má qualidade. Não são raros os casos onde professores se afastam do exercício profissional ou até mesmo diminuem sua carga de trabalho para que possam recuperar a capacidade da fala. Tratamentos fonoaudiológicos são necessários, mas não é a solução, pois não adianta depois de afastado e recuperado, o professor voltar ao ambiente de trabalho e encontrá-lo da mesma maneira que estava quando sofreu os problemas em sua voz (PAIXÃO e SANTOS, 1995; LOSSO e VIVEIROS, 2002).

Santos e Slama (1993), na sua pesquisa sobre ruído no ambiente escolar, utilizaram questionários para analisar a percepção subjetiva do usuário e constataram que: 50% dos professores afirmaram que o nível de ruído e o espaço físico sempre interferem no rendimento do aluno, 30% responderam que isto ocorre freqüentemente e 20% responderam que só às vezes o ruído interfere.

Em 2001 foi realizada uma pesquisa através da Fapesp pela Unicamp, onde foi avaliado o conforto ambiental em quinze escolas da rede pública em Campinas/SP. Em conforto acústico, observou-se que a grande maioria das salas analisadas apresentaram valores de nível de pressão sonora superiores a 50 dB(A), portanto acima da condição de conforto, condição que agrava quando os ventiladores são ligados. Comparando os resultados das medições, notou-se que há influência da orientação das janelas das salas de aula, do ruído do pátio e do corredor, e também da disposição destas salas no corredor. Aquelas que apresentaram as janelas voltadas para o corredor tinham o NPS elevado (BERTOLI et al., 2001).

Salas de aula ruidosas podem comprometer o reconhecimento da fala, por parte dos alunos, pois a voz do professor é prejudicada pela redução ou mascaramento das informações acústicas. Além disso, o ruído dispersa, e mesmo que a criança esteja muito atenta a compreensão da mensagem estará dificultada (MARTINS et al., 2002). Na verdade, esta dificuldade de comunicação entre professor e aluno implica no não entendimento de um assunto exposto, o que acaba por acarretar menor rendimento deste aluno em sala (SANTOS e SLAMA, 1993).

Para que uma pessoa entenda a mensagem que está sendo transmitida, deve haver uma diferença mínima entre o nível de ruído de fundo e nível da fala. Essa diferença é chamada de relação sinal/ruído. O nível da voz do professor, em dB, menos o nível de ruído de fundo na sala, em dB, é igual ao S/N (sinal/ruído). Quanto maior for esta relação, melhor será a inteligibilidade da fala.

Bradley (2002) mostrou em seus estudos que os resultados da inteligibilidade da fala medidos em um certo número de salas crescia com o aumento da proporção sinal/ruído. Com esses e outros resultados chegou à conclusão que o S/R de mais ou menos 15 dB proporciona condições na qual resultados de 100% de inteligibilidade são possíveis com um simples teste de inteligibilidade. Existe um número de grupos especiais de ouvintes que sofrem mais com os efeitos contrários na sua habilidade para entender a fala quando o ambiente é muito ruidoso e muito reverberante. Este grupo incluiria ouvintes mais jovens, ouvintes mais velhos, ouvintes de uma segunda língua. Esse grupo particular de ouvintes pode necessitar um S/R maior que 15 dB para chegar a 100% de inteligibilidade.

O isolamento é o fenômeno que procura minimizar, ou impedir, a transmissão do som gerado em um ambiente para o ambiente vizinho, através das superfícies de vedação. O isolamento varia de acordo com as características dos materiais, espessuras e sistemas construtivos (BERTOLI e NAGEM, 2002).

Isolar e absorver são propriedades distintas e as características que determinam se um material é isolante ou absorvedor são diferentes. Para a absorção é importante analisar a porosidade do material, enquanto que para o isolamento, conhecer a massa é fundamental. O desempenho de ambos, absorção e isolamento, dependem da frequência da onda sonora. No caso das salas de aula é importante que os materiais que compõe a fachada sejam bons isolantes acústicos para que a transmissão do ruído externo seja minimizada. As divisões internas também devem ter propriedades de isolamento para que ruídos oriundos de outros ambientes, como a voz do professor, não sejam transmitidos para outro local.

O elevado nível de ruído de fundo verificado nas salas de aula é no primeiro momento o mais importante vilão do problema acústico e deve ser atacado e resolvido. Uma vez que os níveis de ruído nas salas de aula estejam abaixo de valores máximos adequados, a investigação pode enveredar pelos estudos da influência das geometrias das salas e das características do mobiliário escolar na qualidade acústica das salas de aula (NABUCO, MULLER, MASSARANI, 2002).

5.4. A inteligibilidade e a Sala de Aula

A inteligibilidade da fala é um fator importante nas salas de aula, onde a comunicação entre professores e alunos é de fundamental importância. É um fator subjetivo que mede a facilidade de entender um sinal falado emitido por uma fonte sonora. Esta avaliação na sala diminui com o aumento do ruído de fundo e reverberação. A inteligibilidade da fala em uma sala de aula pode ser medida também através de testes com a participação do usuário (ouvinte), que são chamados de testes de inteligibilidade. Outro método usado para avaliar a inteligibilidade da fala é o STI (índice de transmissão da fala), que não necessita da participação do ouvinte e utiliza da resposta impulsiva da sala para ser calculado.

Seep et al. (2002) afirma que em salas de aula nos Estados Unidos a inteligibilidade da fala é de 75% ou menos. Isto significa que em teste de inteligibilidade da fala, ouvintes com audição normal podem ouvir apenas 75% das palavras lidas de uma lista. Estudantes deveriam ser capazes de entender todas as palavras que estão sendo faladas em salas de aula. Isto é importante porque a maioria das situações de ensino envolve comunicação oral. Existe um número de grupos especiais de ouvintes que sofrem mais com os efeitos contrários na sua habilidade para entender a fala quando o ambiente é muito ruidoso e muito reverberante. Este grupo incluiria ouvintes mais jovens, ouvintes mais velhos, ouvintes de uma segunda língua qualquer (BRADLEY, 2002).

Gathercole e Baddeley, (1993 apud SHICK, KLATTE e MEIS, 2000) concluíram em sua pesquisa que a memória de um pequeno termo fonético é atribuída a uma função importante na

aquisição de uma língua materna, linguagem literária e segunda língua. Crianças estão em desvantagem quando ouvem sua própria língua ou uma língua estrangeira se a fala estiver submetida a ruído (SHICK, KLATTE e MEIS, 2000).

Diferentes pesquisas concluem que existe uma diferença na inteligibilidade da fala entre ouvintes nativos e não nativos, e sugerem que deveriam ser tomados alguns cuidados com desenho de salas ou sistema de transmissão em locais para comunicação verbal que envolvem uma segunda língua (TJELLESEN e SORENSEN, 2005). No Brasil, o Ministério da Educação e Cultura (MEC) classifica as escolas de idiomas como “cursos livres”, assim essas escolas não possuem nenhuma recomendação ou controle a respeito do ensino e do ambiente onde ele é aplicado (MEC, 2006).

Muitos educadores defendem que é importante aperfeiçoar a acústica nas salas de aula usadas pelas crianças com problemas de audição, mas desnecessária para aquelas salas usadas por estudantes de audição normal. Contudo, muitos estudantes com “audição normal” também se beneficiariam da melhor acústica nas salas de aula, inclusive estudantes com pouca aptidão para o aprendizado, aqueles com problemas de processamento auditivo e aqueles para os quais o inglês é o segundo idioma (SEEP et al., 2002).

A escola é o local escolhido para obter o aprendizado, para viver junto e para que os homens possam se desenvolver psicologicamente e socialmente. Livres de ruídos altos e estressantes vindos da vizinhança e de problemas de reverberação da sala, uma boa inteligibilidade pode ser mantida. Assim é garantida uma importante pré-condição para realização dos objetivos de permanência dos alunos nas escolas.

Baseado nessas informações, esta pesquisa avaliou o desempenho acústico de salas de aula com dimensões reduzidas usadas em escolas de idiomas visando a inteligibilidade, pois estudantes de uma língua estrangeira necessitam de um bom entendimento da fala para aprender o que está sendo ensinado.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Estudos sobre o desempenho acústico em escolas e salas de aula tem sido discutido a várias décadas em diversos países. No Brasil, o assunto também cresce a cada dia e essa discussão está sempre presente em congressos e seminários especializados no assunto. Escolas que visam o estudo de outros idiomas, em geral, no Brasil, possuem salas de aulas menores que aquelas de ensino convencional, por terem um número reduzido de alunos. A inteligibilidade da fala nessas salas, onde é ensinado um novo idioma, deve ser adequada para que o aprendizado seja eficiente quanto à comunicação verbal, nesse sentido é importante conhecer o desempenho acústico deste tipo de sala de aula. Com esta motivação, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho acústico de salas de dimensões reduzidas utilizadas como salas de aula em escolas de idiomas. O objeto de estudo deste trabalho são as salas de aula usadas em escolas de idiomas na região de Barão Geraldo, no município de Campinas-SP. O desenvolvimento deste trabalho foi feito através do levantamento dos dados arquitetônicos e construtivos em campo e medidas de parâmetros acústicos, através dos procedimentos metodológicos que foram detalhados neste capítulo.

6.1. Objeto de Estudo

O critério de escolha das escolas avaliadas nesta pesquisa foram dois: localização da escola e as dimensões das suas salas de aula. As salas de aula das escolas escolhidas apresentam um volume que varia entre 20 e 50 m³ e estão localizadas em vias de tráfego intenso. Este critério foi adotado para que pudesse ser avaliada também a influência do ruído externo nas salas de aula. As escolas escolhidas estão localizadas em Barão Geraldo, no município de Campinas-SP, onde

há uma concentração de escolas de idioma. A figura 6.1 mostra a localização de Barão Geraldo no município de Campinas-SP. As escolas estão situadas em vias importantes de acesso ao campus da Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, por isso possuem um fluxo intenso de veículos. A figura 6.2 apresenta a localização das escolas selecionadas. Feita a seleção das escolas, foi enviada uma carta à gerência de cada uma delas explicando o objetivo da pesquisa e solicitando autorização para que medidas acústicas fossem realizadas nas salas de aula. Entre as escolas selecionadas, oito delas autorizaram a sua participação nesta pesquisa.



Figura 6.1 – Mapa do município de Campinas-SP localizando Barão Geraldo.

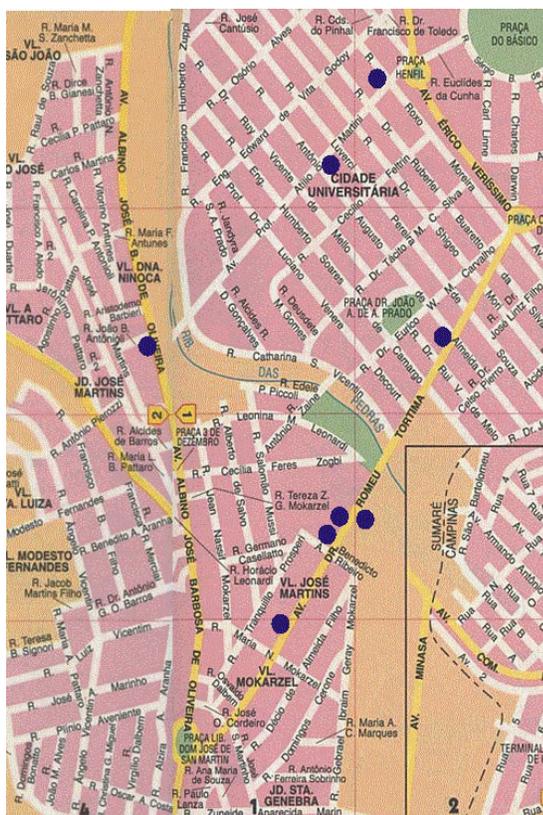


Figura 6.2 – Mapa de Barão Geraldo localizando as escolas selecionadas.

Para atender ao pedido da gerência das escolas de que elas não fossem identificadas, adotou-se o critério de nomeá-las por números durante toda a pesquisa, denominando-as de Escola E01 a E08. A escolha da sala de aula que seria avaliada em cada escola feita após o questionamento a respeito de qual era a mais usada e com pior qualidade acústica, segundo avaliação dos professores. Em cada escola selecionada foi avaliada uma sala de aula. Foi feito o levantamento dos dados arquitetônicos e construtivos das salas de aula, que foram introduzidos em uma planilha de informações, que é apresentada no apêndice A. Cada planilha das salas de aula contém as seguintes informações:

- a) identificação da escola na pesquisa,
- b) via de localização,
- c) data e horário em que as medidas acústicas foram realizadas,
- d) descrição dos materiais construtivos da sala de aula,
- e) identificação do mobiliário existente,
- f) planta da sala de aula avaliada com layout,

- g) dimensões da sala de aula avaliada,
- h) posição dos equipamentos utilizados para as medidas acústicas,
- i) identificação dos equipamentos utilizados e parâmetros acústicos medidos.

6.2. Equipamentos usados nas medições acústicas

Para realizar as medidas acústicas foram utilizados os equipamentos: o analisador de frequências modelo BK 2238 (Mediator 2238) e o programa de avaliação acústica de salas Dirac 3.0, ambos de Bruel & Kjaer. O Mediator 2238, da B&K, realiza as medida do nível pressão sonora em função da frequência medido em dB, e nível de pressão sonora equivalente medido em dB(A). Ambas as medidas avaliam o ruído de fundo da sala de aula.

Os parâmetros de tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, definição, índice de transmissão da fala, o índice rápido de transmissão da fala e a porcentagem de consoantes não compreendidas foram medidas através da técnica impulsiva. Para gerar a resposta impulsiva da sala foi utilizado o sistema composto por: um micro computador com placa de som VX pocket, onde está instalado o programa Dirac 3.0 (Room Acoustics Software - Type 7841) da B&K, uma fonte sonora omnidirecional modelo 4296 da B&K (OmniPower™ Sound Source Type 4296), um amplificador modelo 2716 da B&K (Power Amplifier Type 2716); e um microfone do Mediator 2238 da B&K para receptor o sinal sonoro. A figura 6.3 mostra o esquema de montagem do sistema que gera a resposta impulsiva na sala. A fonte gera um sinal sonoro que é captado pelo microfone e enviado para o programa Dirac através da placa de som. O programa calcula a resposta impulsiva da sala e os parâmetros acústicos, conforme a indicação das normas ISO 3382 (1997 apud Bruel & Kjaer, 2003) e IEC 60268-16 (IEC, 2003). O sinal sonoro emitido foi o padrão MLS. As medidas foram realizadas em três pontos diferentes, seguindo as recomendações a NBR-10152 (ABNT, 1987).

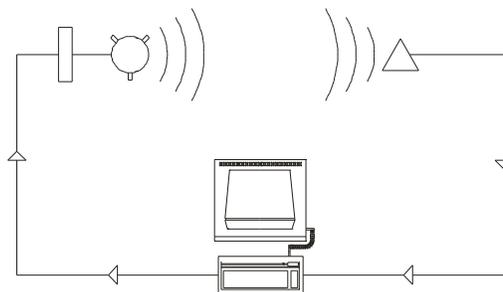


Figura 6.3 – Esquema de montagem do sistema que gera a resposta impulsiva na sala.

Os parâmetros do índice de transmissão da fala, o índice rápido de transmissão da fala e a porcentagem de consoantes não compreendidas são levados em conta a influência do ruído de fundo, por isso primeiramente foram feitas as medições do STI em todos os pontos e usando os filtros de frequência de orador feminino e masculino e o RASTI. Em seguida o sinal sonoro do ruído de fundo foi medido com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado. No processamento do programa Dirac, esses arquivos gerados nas medições do ruído de fundo são adicionados às respostas impulsivas geradas pela medida do STI, resultando nos valores de STI e RASTI corrigidos com o ruído de fundo. (Bruel & Kjaer, 2003).

6.3. Medidas Acústicas

Os parâmetros escolhidos para avaliar o desempenho acústico de salas de aula nas escolas selecionadas foram: os níveis de pressão sonora por frequência e equivalente, que medem a influência do ruído de fundo na sala; o tempo de reverberação, o tempo de decaimento inicial e a definição, que avaliam reverberação; o índice de transmissão da fala, o índice rápido de transmissão da fala e a porcentagem de consoantes não compreendidas, que são avaliadas a qualidade da inteligibilidade da fala.

No pré-teste desta pesquisa, foi usado o método tradicional de testes de inteligibilidade, o ditado de palavras feito por um orador e respondido por ouvintes presentes nas salas. Os testes foram aplicados em quatro escolas e notou-se dois fatores importantes que levaram a descartar este tipo de medição. Primeiramente foi o processo de aplicação dos testes, devido à necessidade

de ser aplicado em grande quantidade causaria lentidão do processo. Segundo, notou-se que, mesmo a sala sendo avaliada como ruim por outros parâmetros, os ditados sempre apresentaram bons resultados na inteligibilidade. Por isso, decidiu-se que este método seria descartado da metodologia de pesquisa deste trabalho e seria substituído pelo STI, que é calculado através da resposta impulsiva da sala e por um equipamento que já estaria sendo utilizado para medir outros parâmetros.

As medidas dos parâmetros acústicos foram feitas através da técnica impulsiva, exceto as medidas do nível de pressão sonora. As medidas obedeceram às recomendações da norma NBR-10151 (ABNT, 2000), observando que as medidas devem ser feitas a 1,2 m do piso, no ambiente interno a pelo menos 1 m das paredes e 1,5 m das janelas. Os níveis sonoros medidos em interiores devem ser a média de pelo menos três posições a 0,5 m uma da outra quando houver possibilidade de ondas estacionárias; as janelas devem estar abertas a não ser que sejam utilizadas regularmente fechadas. As medidas nas salas de aula das escolas foram feitas com as janelas fechadas, porque são mais utilizadas desta forma durante as aulas. As salas de aulas estavam vazias no momento das medições, porém as escolas estavam em horário de funcionamento normal de suas atividades, inclusive com aula em salas adjacentes. As medidas foram realizadas durante o dia, quando o fluxo de veículos é praticamente contínuo.

As medidas acústicas foram realizadas em três pontos diferentes em cada sala de aula, onde a fonte sonora foi colocada no local que representa a posição do professor e o receptor do sinal sonoro no local que representa as posições dos alunos, porém obedecendo às exigências da NBR-10151 (ABNT, 2000) de estarem afastados 1 m das paredes. Os três pontos foram situados da seguinte forma: um à direita da fonte sonora (P01), outro em frente (P02) e por último à esquerda da fonte (P03), sendo que o primeiro está mais próximo da fonte sonora e o segundo mais afastado.

O nível de pressão sonora em função da frequência (espectro sonoro) foi medido em duas situações de uso: com ar condicionado ou ventilador ligado e desligado. Para o equipamento desligado a medida do espectro sonoro foi feita em bandas de frequência de 1/1 oitava no intervalo entre 125 e 4.000 Hz; na situação do equipamento ligado as medidas foram feitas em

bandas de frequência de 1/1 oitava no intervalo entre 125 e 8.000 Hz. O nível de pressão sonora equivalente (Leq) foi medido em dB(A) e foi medido nas mesmas situações do espectro sonoro: ar condicionado ou ventilador ligado e desligado. As medidas obedeceram às recomendações da NBR-10151 (ABNT, 2000). Para esta medida foi utilizado o equipamento Mediator 2238 da B&K.

Os parâmetros de tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial e definição foram calculados através da resposta impulsiva da sala usando o programa Dirac 3.0, da B&K. As medidas foram feitas em função da frequência no intervalo de frequência de bandas de 1/1 oitava entre 125 e 8.000 Hz e nos mesmos três pontos das outras medidas, observando a NBR-10151 (ABNT, 2000).

O índice de transmissão da fala, o índice rápido de transmissão da fala e a porcentagem de consoantes não compreendidas são parâmetros que foram calculados através da resposta impulsiva da sala através do programa Dirac 3.0, da B&K. Esses parâmetros analisam a qualidade da inteligibilidade da fala. As medidas foram realizadas também em duas situações: ar condicionado ou ventilador ligado e desligado. O programa Dirac possui filtros de frequências para simular a fala de um orador feminino e um outro para masculino e outro filtro para o cálculo do RASTI, que atua na faixa de frequência de 500 e 2.000 Hz. A porcentagem de consoantes não compreendidas é fornecida para o STI feminino, STI masculino e para o RASTI. Os pontos medidos foram os mesmos três determinados para as outras medidas acústicas.

6.4. Análise dos resultados

Com os dados de medidas de nível de pressão sonora em função da frequência (espectro sonoro) as salas de aulas foram classificadas segundo as curvas NC e foi feita a comparação com os valores recomendados pela norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987) para ruído de fundo aceitáveis para conforto acústico. O nível de pressão sonora equivalente também foi comparado com os níveis indicados pela mesma norma.

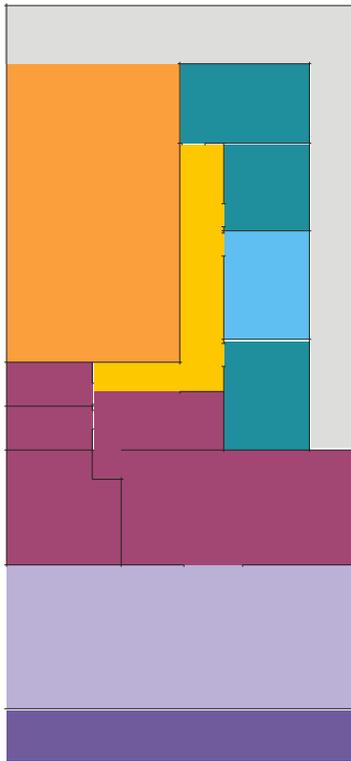
O tempo de reverberação, o tempo de decaimento inicial, a definição, o índice de transmissão da fala, o índice rápido de transmissão da fala e a porcentagem de consoantes não compreendidas foram avaliados segundo valores recomendados pela literatura nacional e internacional. Verificou-se quais os parâmetros estão ou não adequados para o desempenho acústico das salas de aula, visando a inteligibilidade da fala. Foram analisados os dados arquitetônicos e construtivos das salas de aula e foi feita uma discussão sobre a influência dos materiais empregados nas salas e os resultados dos valores dos parâmetros acústicos.

7. RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

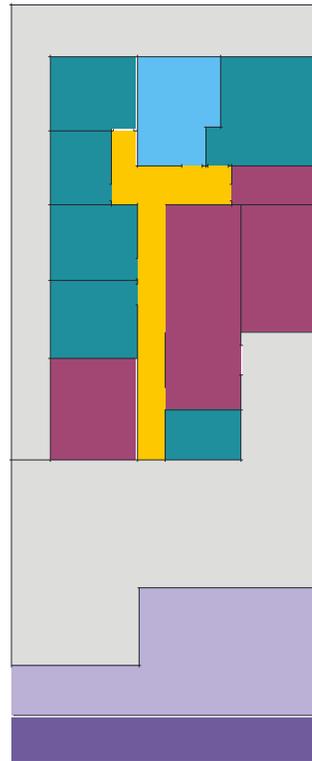
Neste capítulo são apresentados os resultados do levantamento dos dados arquitetônicos e construtivos e dos parâmetros acústicos medidos nas salas de aula das escolas selecionadas. No levantamento dos dados construtivos e arquitetônicos das salas de aula são apresentadas as plantas com layout da sala de aula medida em cada escola e a descrição dos materiais empregados e do mobiliário presente. Os resultados dos parâmetros acústicos medidos são apresentados e avaliados de acordo com as recomendações nas normas brasileiras e indicações de pesquisas nacionais e internacionais consultadas.

7.1. Apresentação das escolas

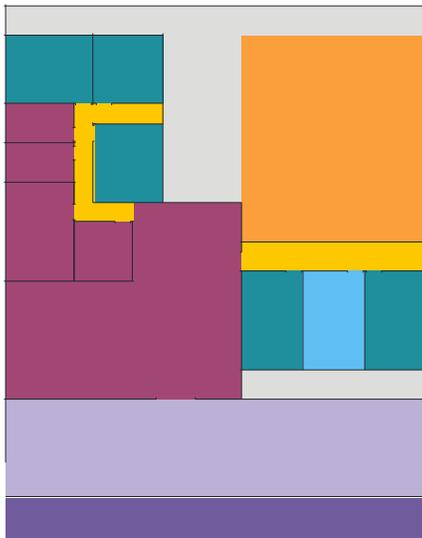
As oito escolas selecionadas para esta pesquisa são escolas de ensino de idiomas, que estão localizadas em vias de tráfego intenso em Barão Geraldo, no município de Campinas-SP. As escolas foram identificadas por números que variam de um a oito, para que não fossem identificadas a pedido da gerência de algumas delas. Na figura 7.1 e 7.2 são apresentados os desenhos esquemáticos das escolas selecionadas, onde se observa a posição da sala de aula na escola e em relação à via de localização. As salas de aula de cada escola foram escolhidas de acordo com a frequência de uso (as mais usadas) e consideradas com a pior qualidade acústica, segundo os professores. Na figura 7.3 são apresentadas as fotos do interior das salas de aula avaliadas.



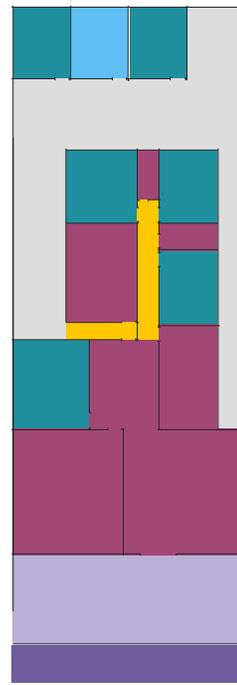
Escola E01



Escola E02

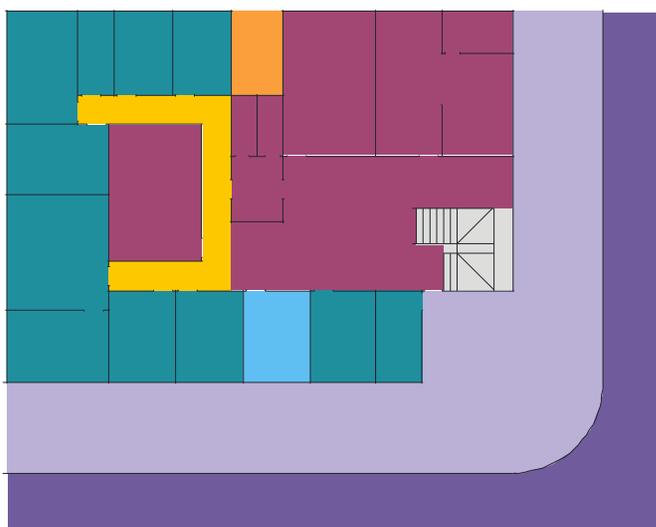


Escola E03

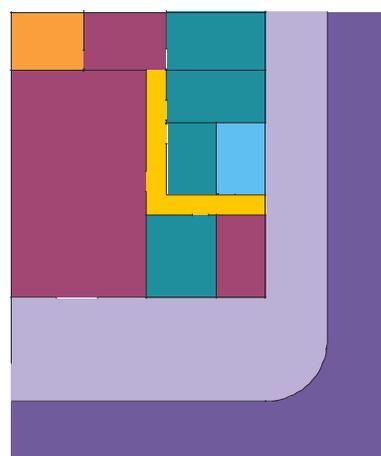


Escola E04

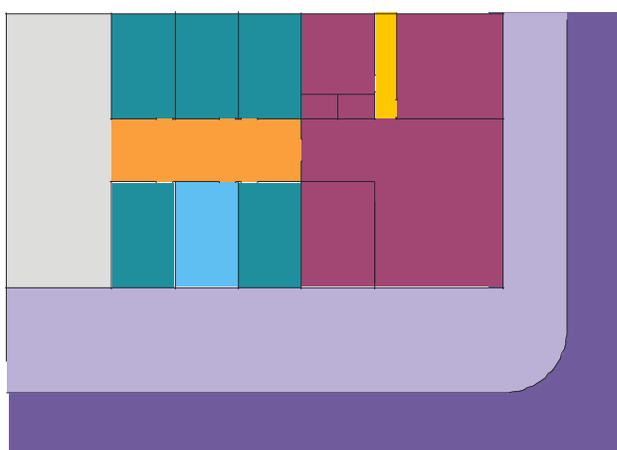
Figura 7.1 – Desenho esquemático de distribuição dos ambientes nas escolas selecionadas – sem escala – escolas E01, E02, E03 e E04.



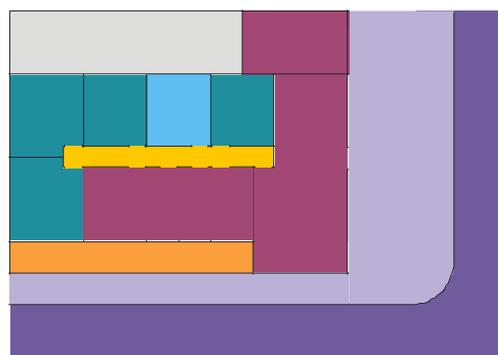
Escola E05



Escola E06



Escola E07



Escola E08

Figura 7.2 – Desenho esquemático de distribuição dos ambientes nas escolas selecionadas – sem escala – escolas E05, E06, E07 e E08.

Legenda

-  Salas de aula
-  Sala de aula medida
-  Áreas ruidosas: recepção, sala de espera, administração, banheiros
-  Pátio interno
-  Circulação
-  Estacionamento e passeio público
-  Rua ou avenida



Sala de aula escola E01



Sala de aula escola E02



Sala de aula escola E03



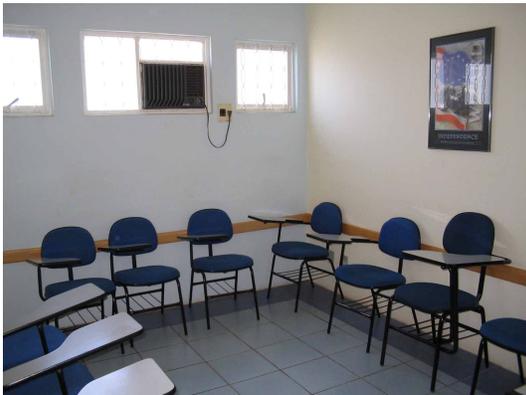
Sala de aula escola E04



Sala de aula escola E05



Sala de aula escola E06



Sala de aula escola E07



Sala de aula escola E08

Figura 7.3 – Salas de aula das escolas selecionadas.

As salas de aula das escolas selecionadas para a avaliação acústica possuem dimensões reduzidas, com volumes que variam entre 20 e 50 m³. Neste item são apresentadas as plantas das salas de aula avaliadas e a descrição arquitetônica e construtiva de cada uma delas. A planta das salas mostra o layout e a localização da fonte sonora e dos três pontos onde foi colocado o microfone. A posição da fonte sonora foi escolhida por representar o local onde o professor costuma permanecer durante as aulas e o microfone foi colocado em três posições que representam o posicionamento dos alunos, respeitando as recomendações da NBR 10152 (ABNT, 1987) para medidas acústicas.

As planilhas preenchidas com os dados técnico-construtivos das salas de aula e os tipos de parâmetros acústicos medidos em cada sala das escolas selecionadas são apresentados no apêndice A.

A sala de aula da escola E01, representada na figura 7.4, possui volume de 31,35 m³, suas paredes são em alvenaria e reboco e o teto em laje de concreto; o piso é cerâmico; as portas são de madeira e janelas são de madeira e vidro. Esta sala de aula é a única que possui ar condicionado sem sistema de compressor. A abertura da janela está voltada para a lateral do terreno e a porta para um corredor localizado em um pátio interno com jardim.

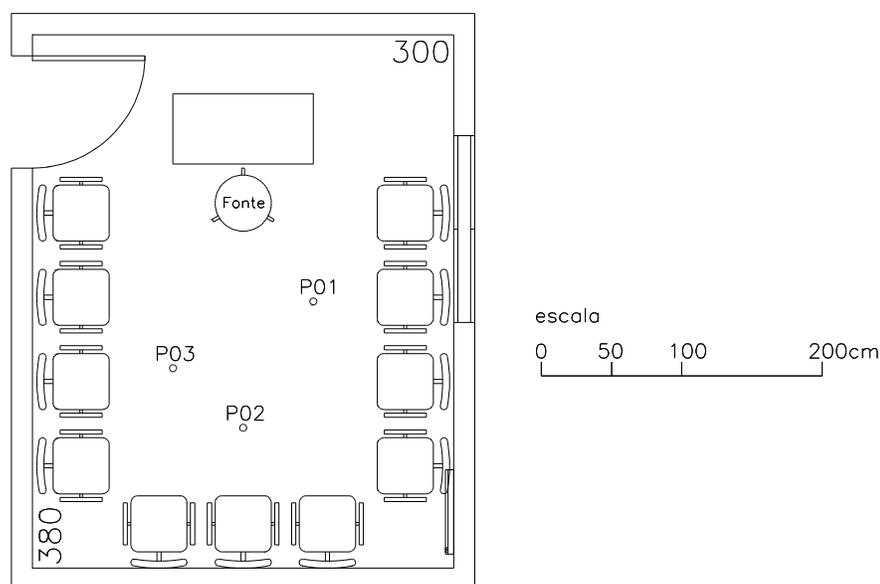


Figura 7.4 – Planta da sala de aula da escola E01 localizada na Avenida Romeu Tortima.

Na figura 7.5 está representada a sala de aula da escola E02, que foi construída em alvenaria e reboco, o teto é composto por laje em concreto, o piso é de pedra ardósia; a porta é de madeira e a janela de ferro. Existe um ventilador de teto na sala e seu volume é de $48,10 \text{ m}^3$. A abertura da janela desta sala está voltada para os fundos do terreno e a porta para um corredor de circulação entre as salas.

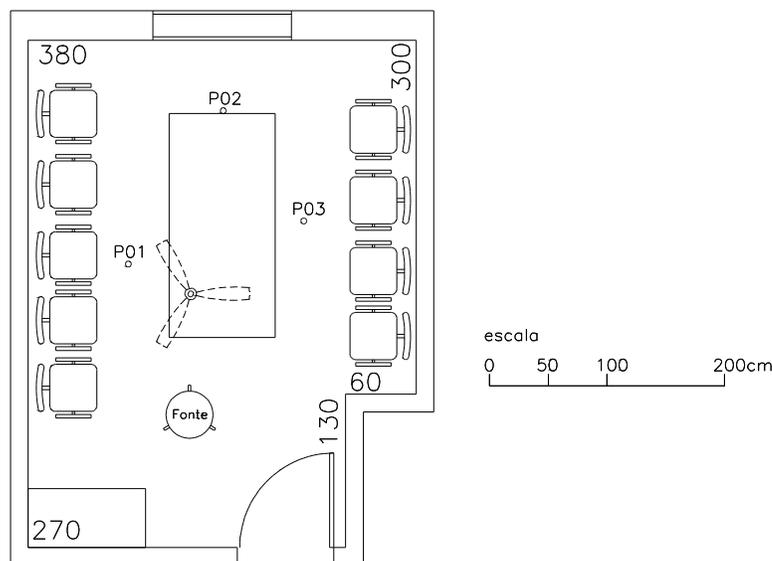


Figura 7.5 – Planta da sala de aula da escola E02 localizada na Avenida Romeu Tortima.

A sala de aula da escola E03 tem um volume de $36,22 \text{ m}^3$ e está representada na figura 7.6. Suas paredes foram construídas em alvenaria e reboco e possui laje em concreto; o piso é cerâmico; a porta é de madeira e a janela de vidro temperado; a sala possui ar condicionado. A janela desta sala está voltada para a frente do terreno, sendo que um muro a separa da rua. Enquanto que a porta está aberta para um corredor voltado para um pátio interno com jardim.

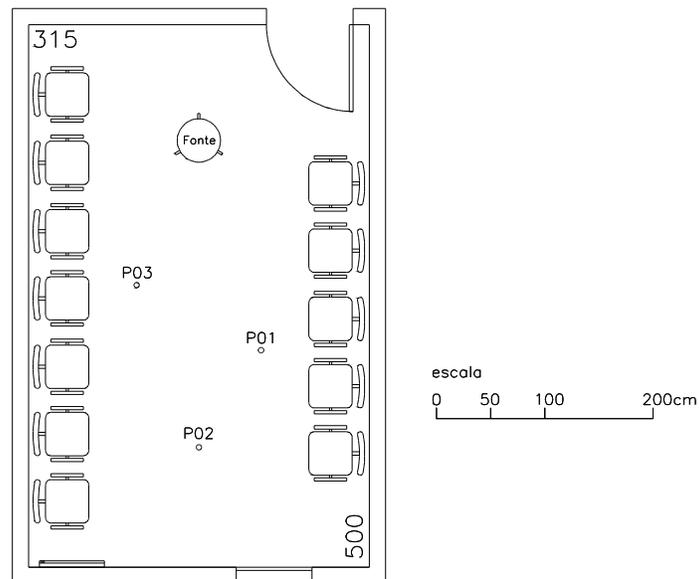


Figura 7.6 – Planta da sala de aula da escola E03 localizada na Avenida Romeu Tortima.

A figura 7.7 mostra a sala de aula da escola E04 é a única sala avaliada que não possui laje como cobertura, recebe uma cobertura metálica com forro de gesso. As paredes são em alvenaria e reboco; o piso é de cerâmica; a janela e a porta são de ferro e possui ar condicionado. Seu volume é de 21,16 m³. As portas e janelas estão abertas para um pátio externo e a sala localiza-se aos fundos do terreno.

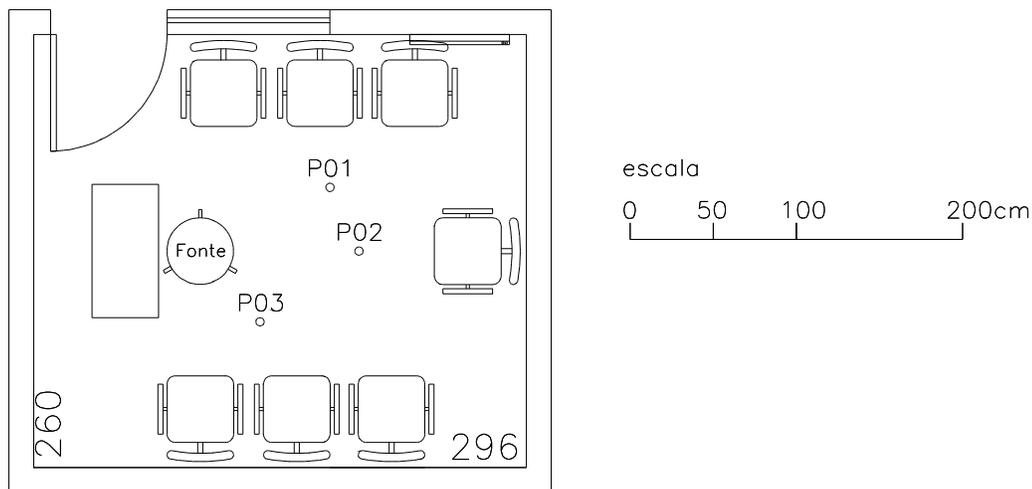


Figura 7.7 – Planta da sala de aula da escola E04 localizada na Avenida Romeu Tortima.

A sala da escola E05 mostrada na figura 7.8 tem volume de $31,67 \text{ m}^3$, suas paredes são em alvenaria sem reboco, tem laje de concreto como cobertura e o piso é em pedra ardósia. A porta é em madeira e sua abertura está voltada para uma sala onde está localizada a recepção e sala de espera. A janela é em madeira com vidro e está aberta diretamente para a rua com 3 m de afastamento do alinhamento. A sala possui ventilador de parede.

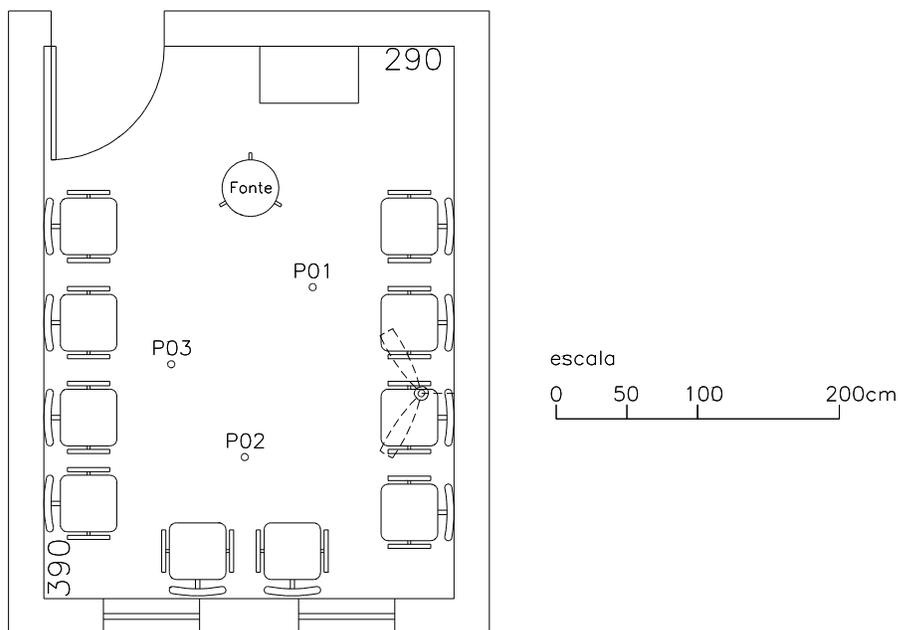


Figura 7.8 – Planta da sala de aula da escola E05 localizada na Rua Antonio Augusto de Almeida.

A sala da escola E06 possui paredes em alvenaria rebocada e laje com cobertura; piso é cerâmico; porta em madeira, janela de ferro e vidro e ventilador de parede. A janela está voltada para uma via lateral de tráfego reduzido, a abertura da porta está localizada em um corredor interno na escola. A sala possui um volume de $24,06 \text{ m}^3$ e está representada na figura 7.9.

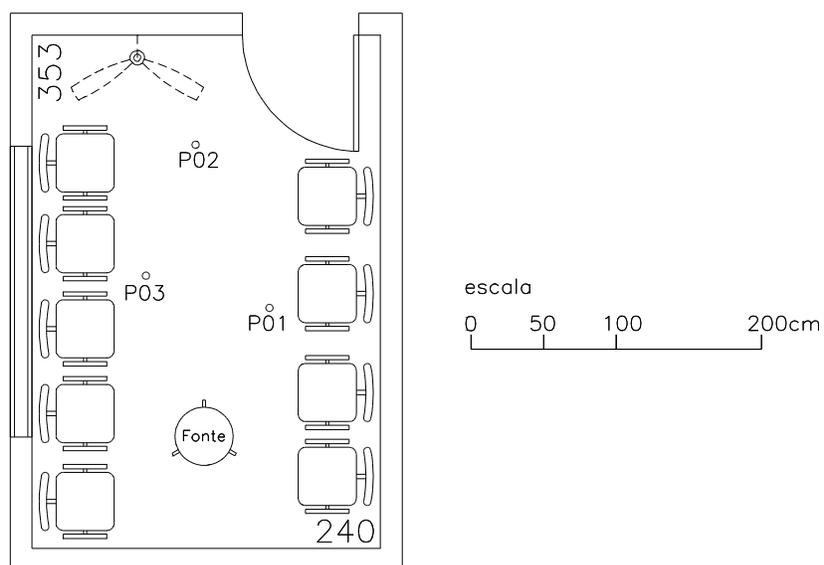


Figura 7.9 – Planta da sala de aula da escola E06 localizada na Rua Atílio Martini.

Na figura 7.10 está representada a sala de aula de escola E07 e possui um volume de 29 m³. Suas paredes são em alvenaria e reboco, o teto é composto por laje e as janelas são em ferro e vidro e estão voltadas para um corredor externo localizado nos fundos do terreno. A porta é em madeira e está localizada em corredor de circulação de acesso às salas de aulas adjacentes. A sala possui piso cerâmico e ar condicionado.

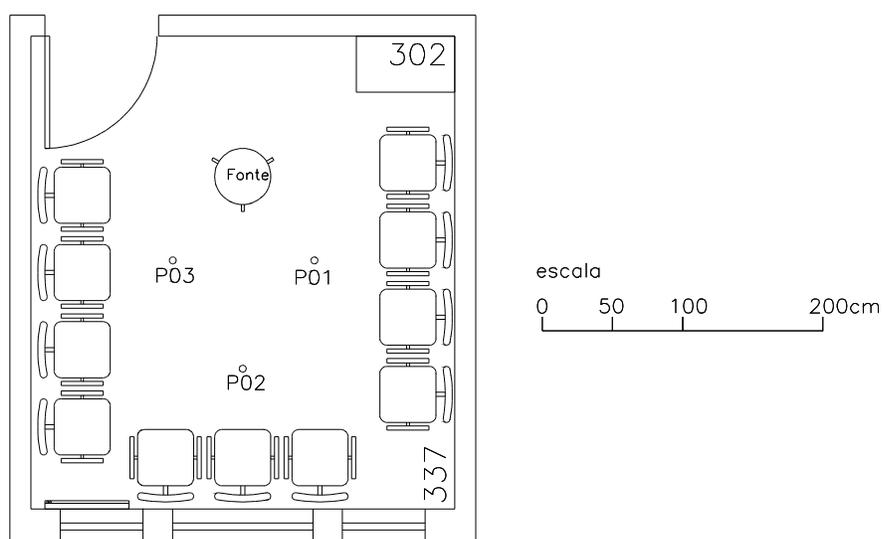


Figura 7.10 – Planta da sala de aula da escola E07 localizada na Rua João Batista Antonielli.

A sala de aula da escola E08 está localizada em um pátio interno descoberto, onde estão localizadas outras salas de aula. A parede dos fundos da sala faz divisa com a via, mas não possui aberturas, estas estão voltadas para o pátio interno. As paredes são em alvenaria e rebocadas, sendo o teto de laje. A porta e a janelas são de ferro e vidro, o piso é de cerâmica e a sala possui ar condicionado. Seu volume é de 40,50 m³ e está representada na figura 7.11.

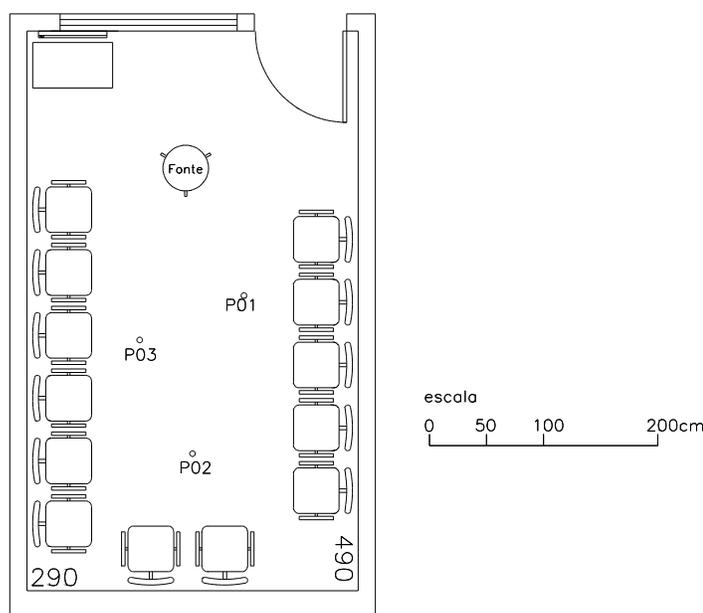


Figura 7.11 – Planta da sala de aula da escola E08 localizada na Avenida Antonio Augusto de Almeida.

A tabela 7.1 mostra um resumo dos dados obtidos no levantamento arquitetônico e construtivo das salas de aula, onde C é o comprimento, L é a largura, H é a altura, A representa a área de piso, S a área total de superfícies e V o volume. Os materiais construtivos e o mobiliário são bem semelhantes entre as salas de aula avaliadas nas escolas, sendo que em uma mesma escola as características são mantidas entre as diferentes salas de aula. Algumas salas de aula possuem ar condicionado e outras possuem ventilador.

Tabela 7.1 – Dados arquitetônicos e construtivos das salas de aula das escolas.

Sala de aula	Dados arquitetônicos e construtivos								V/ AC
	C (m)	L (m)	H (m)	A (m ²)	S (m ²)	V (m ³)	cadeiras	material	
Escola E01	3,80	3,00	2,75	11,40	60,20	31,35	11	1-2-3	AC
Escola E02	4,30	3,80	2,76	18,50	81,71	48,10	10	1*-2-3	V
Escola E03	5,00	3,15	2,30	15,75	68,99	36,22	12	1-2-3	AC
Escola E04	2,60	2,96	2,75	7,70	45,98	21,16	07*	1-2-3*	AC
Escola E05	3,90	2,90	2,80	11,31	60,70	31,67	10	1*-2-3	V
Escola E06	3,53	2,40	2,84	8,47	50,62	24,06	10	1-2-3	V
Escola E07	3,37	3,02	2,85	10,18	56,78	29,00	11	1-2-3	AC
Escola E08	4,90	2,90	2,85	14,21	72,88	40,50	13	1-2-3	AC

Legenda:

- Cadeiras estofadas, exceto *madeira.
- Acabamento: (1) piso cerâmico, exceto: * ardósia.
(2) parede alvenaria
(3) teto de laje, exceto: * gessos
- V – ventilador / AC – ar condicionado

7.2. Resultados e análise dos parâmetros acústicos medidos

Optou-se por apresentar e avaliar os resultados por parâmetros acústicos medidos nas salas de aula. As medições foram realizadas em horário de funcionamento das atividades, inclusive durante o período de aula em salas adjacentes.

7.2.1. Espectro sonoro

A medida do nível de pressão sonora em função da frequência foi feita em três pontos diferentes em cada sala de aula, como determina a norma NBR 10152 (ABNT, 1987) e representa o ruído de fundo da sala de aula. As medidas foram realizadas em duas situações: ar condicionado ou ventilador ligado e desligado. Como não houve diferenças significativas nos

resultados medidos por ponto nas duas situações, com exceção da frequência 125 Hz, eles são apresentados através das médias dos resultados dos três pontos medidos.

A tabela 7.2 mostra a média dos valores dos níveis de pressão sonora em função da frequência medidos nas salas de aula na situação de ar condicionado ou ventilador desligado. O intervalo de frequência medido foi em bandas de frequência de 1/1 oitava entre 125 e 4.000 Hz. Os resultados das medições nos três pontos estão apresentados no apêndice B.

Tabela 7.2 - Nível de pressão sonora em bandas de frequência de 1/1 oitava medido nas salas de aula com ar condicionado ou ventilador desligado.

Sala de aula	NPS (dB) com ar desligado					
	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Escola E01	53,4	44,0	39,5	30,9	25,8	21,4
Escola E02*	45,6	39,9	39,0	32,4	29,1	22,9
Escola E03	51,7	44,6	42,0	37,5	32,8	26,1
Escola E04	44,5	35,7	28,0	24,5	21,6	23,1
Escola E05*	47,9	42,9	35,6	35,3	35,6	34,4
Escola E06*	52,1	44,1	36,6	34,2	27,6	24,7
Escola E07	45,5	40,4	31,9	26,6	23,7	<20
Escola E08	48,7	42,3	30,7	24,5	21,2	27,0

(*) ventilador

A tabela 7.3 mostra a média dos valores dos níveis de pressão sonora medidos em função da frequência nas salas de aula na situação de ar condicionado ou ventilador ligado. O intervalo de frequência medido foi em bandas de frequência de 1/1 oitava entre 125 e 8.000 Hz. No apêndice C são apresentados os resultados das medidas realizadas nos três pontos.

Tabela 7.3 – Nível de pressão sonora em bandas de frequência de 1/1 oitava medido nas salas de aula com ar condicionado ou ventilador ligado.

Sala de aula	NPS (dB) com ar ligado						
	Frequência (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Escola E01	52,3	46,9	41,6	32,9	28,3	24,1	<20
Escola E02*	65,0	52,2	52,0	48,7	46,8	41,9	34,5
Escola E03	60,9	61,5	61,0	52,0	45,2	39,8	34,3
Escola E04	55,3	52,0	49,9	46,0	39,1	31,2	24,7
Escola E05*	60,0	57,9	59,0	59,1	56,2	50,9	43,3
Escola E06*	63,5	62,4	60,5	57,9	55,6	50,6	43,8
Escola E07	62,6	62,3	56,9	51,3	45,5	42,3	37,5
Escola E08	57,8	58,3	48,6	44,2	41,8	39,1	35,9

(*) ventilador

Analisando os dados das tabelas 7.2 e 7.3 nota-se que os níveis de ruído de fundo diminuem com o aumento da frequência. Nas frequências de 125 e 250 Hz, os valores de NPS são mais altos. No intervalo de frequências relativas à fala (500 e 2.000 Hz) os valores são menores. Quando os equipamentos, ar condicionado ou ventilador, são ligados os níveis de ruído de fundo aumentam em média 10 dB. O impacto dessa elevação é considerável e principalmente em dias de calor quando estes equipamentos são frequentemente ligados. Observa-se, porém, que a escola E01 apresenta uma variação menor nos seus níveis de ruído de fundo com ar condicionado ligado que as outras escolas. Isso pode ser explicado pelo tipo de equipamento que esta sala utiliza, é a única sala que possui ar condicionado sem sistema de compressor. Este tipo de sistema de ar condicionado é menos ruidoso que aqueles que possuem compressores, porém sua eficiência térmica é bem inferior, assim favorece o conforto acústico, mas não satisfaz o térmico.

7.2.2. Classificação NC

De acordo com a norma NBR 10152 (ABNT, 1987) o nível para conforto acústico de ambiente deverá ser analisado de acordo com o nível de pressão sonora medido em dB(A) ou

pela classificação do NC. Os níveis medidos representam o ruído de fundo do ambiente. O intervalo de valores para ruído de fundo considerado aceitável pela NBR 10152 em salas de aula segundo a classificação do NC varia entre 35 a 45.

Os valores de NC obtidos para as duas situações em que o espectro sonoro foi medido (ar condicionado ou ventilador ligado e desligado) são apresentados na tabela 7.4

Tabela 7.4 – Valores de NC das salas de aula com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado.

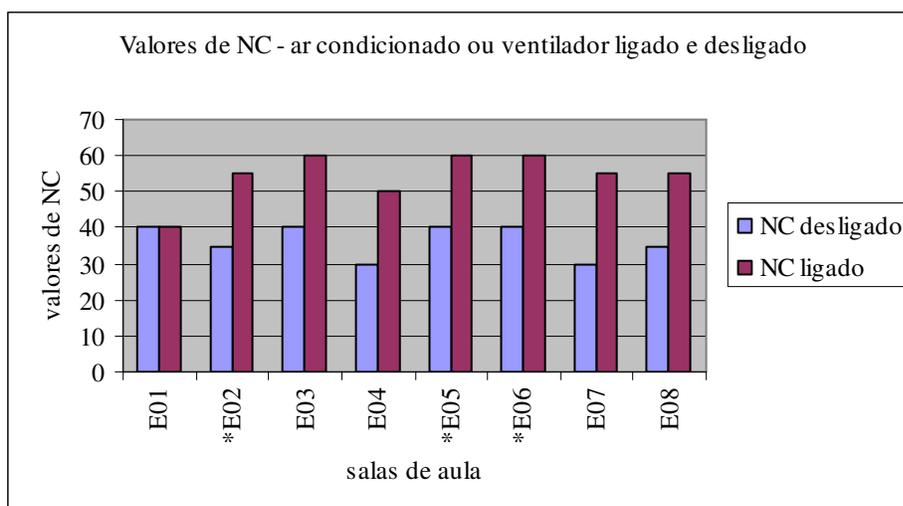
Sala de aula	NC ar condicionado desligado	NC ar condicionado ligado
Escola E01	40	40
Escola E02*	35	55
Escola E03	40	60
Escola E04	30	50
Escola E05*	40	60
Escola E06*	40	60
Escola E07	30	55
Escola E08	35	55

(*) ventilador

Avaliando o isolamento entre paredes nos ambientes internos das escolas, pode-se dizer que não há diferença entre as escolas avaliadas, pois todas foram construídas em alvenaria de tijolo. Observando os valores de NC medidos com equipamento desligado, pode-se fazer uma avaliação do ruído de fundo nas salas de aula em relação à sua localização na escola (ver croquis figura 7.1 e 7.2). As salas de aula que apresentam valores de NC mais baixos (NC 30) são as escolas E04 e E07, a sala de aula da escola E04 está localizada em um ponto distante da via e das áreas mais ruidosas da escola, como: recepção, salas de espera e áreas administrativas. A sala de aula da escola E07 possui fechamento total na sua fachada, o que impede a entrada de ruído causado por tráfego e veículos, além disso, todas as salas de aula se concentram em um bloco separado das áreas mais ruidosas da escola. Observando agora aquelas salas de aula que apresentaram os valores de NC intermediário (NC 35), que são as escolas E02 e E08, pode-se notar que as salas estão localizadas em pontos favoráveis ao isolamento em relação à via, porém encontram-se muito próximas a áreas internas ruidosas, no caso da escola E02 a sala de espera, e na escola E08 a recepção e setores de serviços. Por fim têm-se as salas de aula que apresentaram

os valores de NC mais elevados (NC 40), são as escolas E01, E03, E05 e E06. A sala de aula da escola E01 está localizada mais próxima da via e das áreas ruidosas internas, enquanto que a sala de aula da escola E03 está distante das áreas ruidosas, porém separada da via por um jardim e um muro, recebendo assim o ruído de fundo externo. As salas de aula avaliadas nas escolas E05 e E06 possuem suas janelas voltadas diretamente para a via, recebendo assim todo o ruído causado por tráfego de veículos.

Para uma melhor visualização, foi gerado um gráfico com os resultados da tabela 7.4 representado na figura 7.12, que compara os valores de NC com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado.



(*) ventilador

Figura 7.12 – Valores de NC com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado para as diferentes salas de aula.

Comparando os valores de NC encontrados com os recomendados pela norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987), na condição de ar condicionado desligado, observa-se que os valores de NC atendem a norma, e que em nenhum caso ele atinge o valor máximo de 45. As salas das escolas E04 e E07 apresentam os valores mais baixos que aqueles recomendados com aceitáveis.

Na condição de equipamento ligado, os valores de NC aumentaram, exceto para a sala da escola E01. O valor NC excede aos valores recomendados como aceitáveis e passam a não atender recomendação da NBR 10152 (ABNT, 1987). Observa-se que o valor de NC da sala de

aula da escola E01 não sofreu variação quando o ar condicionado foi ligado, isto é um indica que o equipamento usado nesta sala é mais silencioso que o equipamento usado nas outras salas. Observa-se aqui que devem ser tomados alguns cuidados na escolha de equipamentos que serão usados dentro de uma sala de aula, principalmente quando se trata de ar condicionado e ventilador, sempre que possível deve-se optar por aqueles menos ruidosos, para que o ruído de fundo não se torne elevado e prejudicial.

7.2.3. Nível de Pressão Sonora Equivalente – Leq

O nível de pressão sonora equivalente (Leq) foi medido em dB(A) nas salas de aula estudadas em três pontos diferentes, conforme a recomendação da NBR 10152 (ABNT, 1987). Como os resultados medidos não apresentaram diferenças significativas entre os valores medidos em cada ponto, foi feita uma média entre os valores encontrados. As medidas foram realizadas nas mesmas condições do espectro sonoro: com ar condicionado ou ventilador ligado e desligado. Os resultados das medidas por ponto encontram-se no apêndice D e a média dos resultados é apresentada tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Valores de Leq medidos em dB(A) para cada sala de aula.

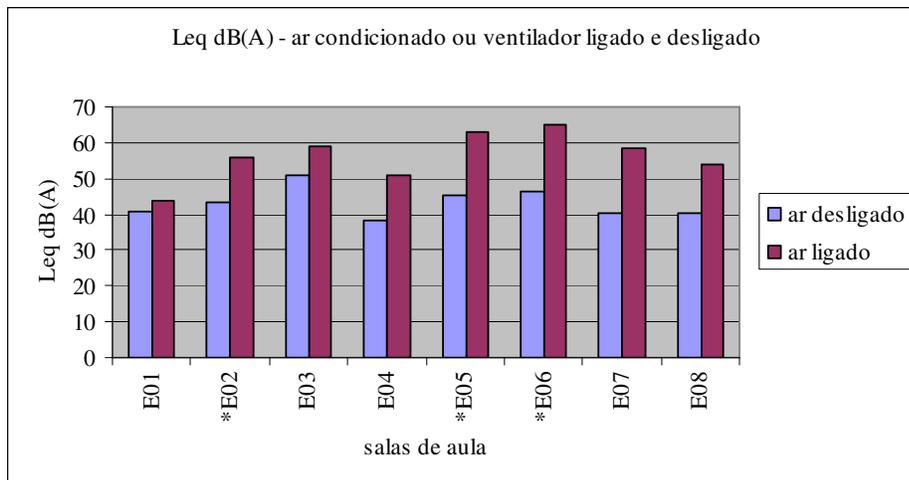
Sala de aula	Leq dB(A)	
	Ar cond. desligado	Ar cond. ligado
Escola E01	40,9	43,8
Escola E02*	43,3	56,0
Escola E03	51,0	59,1
Escola E04	38,5	51,1
Escola E05*	45,2	63,0
Escola E06*	46,4	65,0
Escola E07	40,4	58,5
Escola E08	40,3	53,8

(*) ventilador

Observando os resultados dos valores medidos para o NPS equivalente com equipamento desligado, nota-se que os valores mais baixos de Leq foram encontrados nas salas de aula das

escolas que apresentaram os valores de NC baixo e intermediário. A classificação NC avalia a influência do ruído de fundo em componentes espectrais, o que não acontece com o Leq, por isso existe essa variação nos seus valores entre Leq e NC, as frequências mais baixas contribuem mais nos valores de NC e menos nos de Leq, devido esta medida ser feita em dB(A).

A norma NBR 10152 (ABNT, 1987) recomenda para salas de aula a faixa de valores de nível de pressão sonora em dB(A) entre 40 a 50 dB(A). Observa-se que os níveis de pressão sonora obtidos nas salas de aula com o ar condicionado desligado atendem à recomendação da norma. Com os valores de Leq apresentados na tabela 7.5 foi gerado o gráfico mostrado na figura 7.13, para melhor visualização. Da análise do gráfico da figura 7.13, verifica-se que os valores de Leq aumentaram de 10 a 15 dB(A) com o ar condicionado ligado, ultrapassando os valores recomendados pela norma. O valor de Leq para a escola E01 reforça a avaliação feita sobre o espectro sonoro e da classificação NC de que o equipamento térmico utilizado nesta sala é mais silencioso, pois o valor de Leq sofre pequena alteração com o uso do ar condicionado.



(*) ventilador

Figura 7.13 – Leq em dB(A) para as salas de aula com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado.

7.2.4. Tempo de Reverberação – TR

O tempo de reverberação de uma sala depende do volume e da absorção dos materiais de revestimento das suas superfícies. Nas salas de aula avaliadas os materiais utilizados são bem semelhantes, tanto no que se refere aos materiais de acabamento quanto o mobiliário da sala. Os volumes das salas de aula variaram entre 20 e 50 m³. A análise do TR contribuiu para identificar a importância da absorção sonora e do volume nessas salas de dimensões reduzidas.

O tempo de reverberação foi medido nas salas de aula em função da frequência no intervalo de bandas de 1/1 oitava entre 125 e 8.000 Hz. As medidas foram realizadas em três pontos diferentes nas salas de aula avaliadas. Em análise preliminar, observou-se que não havia diferença significativa nos valores de TR entre os pontos medidos, assim, foram feitas as médias de valores por ponto e os resultados são apresentados no gráfico da figura 7.14. Os resultados das medidas por ponto é mostrado no apêndice E.

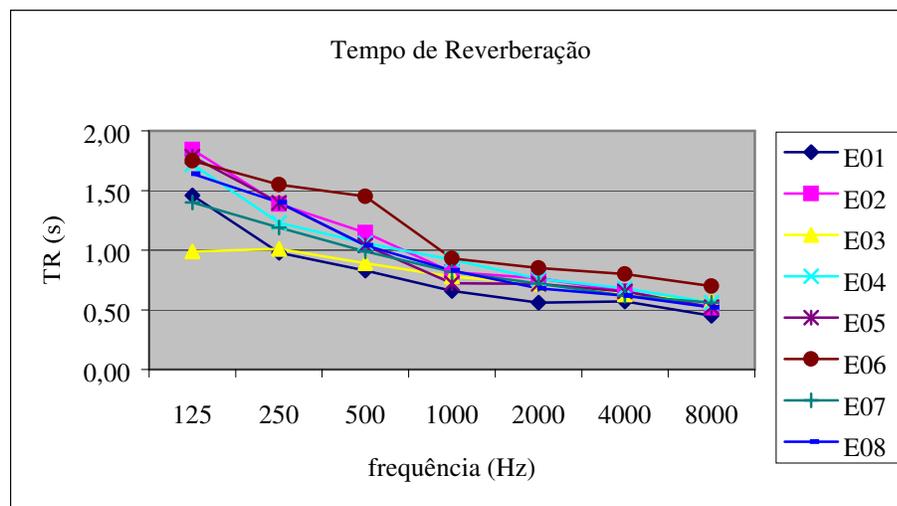


Figura 7.14 - Tempo de reverberação (segundos) em função da frequência.

Observando os resultados apresentados na figura 7.14, verifica-se que o TR nas salas de aula possui valores mais elevados nas frequências menores e decai com o aumento da frequência, isso acontece porque em salas de pequenos volumes o número de modos excitados é pequeno e a

absorção é pequena em baixa frequência, conseqüentemente têm-se tempos de reverberação maiores em baixas frequências (ROLLA e BARBOSA, 1993).

Na literatura, o tempo de reverberação ótimo refere-se ao TR na frequência de 500 Hz, que no caso das salas de aula é uma frequência importante para a fala. No Brasil, não existe uma norma específica para TR em salas de aula. Segundo Seep et al. (2002), o tempo de reverberação ideal para uma sala de aula deve variar entre 0,4 e 0,6 s. A tabela 7.6 apresenta os valores dos tempos de reverberação medidos nas salas de aula em função da frequência, com destaque para o TR na frequência de 500 Hz.

Tabela 7.6 – Tempos de reverberação em função da frequência.

Sala de aula	V (m ³)	TR (s)						
		Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Escola E01	31,35	1,46	0,98	0,83	0,66	0,56	0,57	0,45
Escola E02	48,10	1,84	1,39	1,15	0,82	0,77	0,66	0,52
Escola E03	36,22	0,99	1,01	0,89	0,78	0,72	0,63	0,57
Escola E04	21,16	1,72	1,23	1,06	0,92	0,76	0,68	0,56
Escola E05	31,67	1,79	1,40	1,04	0,72	0,72	0,65	0,52
Escola E06	24,06	1,75	1,55	1,45	0,93	0,85	0,80	0,70
Escola E07	29,00	1,40	1,19	0,99	0,82	0,72	0,62	0,56
Escola E08	40,50	1,64	1,40	1,04	0,83	0,68	0,62	0,52

Os tempos de reverberação medidos não atendem as recomendações para nenhuma das salas de aula avaliadas. O menor TR medido, na frequência de 500 Hz, foi 0,83 s na sala de aula da escola E01, que tem o volume de 31,35 m³; e o maior TR medido foi para a sala da escola E06 com 1,45 s, sendo que seu volume é de 24,06 m³. Isso mostra que as salas estão acusticamente deficientes em relação ao tempo de reverberação.

As salas de aula avaliadas não apresentaram nenhum tipo de material com características de absorção sonora, por isso deve-se pensar na colocação deste material para diminuir os valores do tempo de reverberação e melhorar o desempenho acústico nas salas. Os materiais disponíveis no mercado para melhorar a absorção sonora em ambientes geralmente apresentam coeficientes de absorção sonora com melhor desempenho a partir da frequência de 500 Hz. As salas de aula

avaliadas apresentaram valores de TR mais elevados nas frequências baixas, o que será difícil de resolver apenas com a aplicação de materiais absorvedores nas superfícies, neste caso, deve-se avaliar a possibilidade de colocar painéis ressonadores.

Foi feita uma simulação para avaliar se a colocação de material absorvedor amenizaria o problema dos tempos de reverberação elevados. A simulação foi feita com a aplicação de material absorvedor sonoro apenas no teto das salas de aula, para avaliar se seria suficiente a aplicação no teto ou se deveria ser aplicado em outras superfícies. Para o cálculo do tempo de reverberação foi usada a fórmula de Sabine com os coeficientes de absorção na frequência de 500 Hz. O material escolhido possui coeficiente de absorção sonora de 0,86 na frequência de 500 Hz (forro para absorção acústica das marcas Isover ou Illbruck). Se esses materiais fossem aplicados somente no teto das salas de aulas avaliadas, os tempos de reverberação encontrados variaram entre 0,36 a 0,45 segundos, o que seria ideal de acordo com uso desses ambientes.

7.2.5. Tempo de Decaimento Inicial - EDT

O tempo de decaimento inicial foi medido em função da frequência no intervalo de bandas de 1/1 oitava entre 125 e 8.000 Hz e em três pontos distintos em cada sala de aula, sendo os mesmos pontos utilizados para a medida do tempo de reverberação. Analisando previamente os resultados de EDT por ponto, verificou-se que não há diferenças significativas entre eles. Por isso foram feitas as médias dos valores medidos, que são apresentados na tabela 7.7 e graficamente na figura 7.15. Os resultados de EDT medidos em cada ponto estão contidos no apêndice F. Da análise dos resultados de EDT por pontos pode-se dizer que não foram encontradas diferenças significativas porque os pontos estão localizados a uma pequena distância entre eles, devido ao tamanho das salas avaliadas e ainda, essas salas não apresentam nenhum tipo de material com características de absorção sonora, o que poderia alterar os valores de EDT em pontos diferentes. O mesmo não acontece em salas maiores, principalmente aquelas destinadas a grandes concertos, pois o EDT é um importante parâmetro para avaliar a distribuição do som em grandes salas.

Tabela 7.7 – Valores de EDT em função da frequência.

Sala de aula	EDT (s)						
	Frequência (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Escola E01	1,18	1,07	0,84	0,66	0,59	0,54	0,47
Escola E02	1,94	1,33	1,00	0,84	0,74	0,66	0,50
Escola E03	0,98	1,19	0,99	0,86	0,73	0,67	0,57
Escola E04	1,61	1,04	1,03	0,91	0,84	0,68	0,57
Escola E05	1,71	1,33	1,07	0,79	0,73	0,60	0,50
Escola E06	1,57	1,17	0,92	0,75	0,77	0,69	0,56
Escola E07	1,10	1,11	0,79	0,77	0,63	0,62	0,54
Escola E08	1,42	1,39	1,00	0,76	0,64	0,58	0,53

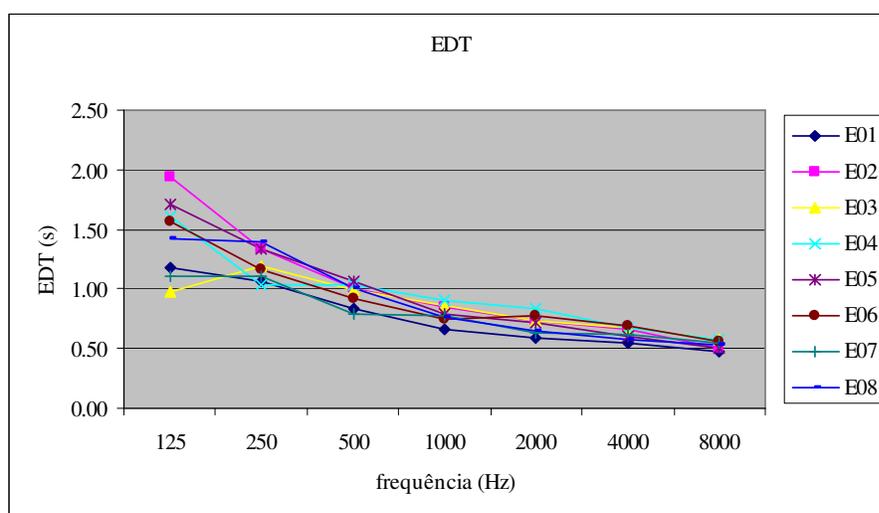


Figura 7.15 - EDT em função da frequência.

Da análise dos resultados da figura 7.15 verifica-se que o EDT possui valores maiores nas frequências mais baixas e decai à medida que a frequência aumenta, comportamento similar ao do tempo de reverberação. Quanto mais próximo o valor de EDT estiver de TR, melhor a qualidade acústica do ambiente, portanto para o parâmetro EDT tomou-se como valores ideais os indicados para TR, isto é, entre 0,4 a 0,6 s.

Comparando os resultados de EDT da tabela 7.7 com os TR da tabela 7.6 verifica-se que os valores destes dois parâmetros se aproximam, isso significa que o decaimento sonoro ocorre de forma homogênea dentro da sala. A escola E01 apresentou o menor EDT entre as escolas medidas, assim como ocorreu na medida do TR. A escola E06 apresentou a maior diferença entre

os resultados de EDT e TR. As salas de aula não apresentaram grandes diferenças entre os valores de EDT e TR, porque elas não possuem materiais absorvedores em nenhuma superfície. Por essas salas apresentarem dimensões reduzidas, a colocação de material absorvedor deve ser distribuída de forma mais homogênea possível. Uma boa maneira de fazer essa colocação é cobrindo toda a superfície do teto. No caso de serem colocados nas paredes, deve-se distribuir o material absorvedor também de forma homogênea, dividindo a área de cobertura necessária entre as paredes, exceto para aquela mais próxima da posição do professor nas salas de aula.

7.2.6. Definição - D50

O parâmetro definição mede a concentração da energia sonora nos primeiros 50 ms, o que é um importante reforço para o entendimento da fala. Sua medida foi realizada nas mesmas condições do TR e EDT, isto é, em função da frequência no intervalo de bandas de 1/1 oitava entre 125 e 8.000 Hz e nos mesmos três pontos nas salas de aula. O resultado dos valores medidos em cada ponto são mostrados no apêndice G. Como foi verificado em análise preliminar que não havia diferença significativa entre os valores dos resultados medidos, foram feitas as médias por ponto que são apresentados na tabela 7.8 e no gráfico da figura 7.16.

Tabela 7.8 – Valores de D50 em função da frequência.

Sala de aula	D50						
	Frequência (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Escola E01	0,41	0,50	0,52	0,60	0,65	0,67	0,68
Escola E02	0,36	0,39	0,46	0,59	0,60	0,65	0,76
Escola E03	0,45	0,36	0,46	0,57	0,57	0,60	0,67
Escola E04	0,40	0,52	0,54	0,57	0,57	0,64	0,71
Escola E05	0,31	0,43	0,50	0,59	0,62	0,66	0,75
Escola E06	0,37	0,37	0,36	0,54	0,45	0,45	0,54
Escola E07	0,46	0,56	0,67	0,68	0,68	0,69	0,77
Escola E08	0,41	0,47	0,54	0,64	0,68	0,71	0,77

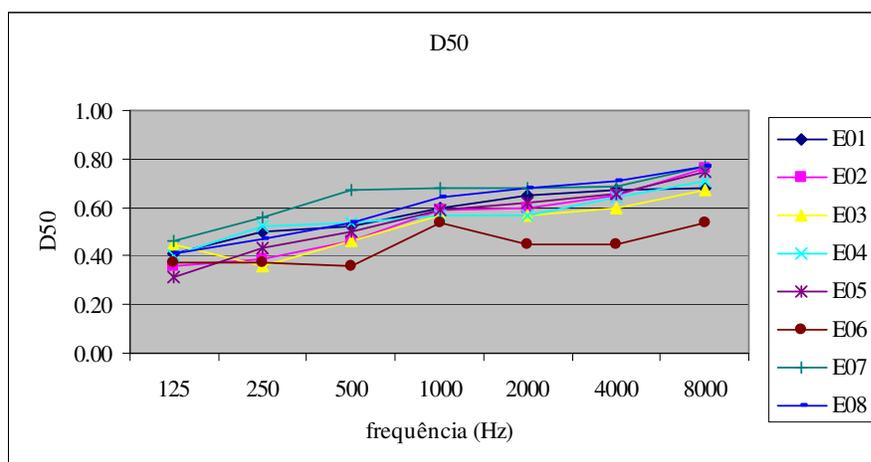


Figura 7.16 –D50 em função da frequência.

De acordo com Ribeiro (2002), o valor de D50 para sala de palavra falada (conferências) deve ser igual ou superior a 0,65 em todas as frequências. Observa-se no gráfico da figura 7.16 que a tendência do parâmetro D50 é aumentar com a frequência. Exceto para a sala de aula da escola E07 que atende o valor recomendado para as frequências acima de 500 Hz, nenhuma escolas atende ao parâmetro. A energia sonora concentrada nos primeiros 50 ms ajuda reforçar a fala, o que seria um fator de contribuição para melhorar a inteligibilidade, a energia sonora que ultrapassa os primeiros 50 ms se compõe com a energia restante, propiciando a mistura entre as sílabas sequenciais de uma palavra, dificultando seu entendimento. O D50 é um parâmetro até o momento pouco pesquisado, por isso sua influência na qualidade da inteligibilidade da fala ainda não está clara, principalmente no caso de salas com dimensões reduzidas, por isso esse é um parâmetro que merece uma avaliação mais aprofundada.

7.2.7. Parâmetros de Inteligibilidade

O índice de transmissão da fala, o índice rápido de transmissão da fala e a porcentagem de consoantes não compreendidas são parâmetros que avaliam a qualidade da inteligibilidade da fala na sala. As medidas foram realizadas em três pontos, sendo os mesmos utilizados para os parâmetros anteriores. Após análise prévia dos resultados, verificou-se que não havia diferença

significativa entre os resultados por pontos, sendo assim foram feitas as médias dos valores encontrados. Os resultados medidos por ponto estão apresentados no apêndice H. As medições foram realizadas segundo os filtros de frequência para orador do sexo feminino e masculino e para o filtro RASTI (frequência entre 500 e 2.000 Hz), nas situações de ar condicionado ou ventilador ligado e desligado. As porcentagens de consoantes não compreendidas também são apresentadas juntamente com os respectivos valores de STI, para cada filtro de frequência medido e nas duas situações de ruído de fundo.

A tabela 7.9 mostra os resultados dos valores de STI feminino, STI masculino, RASTI e o %ALC com ar condicionado desligado nas salas de aula das oito escolas. Segundo Fernandez et al. (1997), os valores para STI e RASTI ideais devem ser superiores a 0,60 e os valores de %ALC devem estar entre 0 a 7,0 para garantir a qualidade da inteligibilidade da fala. Para fazer uma melhor visualização dos resultados encontrados, os valores de STI, RASTI e %ALC estão representados no gráfico da figura 7.17.

Tabela 7.9 – Valores de STI fem, STI mas, RASTI e %ALC com ar condicionado ou ventilador desligado.

Salas de aula	STI fem	%ALC	STI masc	%ALC	RASTI	%ALC
Escola E01	0,69 (bom)	4,0	0,66 (bom)	4,6	0,65 (bom)	5,1
Escola E02*	0,59 (aceitável)	7,0	0,59 (aceitável)	6,8	0,43 (pobre)	16,8
Escola E03	0,63 (bom)	5,8	0,62 (bom)	5,8	0,59 (aceitável)	6,8
Escola E04	0,63 (bom)	5,7	0,61 (bom)	6,2	0,58 (aceitável)	6,9
Escola E05*	0,60 (bom)	6,9	0,59 (aceitável)	7,0	0,58 (aceitável)	7,4
Escola E06*	0,61 (bom)	6,4	0,60 (bom)	6,7	0,56 (aceitável)	7,0
Escola E07	0,61 (bom)	6,1	0,61 (bom)	6,3	0,64 (bom)	5,3
Escola E08	0,61 (bom)	6,2	0,61 (bom)	6,2	0,62 (bom)	5,9

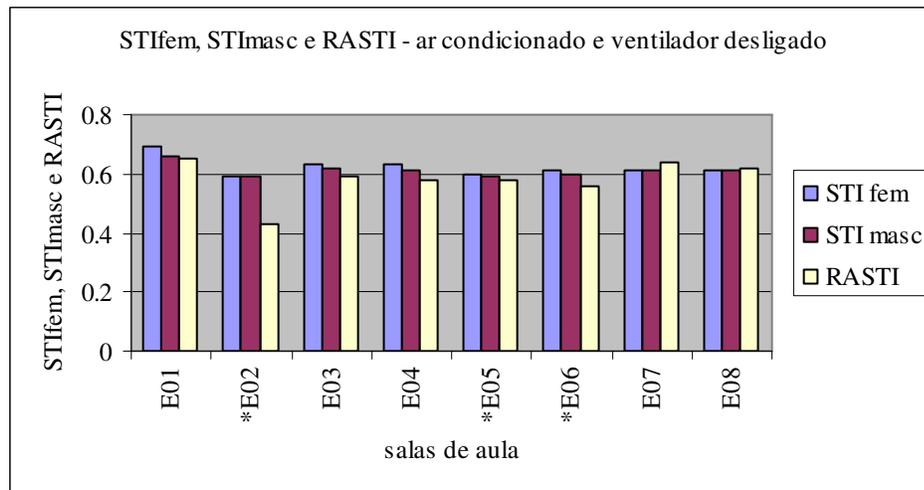


Figura 7.17 – Gráfico de STI e RASTI para ar condicionado ou ventilador desligado.

Segundo Tisseyre, Moulinier e Rourd (1998) para que uma sala seja considerada de percepção excelente o valor de STI deve ser igual ou superior a 0,75, nesta situação o ouvinte deve ouvir as palavras sem qualquer esforço. Nenhuma escola apresentou essa qualidade para a inteligibilidade da fala. Pode-se notar que os valores diminuem quando o equipamento simula a voz do orador masculino e no RASTI, essa variação é pequena em termos numéricos, considerando que as salas de inteligibilidade boa ($STI > 0,60$) apresentam os valores muito próximos ao valor mínimo indicado, exceto para a escola E01. A sala da escola E02 possui seus valores inferiores ao considerado bom. Podemos notar que quando os valores de STI diminuem, a porcentagem de consoantes não compreendidas aumenta, aumentando a dificuldade de entendimento das palavras. Da análise dos resultados de STI e RASTI pode-se dizer que mesmo apresentando tempos de reverberação elevados a qualidade da inteligibilidade em salas de aula de dimensões reduzidas pode ser boa, quando submetida a níveis de ruído de fundo baixos.

A tabela a 7.10 apresenta os valores de STI feminino, STI masculino, RASTI e as respectivas %ALC medidos nas salas de aula quando o ar condicionado ou o ventilador foi ligado. Com os resultados da tabelas 7.10 foi gerado o gráfico da figura 7.18, para melhor visualização.

Tabela 7.10 – Valores de STI feminino, STI masculino, RASTI e %ALC com ar condicionado ou ventilador ligado.

Salas de aula	STI fem	%ALC	STI masc	%ALC	RASTI	%ALC
Escola E01	0,67 (bom)	4,4	0,67 (bom)	4,6	0,64 (bom)	5,2
Escola E02*	0,53 (aceitável)	10	0,51 (aceitável)	10,9	0,47 (aceitável)	13,7
Escola E03	0,51 (aceitável)	10,6	0,52 (aceitável)	10,2	0,44 (pobre)	16,2
Escola E04	0,61 (bom)	6,2	0,60 (bom)	6,6	0,57 (aceitável)	7,8
Escola E05*	0,34 (pobre)	27,1	0,35 (pobre)	25,7	0,28 (ruim)	38,7
Escola E06*	0,15 (ruim)	76,7	0,11 (ruim)	96,5	0,05 (ruim)	100
Escola E07	0,31 (ruim)	32,2	0,33 (pobre)	29	0,22 (ruim)	51,6
Escola E08	0,52 (aceitável)	10,2	0,52 (aceitável)	10,1	0,48 (aceitável)	12,5

(*) ventilador

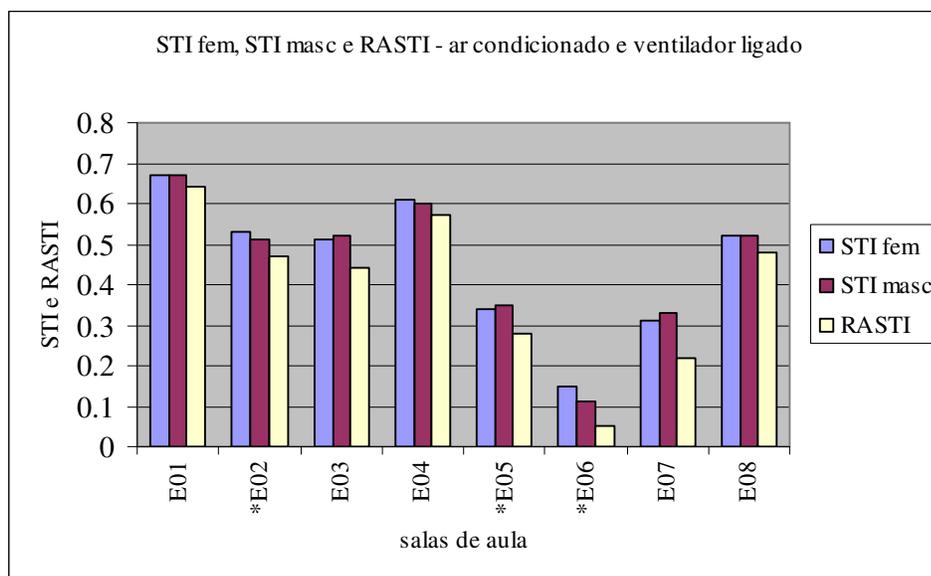


Figura 7.18 – Gráfico de STI e RASTI para ar condicionado ou ventilador ligado.

Com o aumento de ruído de fundo causado pelo uso dos equipamentos ligados, os valores de STI e RASTI diminuiram. Exceto para as salas de aula das escolas E01 e E04, todas as salas

ficaram com a qualidade da inteligibilidade comprometida ($STI < 0,60$), sendo que as escolas E05, E06 e E07 apresentam as piores situações ($STI < 0,30$). Conseqüentemente, nota-se o aumento nos valores de %ALC.

Comparando os valores de STI com os valores de Leq na situação de equipamento ligado, nota-se três tipos situações, a sala de aula da escola E01, tem pequena queda nos valores de STI permanecendo com qualidade boa para a inteligibilidade, pois esta sala possui um equipamento de ar condicionado mais silencioso que aqueles utilizados nas outras salas segundo foi constatado nas avaliações de ruído de fundo. Na outra situação temos as salas de aula das escolas E02, E03 e E08 que tiveram a qualidade da inteligibilidade caindo de boa ($STI < 0,60$) para aceitável ($0,45 < STI < 0,60$) quando o equipamento é ligado, nota-se que houve um aumento nos de Leq de 10 dB(A) em média. Na terceira situação, temos as salas de aula das escolas E05, E06 e E07, que tiveram a maior queda na qualidade da inteligibilidade ($STI < 0,45$) e também o maior aumento nos valores de Leq quando o equipamento foi ligado, em média 18 dB(A) mais alto, com isso, nota-se a influência do ruído de fundo. O uso de equipamentos ruidosos causa um grande impacto na qualidade da inteligibilidade da fala, assim sua escolha deve ser cuidadosa. A sala de aula da escola E04 ocorreu uma situação atípica, pois mesmo tendo o valor de Leq aumentando 12 dB(A), não houve alteração nos valores de STI, neste caso mesmo com ruído de fundo elevado, a qualidade da inteligibilidade não foi muito alterada, esta é a sala que apresenta menor volume e área entre as salas estudadas. Esta sala merece um estudo mais detalhado de seus parâmetros, pois é uma sala de dimensões bem reduzidas, conseqüentemente ela sofre grande influência de sua geometria, se as medidas tivessem sido feitas na sala vazia, poderia ter apresentado resultados deferentes. Como a sala foi medida na presença de objetos, isso altera a questão ondulatória da acústica (modos normais) e tem influência significativa nas baixas frequências.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa pode-se constatar alguns pontos que favorecem a qualidade acústica nas salas de aulas e outros que prejudicam, mas que podem ser resolvidos ou minimizados para que o desempenho acústico seja majorado.

Da análise das plantas das escolas pôde-se notar que o ruído de fundo, causado por tráfego de veículos ou por áreas ruidosas internas na escola, pode ser evitado ou minimizado ainda na fase de projeto. O arquiteto antes de iniciar o projeto ou reforma de uma escola deve avaliar a posição das fontes ruidosas em relação às salas de aulas. Para evitar o ruído de fundo externo à edificação, deve-se pensar no tipo material para fechamento da fachada e principalmente evitar que as salas de aula tenham janelas voltadas diretamente para a via. As áreas da escola com atividades mais ruidosas provocadas devido ao maior fluxo de usuários, como recepção, sala de espera e administração, podem estar concentradas mais próximas à via, deixando as áreas mais distantes da via livres para serem ocupadas por espaços destinados às salas de aula ou aqueles que exijam menor ruído de fundo.

Este fato foi mostrado na avaliação do parâmetro NC, onde as escolas que apresentaram os maiores valores foram aquelas que estão situadas mais próximas à via e às áreas internas ruidosas. Os valores de NC intermediários ficaram com aquelas salas de aula que estavam mais distantes da via, porém próximas às áreas internas ruidosas. A situação de ruído de fundo mais baixo foi encontrado nas salas de aula que além de estarem situadas longe das vias estavam também isoladas de áreas internas ruidosas.

Assim, os projetistas devem procurar setORIZAR as atividades de acordo com o uso para garantir níveis de ruídos de fundo mais baixos nas salas de aula. As salas de aula voltadas para

pátios internos não apresentaram níveis de ruído de fundo elevados, o que seria comum em escolas convencionais, porque em escolas de idioma dificilmente há outra atividade no horário das aulas, pois os alunos permanecem na escola somente durante o tempo destinado à aula.

Outro ponto importante, ainda referente ao ruído de fundo observado nesta pesquisa, foi o uso equipamentos, como ar condicionado e ventilador, dentro da sala de aula, eles são responsáveis pela elevação dos níveis de ruído quando ligados. Apenas um caso apresentou os níveis de ruído de fundo praticamente inalterado quando o equipamento permanecia ligado, foi a escola que utilizava o ar condicionado de modelo sem compressor, que é mais silencioso que os outros, porém seu desempenho térmico é inferior. Desta forma, a escolha de um equipamento a ser utilizado em sala de aula deve ser cuidadosa, procurando, sempre que possível, instalar equipamentos menos ruidosos, levando em conta que o uso de um equipamento inadequado e muito ruidoso pode causar prejuízos na qualidade do ensino.

Quanto aos materiais construtivos empregados nas escolas, todas apresentaram as mesmas características com pequenas variações, as paredes das salas de aula são todas em alvenaria de tijolo, os tetos são de laje, com exceção de uma escola que possui forro de gesso e os pisos são de cerâmica ou ardósia. Todos estes materiais são considerados bastante reflexivos, o que não contribui para absorção das reflexões sonoras, causando tempos reverberação elevados e acima daqueles considerados ideais, isso pôde ser comprovado na avaliação dos resultados deste parâmetro. Todas as salas de aula avaliadas necessitam de tratamento para melhorar a absorção sonora. Como as salas de aula possuem dimensões reduzidas a colocação desses materiais com características de absorção sonora deve ser feita de forma homogênea e de preferência no teto, para que a sala toda seja beneficiada.

Nestas salas de aula de dimensões reduzidas as reflexões sonoras são altas também em baixa frequência, o que não pode ser solucionado apenas com o uso de materiais absorvedores sonoros, que possuem desempenho maior para as frequências acima de 500 Hz. Neste caso podem ser colocados painéis ressonadores para eliminar o problema das reflexões em baixa frequência.

Nesta pesquisa, as salas de aula apresentaram qualidade boa para a inteligibilidade da fala mesmo apresentando o tempo de reverberação elevado. Por isso, notou-se que em salas de dimensões reduzidas o tempo de reverberação pode ser um pouco mais elevado que os valores recomendados sem prejudicar muito a comunicação verbal. Porém, esta qualidade pode ser melhorada e chegar a valores que possibilitem uma qualidade excelente, para isso é necessário que seja feito tratamento acústico nestas salas com materiais absorvedores sonoros. A qualidade da inteligibilidade diminui quando os níveis de ruído aumentaram com o uso de equipamento ligado, com isso pode-se dizer que o ruído de fundo é um fator que deve ser visto com cuidado para garantir o desempenho acústico de uma sala de aula que visa a inteligibilidade da fala.

Espera-se que esta pesquisa tenha contribuído para auxiliar projetistas e profissionais ligados à escolas que adotam salas com dimensões reduzidas para salas de aula, pois aponta problemas que podem ser evitados e algumas soluções que podem ser adotadas nas salas de aula com esta característica para melhorar o desempenho acústico e a qualidade da inteligibilidade, o que leva a ganhos no processo de ensino-aprendizado.

Ainda existem poucas pesquisas sobre salas de aulas de dimensões reduzidas no Brasil, esta pesquisa pode ser aprofundada e avaliar melhor os parâmetros escolhidos e os problemas que foram apontados e não solucionados. Além disso, a sala de aula é apenas parte integrante de uma escola, onde existem muitas questões acústicas que podem ser levadas em consideração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Avaliação do nível de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 101**: Tratamento Acústico em Recintos Fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASHA - AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION. **Guidelines for addressing acoustics in education settings**. Rockville: American Speech-language-hearing Association, 2003. Disponível em <<http://www.asha.org/NR/rdonlyres/4110318E-8F48-4DB4-8938-9BA15EB8BAAC/0/V2GLAcoustics.pdf>>. Acesso em: 09 junho 2004.

AIREY, Sharon. The effects of classroom acoustics on school teachers. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NOISE CONTROL FOR EDUCATIONAL BUILDINGS. 2000, Istambul. **Proceedings of the...** Istambul: 2000. p. 1-12.

ALVES, C.; PIZZUTTI, J. L. Controle de poluição sonora no Rio Grande do Sul. *In*: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 443-446.

BATISTA, Norma N.; SLAMA, Jules G. Uma avaliação da interação entre o projeto arquitetônico e o projeto acústico. *In*: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA DO MERCOSUL, 1; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 523-526.

BERANEK, Leo L. **Noise and vibration control engineering: principles and applications**. New York: J. Willey, 1992.

BERNARDI, Núbia. **Avaliação de interferência comportamental do usuário para melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: estudo de caso em Campinas/SP.** 2001. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

BERTOLI, Stelamaris Rolla. Avaliação do conforto acústico de prédio escolar da rede pública: o caso de Campinas. *In*: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6; ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 3, 2001, São Pedro. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM.

BERTOLI, Stelamaris Rolla; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.; FILHO, Francisco Borges; LABAKI, Lucila C.; PINA, Silvia A. Mikami; RUSCHEL, Regina Coeli; CAMARGO, Renata Faccin, BERNARDI, Nubia. Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares na região de Campinas. Relatório científico FAPESP. Departamento de Arquitetura e Construção. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

BERTOLI, Stelamaris Rolla; NAGEM, Mirian Pompeu. Desempenho acústico de uma sala de aula com características especiais. *In*: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 20; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2002. 1 CD-ROM.

BERTOLI, Stelamaris Rolla; GOMES, Márcio Henrique de Avelar. **Técnicas de Medição para Acústica de Salas.** [Material didático para o curso de extensão universitária. Adaptado da apostila do curso Técnicas de Medição em Acústica do professor Michael Vorländer, Alemanha]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2005. 66p.

BISTAFA, Sylvio Reynaldo. **Acústica Arquitetônica: Qualidade Sonora em Salas de Audição Crítica.** Descrição Detalhada. São Paulo: CNPq, 2003. 25p. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/acusarq_CNPq.pdf>. Acesso em: 28 agosto 2003.

BRADLEY, John S. Optimising sound quality for classrooms. *In*: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 20; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2002. 1 CD-ROM.

BRASIL. **Ministério da Educação e Cultura.** Legislação educacional. Resposta do MEC ao email enviado: 10 abril 2006. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=content&task=view&id=351&Itemid=511>>. Acesso em: 10 abril 2006.

BRASIL. **Ministério da Educação e Cultura.** SAEB - Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica. Resposta do SAEB ao email enviado: 10 abril 2006. Disponível em <<http://www.inep.gov.br/basica/saeb/default.asp>>. Acesso em: 10 abril 2006.

BRÜEL & KJAER. Dirac Room Acoustics Software Type 7841 Version 3.0. **Instruction Manual.** Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2003.

CASALI, J. L. B. Acoustical litigation issues in community noise annoyance. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRAC, 2000. p. 1-16.

CELANI, Alessandra Caffarena; BEVILACQUA, Maria Cecilia; RAMOS, Carlos Robinson. Ruído em escolas. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**, v. 6, n. 2, p. 1-4, set. 1994.

DE MARCO, Conrado Silva. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982.
DIAZ, C.; VELAZQUEZ, C. A live evaluation of RASTI-Method. **Applied Acoustics**, v. 46, n. 1, p. 363-372, Jan. 1995

EGAN, M. David. **Architectural acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1988.

ENIZA, Alexandre; GARAVELLIA, Sergio L. Acústica de salas de aulas: estudo de caso em duas escolas de rede privada do DF. **Acústica e vibrações**, v. 31, p. 2-7, jul. 2003.

ERDREICH, J., MORAN, E, **Why do we make it difficult for students to hear in class? Scientists and engineers to discuss problems and practical solutions**. Disponível em <http://www.acoustics.org/133r/class_release.html> Acesso em 8 de abril de 1999.
EARTHMAN, G. I.; LEMASTERS, L. Where children learn: a discussion of how a facility affects learning. *In: MEETING OF VIRGINIA EDUCATION FACILITY PALNNERS*. **Anais...** Blacksburg: 1998.

FERNÁNDEZ, J. M. del Moral; CANO, M. Ortega; CARRANZA, C. de Castro; DOMÍNGUEZ, E. Gaité. Determinación del índice de inteligibilidad de un recinto mediante la relación señal-ruído y el tiempo de reverberación. *In: JORNADAS NACIONALES DE ACÚSTICA Y ENCUESTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA*, 28, 1997, Oviedo. **Tecniacustica**. Oviedo: Tecniacustica, 1997. Disponível em: < <http://www.ia.csic.es/Sea/publicaciones/4355hy013.pdf>> Acesso em: 10 de janeiro de 2006.

GATHERCOLE, S.; BADDELEY, A. **Working memory and language**. Hove: LEA, 1993.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2.ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GERGES, Samir N. Y.; VIEIRA, Sofia; ALARCÃO, D.; COELHO, J. L. Bento; ZINDELUK, Moisés. Assessment of classroom acoustics – a quantitative survey. *In: ICSV – INTERNACIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION*, 12, 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2005. 1 CD-ROM.

GRAÇA, Valeria Azzi Collet da. **Otimização de projetos arquitetônicos considerando parâmetros de conforto ambiental: o caso das escolas da rede estadual de São Paulo**. 2002. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

GUTIÉRREZ, Victoria E González; , LACORZANA, José M. Pérez. Estudio de inteligibilidad en aulas de Navarra. *In: FORUM ACUSTIUM*, Sevilla, **Anais...** Sevilla: FORUM ACUSTICUM, 2002. Disponível em: <<http://www.ia.csic.es/Sea/sevilla02/arcgen013.pdf>> Acesso em: 10 de janeiro de 2006.

HOUTGAST, T. The effect of ambient noise on speech intelligibility in classrooms. **Applied Acoustics**, v. 14, n. 1, p. 15-25, Jan-Feb.1981.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Internacional Standard IEC 60268-16** – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Genova: 2003, 3 ed.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Standard ISO 3382:1997** Acoustics: Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Genova: 1997.

KINSLER, Lawrence E.; FREY, Austin R.; COPPENS, Alan B.; SANDERS, James V. **Fundamentals of acoustics**. New York: J Wiley, 1982.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.; NASCIMENTO, Marlei G. do; SOUZA, Suzana N. P. de Oliveira e; FILHO, Francisco Borges; SILVA, Daniel da R.C.; LABAKI, Lucila C.; PINA, Silvia M. G.; BERNARDI, Núbia. Divulgação do conhecimento em conforto ambiental. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 6; ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 3, 2001a, São Pedro. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.; GRAÇA, Valéria A. C. da; PETRECHE, João R. D.; YEE, Cheng Liang. Otimização de projetos das escolas da rede estadual de São Paulo considerando conforto ambiental. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 6; ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 3, 2001b, São Pedro. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM.

LAVILLE, A. **Ergonomia**. São Paulo: EPU Editora da USP, 1977.

LAZARUS, H. Noise and communication: The present state. *In: International Congress on Noise as a Public Health Problem*, 7, 1998, Sidney. **Noise effects '98 Proceedings of the...** Sidney: Noise Effects '98 PTY LTD, 1998. v. 1, p. 157-162.

LOSSO, Marco A.; VIVEIROS, Elvira B. Avaliação acústica de edificações escolares em Santa Catarina. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, 20; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2002. 1 CD-ROM.

- LOSSO, Marco A.; VIVEIRO, Elvira B.; FIGUEIREDO, Thaís. Avaliação físico-construtiva de escolas estaduais catarinenses visando o conforto acústico. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 7; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFSC, 2003. p. 463-470.
- LUBMAN, David; SUTHERLAND, Louis C. Good classroom acoustic is a good investment. *In: ICA – INTERNACIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS*, 17, 2001, Roma. **Anais...** Roma, 2001. 4 CD-ROM, vol 3.
- MARTINS, Marielaine Iria Merli; TAÚ, Mayra de Castro; UNZUETA, Verônica Mariana Palenque; MOMENSOHN-SANTOS, Teresa M.. A interferência do ruído no reconhecimento da fala: análise do ambiente e da voz do professor. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, 20; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2002. 1 CD-ROM.
- MEDRADO, Ludimila O.; TENENBAUM, Roberto A. Speech intelligibility in university classroom: an improved metric to assess high background noise level. *In: INTERNOISE - THE INTERNACIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING*, 34, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2005. 1 CD-ROM.
- MIR, Sabeer H.; ABDU, Adel A. Impact of educational equipment noise on smart classroom acoustics. *In: INTERNOISE - THE INTERNACIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING*, 34, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2005. 1 CD-ROM.
- MEHTA, Madan; JOHNSON, James; ROCAFORT, Jorge. **Architectural acoustics: principles and design**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1999.
- MILLER, G. A.; NICELY, P. E. An analysis of perceptual confusions among some english consoants. **Journal of the Acoustic Society America**. v. 27, p. 01-14, 1955.
- NABUCO, Marco; MULLER, Swen; MASSARANI, Paulo. Medição de inteligibilidade da palavra em duas escolas estaduais do Rio de Janeiro. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, 20; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2002. 1 CD-ROM.
- NEPOMUCENO, L. X. **Acústica técnica**. São Paulo: Etegil, 1977.

OITICICA, Maria Lucia; DUARTE, Elizabeth de Albuquerque Cavalcanti; SILVA, Luiz Bueno da. Análise da inteligibilidade da fala de uma sala de aula em situações diversas de climatização dentro do contexto acústico. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. Anais...* Curitiba: UFSC, 2003. p. 479-486. 1 CD-ROM.

PAIXÃO, Dinara Xavier. **Análise das condições acústicas em salas de aula.** 1997. 171 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

PAIXÃO, Dinara Xavier; SANTOS, Jorge Luiz Pizzutti. A acústica da sala de aula. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 16, 1995, São Paulo. Anais...* São Paulo: Plêiade Ltda M E, 1995. p. 61-64.

PAMPANA, Antonio Edevaldo; FARIA, João Roberto Gomes de; SOUZA, Lea Cristina Lucas de. Desempenho acústico de edificações de escolas de ensino fundamental da cidade de Bauru (SP). *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. Anais...* Curitiba: UFSC, 2003. p. 471-478.

PAYA, **Isolamento térmico e acústico.** Barcelona: Plátano Edições Técnicas, 1994.

PEDRAZZI, Thayse; ENGEL, Daniel; KRÜGER, Eduardo; ZANNIN, Paulo Henrique Trambetta. Avaliação do desempenho acústico em salas de aula do Cefet-PR. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO SOBRE AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6; ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 3, 2001, São Pedro. Segunda Coletânea de Anais...* Curitiba, 2003. 1 CD-ROM.

PEUTZ, V. M. A. Articulation Loss of Consoants as a Criteria for Speech Transmission in a Room. **Journal of Audio Engineering Society.** v. 19, n. 12, Dec. 1971.

PICARD, M., BRADLEY, J. S. **Revising speech interference by noise in classroom and considering some possible solution.** Disponível em <<http://www.acoustics.org/133r/2paaa3.html>>. Acesso em 8 de abril de 1999.

RICHTER, Roberto Paulo. O ensino da acústica na escola de arquitetura. **Boletim mensal brasileiro de acústica.** v. 2, n. 46, p. 1-4, Fev. 1962.

RIBEIRO, Maria Rosa Sá. Room Acoustic Quality of a Multipurpose Hall: A Case Study. *In: FORUM ACUSTICUM SEVILLA, 2002, Sevilla. Anais...* Sevilla: FORUM ACUSTICUM, 2002. Disponível em <<http://www.ia.csic.es/Sea/sevilla02/rba02013.pdf>>. Acesso em: 05 julho 2006.

ROLLA, Stelamaris; BARBOSA, Miriam Jeronimo. Avaliação e proposta de solução para conforto acústico do núcleo de desenvolvimento infantil (NDI) da UFSC. *In*: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENCAC, 1993. p. 295-299.

ROSA, Adriana Aparecida Carneiro. **Avaliação do conforto acústico de consultórios odontológicos.** 2003. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

RUDLOFF, F.; SCHUSCHKE, G. Akustischer Sanierungsbedarf von Alt- und Neubauschulen einer Großstadt bei Anwendung störungsbezogener Bewertungsverfahren. **Forum Städte-Hygiene.** v. 44, p. 163 – 168, Juli/August 1993.

RUSSO, Ieda; BEHLAU, Mara. **Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro.** São Paulo: Lovise, 1993.

_____, Ieda. **Acústica e psicoacústica aplicadas à fonoaudiologia.** São Paulo: Editora Lovise, 1999.

SABINE, Wallace Clement. **Collected papers on acoustics.** New York: Dover, c1964.

SALA, E.; VILJANEN, V. Improvement of acoustic conditions for speech communication in classrooms. **Applied Acoustics.** v. 45, n. 1, p. 81-91, 1995.

SANTOS, Maria Julia de Oliveira; SLAMA, Jules G. Ruído no ambiente escolar: causas e conseqüências. *In*: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENCAC, 1993. p. 301-306.

SEEP, Benjamin; GLOSEMEYER, Robin; HULCE, Emily; LINN, Matt; AYTAR, Pamela. Acústica de salas de aulas. Tradução de Stephanie L. B. Mondl. **Acústica e Vibrações.** v. 29, p. 2-22, 2002.

SCHNEIDER, Mark. Do school facilities affect academic outcomes? **National Clearinghouse for Educational Facilities.** NOV 2002. Washington: Ed Facilities, 2002

SERRA, M. R.; BIASSONI, E. C. Influência de los parametros acusticos de recintos escolares em los procesos de compresion y mamorizacion. *In*: ENTAC - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis:CE, 1993. p. 361.

SCHICK, August; KLATTE, Maria; MEIS, Markus. Noise stress in classrooms. *In*: Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, 8, 2000, Oldenburg. **Contributions...** Oldenburg: Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, 2000. p. 533-569. Disponível em: <<http://www.psychologie.uni-oldenburg.de/mub/schick.pdf>>. Acesso em: 7 out. 2003.

SIMÕES, Flavio Maya; OLIVEIRA, Diego Busetatto. Acoustic conditioning of the “Palácio da Justiça do estado do Rio Grande do Sul” in Porto Alegre, RS, Brazil. *In: INTERNOISE - THE INTERNACIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING*, 34, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2005. 1 CD-ROM.

SOTIROS, Dalianis; GEORGE, Campourakis. The Acoustics of learning environments and implications in communication and learning. *In: INTERNOISE - THE INTERNACIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING*, 34, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2005. 1 CD-ROM.

SUH, N. P. Axiomatic design theory for systems. **Research in Engineering Design**. London, v. 10, p. 189-209, 1998.

SMITH, B. J.; PETERS, R. J.; OWEN, Stephanie. **Acoustics and Noise Control**. 2 ed. London: Pearson Education, 1996.

TAVARES, Mariza D.; CLÍMACO, Rosana S. C. Análise do conforto sonoro em escolas do distrito federal. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 5; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO*, 2, 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 1999. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM.

TISSEYRE, A.; MOULINIER, A.; ROURD, Y. Intelligibility in various rooms: comparing its assessment by (RA)STI measurement with a direct measurement. **Applied Acoustics**. v. 53, n. 1-3, p. 179-191, 1998.

TJELLEN, Lise-Lott W.; SORENSEN, Torsten Kjaer. Speech Intelligibility for non-native listeners in auditoria with noise. *In: INTERNACIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION*, 12; 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2005. 1 CD-ROM.

VALLET, Michel, KARABIBER, Zerhan. Some european policies regarding acoustical comfort in educational buildings. **Noise Control Engineering Journal**. v. 50, n. 2, p. 58-62, Mar-Apr. 2002.

YAMASAKI, Yoshio. **Measurement of spatial information in sound fields by closely located four microphones**. Tokyo, 1992, 8p. Artigo - Science and Engineering Laboratory, Waseda University. Disponível em: <<http://www.acoust.rise.waseda.ac.jp/publications/happyou/ica/ica-14-beijing-1992.pdf>>. Acesso em: 04 abril 2003.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BERNARDI, Núbia; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: estudo de caso em Campinas–SP. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 6; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO*, 3, 2001, São Pedro. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM.

BERTOLI, Stelamaris Rolla; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K.; BARROS, Lia A. F. Avaliação de desempenho acústico em creches de conjunto habitacional de interesse social: o caso de projetos padrão. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 5; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO*, 2, 1999, Fortaleza. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM.

BERTOLI, Stelamaris Rolla; SILVA JR, Obadias P. Evolução histórica e aplicação de critérios de avaliação acústica de salas. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO SOBRE AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 6; *ENCONTRO LATINO-AMERICANO*, 3, 2001, São Pedro. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM.

BRÜEL & KJAER. **Environmental noise**. Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2000.

CAMARGO, Renata Faccin; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. Melhorias de conforto ao ambiente educacional por meio da avaliação do edifício escolar: estudo de caso em duas escolas de primeiro grau em São Carlos – SP. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 4, 1997, Salvador. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM, p. 503-507.

FERNANDES, Alexandre G.; VIVEIROS, Elvira B. Impacto de ruído de tráfego em edificações escolares: uma metodologia de avaliação para planejamento urbano. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, 20; *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES*, 2, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAC, 2002. 1 CD-ROM.

FUCHS, H. V.; ZHA, X.; ZHOU, X.; DROTTLEFF. Creating low-noise environments in communication rooms. **Applied Acoustics**, v. 62, n. 1, p. 1375-1396, Jan. 2001.

GRAÇA, Valeria Azzi Collet da; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. Metodologia de avaliação de conforto ambiental com o conceito de otimização multicritério para projetos escolares. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 7; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFSC, 2003. p. 822-830.

HODGSON, Murray. Case-study evaluations of the acoustical designs of renovated university classrooms. **Applied Acoustics**. v. 65, n. 1, p. 69-89, Jan. 2004.

LABAKI, Lucila Chebel; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo. Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas-SP. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 6; ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 3, 2001, São Pedro. **Segunda Coletânea de Anais...** Curitiba, 2003. 1 CD-ROM.

MORAES, Anamaria. Ergonomia e construção do ambiente construído. *In: ENCAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 3; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, 1995, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1995. p. 127-132.

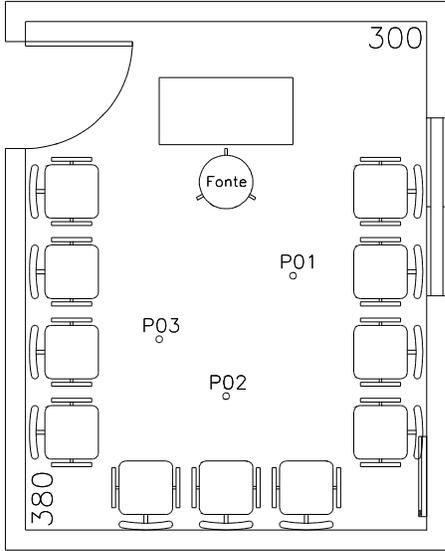
NAGEM, Miriam Pompeu. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SOLER, Carolina. **O processo do projeto de auditórios: avaliação e proposta de procedimento**. Campinas, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SOUZA, Mauricy Cesar Rodrigues de. Normalização brasileira em conforto acústico. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 3; ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 1, 1995, Gramado. **Anais...** Gramado: UFSC, 1995. p. 101-103.

APÊNDICE

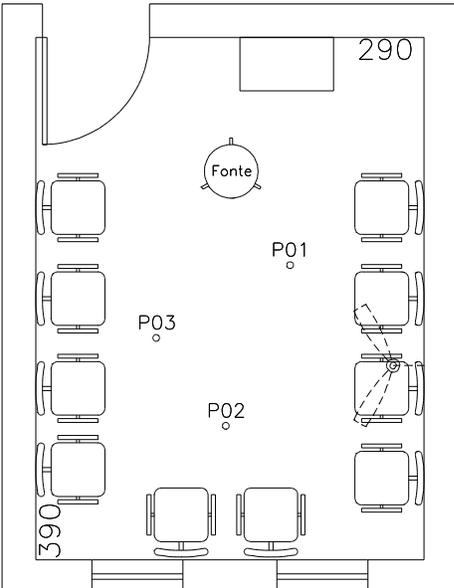
APÊNDICE A – Planilha das escolas e salas de aula avaliadas

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Escola E01 Endereço: Av Romeu Tortima, Barão Geraldo, Campinas - SP	Média de capacidade de alunos/sala: 08
Data das medidas em campo: 13/12/2005	Horário das medidas em campo: 11:00 H
Memorial descritivo dos materiais da sala: Piso: CERÂMICA Teto: LAJE Parede: ALVENARIA Portas: MADEIRA Janelas: MADEIRA E VIDRO	
Croqui das salas de objeto de pesquisa: Área: 11,40 m ² Volume: 31,35 m ³ Pé direito: 2,75m 	
Mobiliário existente na sala: 11 CADEIRAS DE ESTOFADO 01 MESA PROFESSOR 01 MESA APOIO AR CONDICINADO	
Medidas realizadas: TEMPO DE REVERBERAÇÃO ESPECTRO SONORO RUÍDO DE FUNDO EM dB(A) STI EDT – D50	Metodologia: DIRAC 3.1 – B&K MEDIATOR 2238 – B&K

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Escola E02 Endereço: Av Romeu Tortima, Barão Geraldo, Campinas - SP	Média de capacidade de alunos/sala: 06
Data das medidas em campo: 05/07/2006	Horário das medidas em campo: 11:30 H
Memorial descritivo dos materiais da sala: Piso: ARDÓSIA Teto: LAJE Parede: CARPETE (H=90CM) ALVENARIA Portas: MADEIRA Janelas: FERRO E VIDRO	
Croqui das salas de objeto de pesquisa: Área: 18,50 m ² Volume: 48,10 m ³ Pé direito: 2,76 m	
Mobiliário existente na sala: 09 CADEIRAS DE MADEIRA 01 MESA REUNIÃO 01 MESA DE APOIO 01 VENTILADOR	
Medidas realizadas: TEMPO DE REVERBERAÇÃO ESPECTRO SONORO RUÍDO DE FUNDO EM dB(A) STI EDT – D50	Metodologia: DIRAC 3.1 – B&K MEDIATOR 2238 – B&K

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Escola E03 Endereço: Av Romeu Tortima, Barão Geraldo, Campinas - SP	Média de capacidade de alunos/sala: 08
Data das medidas em campo: 14/12/2005	Horário das medidas em campo: 9:00 H
<u>Memorial descritivo dos materiais da sala A:</u>	
Piso: CERÂMICA Teto: LAJE Parede: TIJOLO REBOCADO PINTADO Portas: MADEIRA Janelas: VIDRO	
Croqui das salas de objeto de pesquisa: Área: 15,75 m ² Volume: 36,22 m ³ Pé direito: 2,30m	
Mobiliário existente na sala: 12 CADEIRAS DE ESTOFADO AR CONDICINADO	
Medidas realizadas: TEMPO DE REVERBERAÇÃO ESPECTRO SONORO RUÍDO DE FUNDO EM dB(A) STI EDT – D50	Metodologia: DIRAC 3.1 – B&K MEDIATOR 2238 – B&K

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Escola E04 Endereço: Av Romeu Tortima, Barão Geraldo, Campinas - SP	Média de capacidade de alunos/sala: 05
Data das medidas em campo: 14/12/2005	Horário das medidas em campo: 15:00 H
<u>Memorial descritivo dos materiais da sala A:</u>	
Piso: CERÂMICA Teto: GESSO Parede: TIJOLO REBOCADO PINTADO Portas: FERRO Janelas: FERRO E VIDRO	
Croqui das salas de objeto de pesquisa:	
Área: 7,70 m ² Volume: 21,16 m ³ Pé direito: 2,75 m	
Mobiliário existente na sala: 07 CADEIRAS DE MADEIRA 01 MESA PROFESSOR 01 AR CONDICINADO	
Medidas realizadas: TEMPO DE REVERBERAÇÃO ESPECTRO SONORO RUÍDO DE FUNDO EM dB(A) STI EDT – D50	Metodologia: DIRAC 3.1 – B&K MEDIATOR 2238 – B&K

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Escola E05 Endereço: Rua Antonio Augusto de Almeida, Barão Geraldo, Campinas - SP	Média de capacidade de alunos/sala: 08
Data das medidas em campo: 05/07/2006	Horário das medidas em campo: 10:00 H
<u>Memorial descritivo dos materiais da sala A:</u>	
Piso: ARDÓSIA Teto: LAJE Parede: TIJOLO APARENTE PINTADO Portas: MADEIRA Janelas: MADEIRA E VIDRO	
Croqui das salas de objeto de pesquisa: Área: 11,31 m ² Volume: 31,67 m ³ Pé direito: 2,80m	
 <p>The diagram is a floor plan of a rectangular room. At the top, there is a desk labeled '290'. Along the left wall, there are four chairs. Along the right wall, there are four chairs. At the bottom, there are two chairs. In the center of the room, there are three measurement points labeled 'P01', 'P02', and 'P03'. A circular symbol labeled 'Fonte' (Source) is located in the upper-middle part of the room. A dashed line indicates a measurement path from the source towards the right wall. On the left wall, there is a vertical dimension line labeled '390'. On the top wall, there is a horizontal dimension line labeled '290'.</p>	
Mobiliário existente na sala A: 10 CADEIRAS DE TECIDO UMA MESA DE APOIO VENTILADOR DE PAREDE	
Medidas realizadas: TEMPO DE REVERBERAÇÃO ESPECTRO SONORO RUÍDO DE FUNDO EM dB(A) STI EDT – D50	Metodologia: DIRAC 3.1 – B&K MEDIATOR 2238 – B&K

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Escola E06 Endereço: Av. Atílio Martini, Barão Geraldo, Campinas - SP	Média de capacidade de alunos/sala: 06
Data das medidas em campo: 14/12/2005	Horário das medidas em campo: 10:00 H
<u>Memorial descritivo dos materiais da sala A:</u>	
Piso: CERÂMICA Teto: LAJE Parede: TIJOLO REBOCADO PINTADO + 01 PAREDE DE DIVISÓRIA Portas: DIVISÓRIA Janelas: FERRO E VIDRO	
Croqui das salas de objeto de pesquisa: Área: 10,87 m ² Volume: 30,99 m ³ Pé direito: 2,85 m	
Mobiliário existente na sala: 09 CADEIRAS DE TECIDO 01 VENTILADOR	
Medidas realizadas: TEMPO DE REVERBERAÇÃO ESPECTRO SONORO RUÍDO DE FUNDO EM dB(A) STI EDT - D50	Metodologia: DIRAC 3.1 - B&K MEDIATOR 2238 - B&K

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Escola E07 Endereço: Rua João Batista Antonielli, Barão Geraldo, Campinas - SP	Média de capacidade de alunos/sala: 08
Data das medidas em campo: 27/10/2005	Horário das medidas em campo: 13:30 H
<u>Memorial descritivo dos materiais da sala :</u>	
Piso: CERÂMICA Teto: LAJE Parede: TIJOLO REBOCADO PINTADO Portas: MADEIRA Janelas: FERRO E VIDRO	
Croqui das salas de objeto de pesquisa:	
Área: 10,18 m ² Volume: 29,00 m ³ Pé direito: 2,85 m	
<u>Mobiliário existente na sala:</u> 11 CADEIRAS DE TECIDO 01 AR CONDICIONADO	
Medidas realizadas: TEMPO DE REVERBERAÇÃO ESPECTRO SONORO RUÍDO DE FUNDO EM dB(A) STI EDT- D50	Metodologia: DIRAC 3.1 – B&K MEDIATOR 2238 – B&K

<i>Planilha de Coleta de Dados</i>	
Escola E08 Endereço: Rua Antonio Augusto de Almeida, Barão Geraldo, Campinas - SP	Média de capacidade de alunos/sala: 08
Data das medidas em campo: 27/10/2005	Horário das medidas em campo: 14:30 H
<u>Memorial descritivo dos materiais da sala :</u>	
Piso: CERAMICA Teto: LAJE Parede: TIJOLO REBOCADO PINTADO Portas: FERRO Janelas: FERRO E VIDRO	
Croqui das salas de objeto de pesquisa:	
Área: 14,21 m ² Volume: 40,50 m ³ Pé direito: 2,85 m	
Mobiliário existente na sala: 13 CADEIRAS DE TECIDO 01 MESA APOIO 01 AR CONDICIONADO	
Medidas realizadas: TEMPO DE REVERBERAÇÃO ESPECTRO SONORO RUÍDO DE FUNDO EM dB(A) STI EDT – D50	Metodologia: DIRAC 3.1 – B&K MEDIATOR 2238 – B&K

APÊNDICE B – Nível de pressão sonora em bandas de frequência de 1/1 oitava medidos com ar condicionado ou ventilador desligado nos três pontos nas salas de aula das escolas.

Salas de aula	Ponto	d' (m) fonte	NPS (dB) com ar desligado					
			Frequência (Hz)					
			125	250	500	1000	2000	4000
Escola E01	P01	0,90	53,7	40,5	42,2	31,0	25,3	<20
	P02	1,60	49,5	42,7	34,0	28,0	25,9	21,4
	P03	1,20	58,7	48,8	42,4	33,6	26,1	<20
Escola E02*	P01	1,10	51,3	40,2	42,4	32,6	29,9	23,3
	P02	1,40	43,7	42,1	38,0	34,4	29,6	23,2
	P03	1,20	41,7	37,3	36,6	30,4	27,7	22,1
Escola E03	P01	1,00	48,3	43,9	39,7	33,3	22,8	20,7
	P02	2,80	46,9	40,9	39,1	37,0	32,9	27,7
	P03	1,50	59,8	49,0	47,1	42,3	39,6	29,9
Escola E04	P01	0,50	46,7	35,7	28,5	23,5	20,5	26,1
	P02	0,95	40,7	34,0	24,8	27,2	23,4	20,2
	P03	0,85	46,1	37,4	30,6	22,8	20,8	23,0
Escola E05*	P01	0,90	36,9	32,5	24,4	25,7	21,6	20,3
	P02	2,00	44,2	46,9	44,9	50,8	60,1	42,4
	P03	1,50	62,5	48,1	37,5	29,3	25,1	25,2
Escola E06*	P01	0,90	58,6	47,7	33,8	34,5	25,0	21,2
	P02	1,50	41,1	39,5	39,0	40,9	32,5	29,0
	P03	1,10	56,5	45,1	37,1	27,2	25,4	24,0
Escola E07	P01	0,80	44,3	36,4	29,5	26,0	20,6	<20
	P02	1,35	41,2	37,5	29,7	23,6	20,0	<20
	P03	0,80	50,9	47,2	36,4	30,2	25,0	<20
Escola E08	P01	0,90	45,5	39,7	27,4	20,8	19,0	<20
	P02	2,50	45,6	43,4	32,7	25,8	23,5	27,0
	P03	1,80	55,0	43,9	32,1	23,8	21,2	<20

(*) ventilador

APÊNDICE C – Nível de pressão sonora em bandas de frequência de 1/1 oitava medidos com ar condicionado ou ventilador ligado nos três pontos nas salas de aula das escolas.

Salas de aula	Ponto	d' (m) fonte	NPS (dB) ar ligado						
			Frequência (Hz)						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
Escola E01	P01	0,90	52,8	46,2	40,7	34,0	28,0	24,6	<20
	P02	1,60	51,9	46,9	40,6	33,3	28,1	24,8	<20
	P03	1,20	52,3	47,5	43,4	31,4	28,8	22,8	<20
Escola E02*	P01	1,10	64,2	50,3	50,3	46,5	44,4	36,5	31,7
	P02	1,40	62,9	51,3	52,2	50,0	47,7	45,1	35,9
	P03	1,20	68,1	55,1	52,4	49,6	48,4	44,0	35,8
Escola E03	P01	1,00	61,3	61,2	59,2	52,1	44,9	39,1	34,5
	P02	2,80	62,5	61,9	60,3	52,8	46,1	40,6	34,6
	P03	1,50	59,0	61,4	63,5	51,2	44,5	39,6	33,8
Escola E04	P01	0,50	53,5	53,2	49,1	46,2	39,0	31,1	24,3
	P02	0,95	55,2	51,3	49,5	46,0	39,2	31,5	25,1
	P03	0,85	57,1	51,6	51,0	45,8	39,1	31,1	24,4
Escola E05*	P01	0,90	64,2	59,4	59,3	59,3	57,1	51,4	43,5
	P02	2,00	56,5	56,3	57,5	58,6	55,3	50,6	43,0
	P03	1,50	59,2	58,1	60,1	59,4	56,3	50,7	43,0
Escola E06*	P01	0,90	60,4	61,8	60,4	58,4	55,9	50,7	45,8
	P02	1,50	69,2	63,8	62,0	58,9	55,5	50,0	42,5
	P03	1,10	61,0	61,5	59,1	56,5	55,3	51,0	43,2
Escola E07	P01	0,80	62,2	63,3	57,6	50,8	45,2	43,6	37,7
	P02	1,35	62,5	61,2	56,0	51,8	45,7	41,4	37,1
	P03	0,80	63,0	62,3	57,0	51,2	45,6	41,8	37,8
Escola E08	P01	0,90	55,2	58,3	47,7	44,3	42,6	39,5	35,2
	P02	2,50	58,0	56,9	48,5	44,2	41,6	39,1	33,7
	P03	1,80	60,3	59,7	49,5	44,0	41,3	38,7	38,7

(*) ventilador

APÊNDICE D – Nível de pressão sonora em bandas de frequência de 1/1 oitava medidos com ar condicionado ou ventilador ligado nos três pontos nas salas de aula das escolas.

Salas de aula	Leq dB(A) ar desligado			Leq dB(A) ar ligado		
	Pontos			Pontos		
	P01	P02	P03	P01	P02	P03
Escola E01	44,9	38,4	39,4	43,8	42,7	44,9
Escola E02*	45,8	41,3	42,8	56,7	55,9	55,4
Escola E03	52,6	46,8	53,5	59,1	59,1	59,2
Escola E04	36,7	37,2	41,6	50,9	51,1	51,2
Escola E05*	45,7	44,1	45,9	63,6	62,8	62,5
Escola E06*	45,0	52,0	42,1	65,0	64,9	65,2
Escola E07	43,7	41,0	36,5	59,2	58,6	57,8
Escola E08	40,5	40,2	40,1	53,1	52,2	56,0

(*) ventilador

APÊNDICE E – Tempo de reverberação em função da frequência medido nos três pontos nas salas de aula das escolas.

Salas de aula	Ponto	d' (m) fonte	TR (s)						
			Frequência (Hz)						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
Escola E01	P01	0,90	1,49	0,94	0,81	0,76	0,61	0,60	0,40
	P02	1,60	1,49	0,98	0,40	0,65	0,55	0,56	0,49
	P03	1,20	1,41	1,39	0,74	0,58	0,54	0,55	0,46
Escola E02	P01	1,10	1,50	1,18	1,10	0,76	0,70	0,62	0,50
	P02	1,40	1,86	1,34	1,01	0,84	0,81	0,67	0,48
	P03	1,20	2,17	1,64	1,34	0,85	0,79	0,69	0,56
Escola E03	P01	1,00	0,95	1,03	0,94	0,78	0,77	0,71	0,66
	P02	2,80	1,03	0,99	0,86	0,75	0,63	0,53	0,48
	P03	1,50	1,03	1,00	0,88	0,80	0,75	0,66	0,57
Escola E04	P01	0,50	1,63	1,17	1,07	0,84	0,61	0,55	0,47
	P02	0,95	1,70	1,25	1,05	0,94	0,81	0,73	0,62
	P03	0,85	1,83	1,27	1,06	0,97	0,85	0,76	0,59
Escola E05	P01	0,90	1,81	1,38	1,06	0,73	0,75	0,70	0,55
	P02	2,00	1,66	1,29	1,00	0,71	0,70	0,66	0,52
	P03	1,50	1,89	1,52	1,06	0,74	0,70	0,61	0,50
Escola E06	P01	0,90	1,46	1,49	1,38	0,97	0,87	0,80	0,62
	P02	1,50	1,92	1,63	1,22	0,91	0,85	0,84	0,71
	P03	1,10	1,88	1,53	1,74	0,97	0,84	0,78	0,77
Escola E07	P01	0,80	1,36	1,08	0,98	0,77	0,71	0,62	0,55
	P02	1,35	1,36	1,08	0,98	0,77	0,71	0,62	0,55
	P03	0,80	1,31	1,40	1,01	0,92	0,74	0,63	0,58
Escola E08	P01	0,90	1,25	1,94	1,12	0,83	0,71	0,62	0,53
	P02	2,50	1,63	1,18	1,00	0,82	0,68	0,62	0,52
	P03	1,80	1,34	1,98	0,99	0,85	0,66	0,62	0,53

APÊNDICE F – Tempo de decaimento inicial em função da frequência medido nos três pontos nas salas de aula das escolas.

Salas de aula	Ponto	d' (m) fonte	EDT (s)						
			Frequência (Hz)						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
Escola E01	P01	0,90	1,20	1,52	0,88	0,67	0,64	0,57	0,49
	P02	1,60	1,11	0,80	0,81	0,71	0,63	0,54	0,47
	P03	1,20	1,25	0,90	0,82	0,61	0,51	0,51	0,45
Escola E02	P01	1,10	1,90	1,39	0,97	0,73	0,69	0,63	0,48
	P02	1,40	1,87	1,20	1,07	0,89	0,72	0,64	0,51
	P03	1,20	2,05	1,40	0,96	0,91	0,81	0,70	0,51
Escola E03	P01	1,00	1,06	1,27	1,01	0,91	0,72	0,66	0,55
	P02	2,80	0,83	1,08	0,90	0,75	0,68	0,66	0,57
	P03	1,50	1,07	1,21	1,06	0,92	0,79	0,69	0,58
Escola E04	P01	0,50	1,51	1,01	0,94	0,90	0,81	0,64	0,54
	P02	0,95	1,60	0,97	1,05	0,88	0,81	0,68	0,59
	P03	0,85	1,71	1,15	1,11	0,93	0,89	0,72	0,59
Escola E05	P01	0,90	1,44	1,20	1,06	0,83	0,76	0,62	0,54
	P02	2,00	1,56	1,41	0,96	0,77	0,67	0,61	0,50
	P03	1,50	2,14	1,39	1,19	0,78	0,75	0,57	0,46
Escola E06	P01	0,90	1,19	0,92	0,93	0,73	0,78	0,70	0,55
	P02	1,50	1,31	1,32	1,01	0,76	0,83	0,66	0,59
	P03	1,10	2,22	1,28	0,81	0,75	0,71	0,71	0,54
Escola E07	P01	0,80	0,94	1,10	0,77	0,67	0,65	0,63	0,51
	P02	1,35	1,25	1,08	0,73	0,58	0,65	0,60	0,55
	P03	0,80	1,11	1,16	0,86	0,67	0,59	0,63	0,55
Escola E08	P01	0,90	1,33	1,59	1,03	0,82	0,64	0,60	0,52
	P02	2,50	1,37	1,17	0,94	0,72	0,64	0,56	0,53
	P03	1,80	1,57	1,0	1,02	0,74	0,63	0,58	0,54

APÊNDICE G – Definição em função da frequência medido nos três pontos nas salas de aula das escolas.

Salas de aula	Ponto	d' (m) fonte	D50						
			Frequência (Hz)						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
Escola E01	P01	0,90	0,41	0,34	0,37	0,48	0,56	0,57	0,75
	P02	1,60	0,36	0,46	0,56	0,66	0,66	0,68	0,78
	P03	1,20	0,47	0,70	0,62	0,66	0,75	0,75	0,52
Escola E02	P01	1,10	0,33	0,30	0,46	0,59	0,62	0,67	0,77
	P02	1,40	0,36	0,43	0,47	0,62	0,56	0,62	0,72
	P03	1,20	0,39	0,43	0,45	0,56	0,61	0,65	0,79
Escola E03	P01	1,00	0,63	0,48	0,37	0,44	0,57	0,53	0,74
	P02	2,80	0,33	0,37	0,49	0,61	0,56	0,62	0,65
	P03	1,50	0,40	0,24	0,53	0,58	0,59	0,66	0,62
Escola E04	P01	0,50	0,30	0,51	0,58	0,63	0,64	0,71	0,71
	P02	0,95	0,41	0,58	0,59	0,60	0,60	0,65	0,72
	P03	0,85	0,50	0,48	0,44	0,49	0,52	0,57	0,69
Escola E05	P01	0,90	0,31	0,42	0,44	0,60	0,59	0,66	0,74
	P02	2,00	0,31	0,39	0,54	0,59	0,64	0,63	0,74
	P03	1,50	0,32	0,46	0,51	0,58	0,62	0,68	0,78
Escola E06	P01	0,90	0,54	0,51	0,52	0,64	0,52	0,49	0,56
	P02	1,50	0,34	0,40	0,30	0,51	0,41	0,48	0,53
	P03	1,10	0,19	0,21	0,32	0,47	0,42	0,38	0,53
Escola E07	P01	0,80	0,45	0,61	0,69	0,67	0,59	0,71	0,75
	P02	1,35	0,44	0,47	0,66	0,74	0,65	0,66	0,81
	P03	0,80	0,48	0,60	0,65	0,63	0,75	0,69	0,75
Escola E08	P01	0,90	0,46	0,45	0,56	0,64	0,72	0,73	0,76
	P02	2,50	0,25	0,48	0,48	0,62	0,65	0,68	0,79
	P03	1,80	0,53	0,48	0,59	0,65	0,67	0,72	0,77

APÊNDICE H – Índice de transmissão da fala (STI), índice rápido de transmissão da fala (RASTI) e porcentagem de consoantes não compreendidas (%ALC) medidos nos três pontos nas salas de aula das escolas com ar condicionado ou ventilador desligado e ligado.

Salas de aula	ponto	d' (m) fonte	STI fem, STI masc, RASTI e %ALC - ar desligado					
			STI fem	%ALC fem	STI masc	%ALC mas	RASTI	%ALC rasti
Escola E01	P01	1,25	0,68-bom	3,9	0,66-bom	3,8	0,66-bom	4,7
	P02	1,60	0,67-bom	3,9	0,66-bom	4,2	0,65-bom	5,1
	P03	0,90	0,67-bom	4,2	0,66-bom	4,1	0,63-bom	5,6
Escola E02*	P01	1,40	0,60-bom	6,4	0,59-aceitável	6,8	0,43-pobre	16,3
	P02	1,10	0,58-aceitável	7,5	0,60-aceitável	6,7	0,45-aceitável	14,9
	P03	1,20	0,58-aceitável	7,2	0,59-aceitável	6,9	0,40-pobre	19,3
Escola E03	P01	1,50	0,62-bom	5,9	0,61-bom	6,2	0,60-bom	6,7
	P02	2,80	0,62-bom	6,0	0,63-bom	5,7	0,60-bom	6,5
	P03	1,00	0,64-bom	5,4	0,61-bom	5,6	0,58-aceitável	7,3
Escola E04	P01	0,50	0,61-bom	6,3	0,61-bom	6,2	0,58-aceitável	7,4
	P02	0,95	0,64-bom	5,3	0,61-bom	6,4	0,60-bom	6,4
	P03	0,85	0,64-bom	5,4	0,62-bom	6,1	0,59-aceitável	7,0
Escola E05*	P01	0,90	0,60-bom	6,6	0,59-aceitável	6,9	0,57-aceitável	7,6
	P02	1,50	0,60-bom	7,7	0,60-aceitável	6,7	0,59-aceitável	7,0
	P03	1,10	0,61-bom	6,4	0,58-aceitável	7,4	0,58-aceitável	7,5
Escola E06*	P01	0,90	0,61-bom	6,4	0,61-bom	6,3	0,62-bom	5,9
	P02	1,50	0,61-bom	6,3	0,61-bom	6,4	0,56-aceitável	8,1
	P03	1,10	0,61-bom	6,4	0,58-aceitável	7,3	0,59-aceitável	7,1
Escola E07	P01	1,35	0,62-bom	5,9	0,61-bom	6,1	0,64-bom	5,2
	P02	0,80	0,61-bom	6,3	0,60-bom	6,5	0,63-bom	5,6
	P03	0,80	0,61-bom	6,2	0,61-bom	6,3	0,65-bom	5,1
Escola E08	P01	0,90	0,64-bom	5,4	0,62-bom	6,0	0,63-bom	5,7
	P02	2,50	0,61-bom	6,2	0,60-bom	6,6	0,61-bom	6,1
	P03	1,80	0,62-bom	5,8	0,61-bom	6,1	0,62-bom	5,9

(*) ventilador

Salas de aula	ponto	d' (m) fonte	STI fem, STI masc, RASTI e %ALC - ar ligado					
			STI fem	%ALC fem	STI masc	%ALC mas	RASTI	%ALC rasti
Escola E01	P01	1,25	0,67-bom	4,4	0,66-bom	4,8	0,63-bom	5,6
	P02	1,60	0,67-bom	4,5	0,66-bom	4,8	0,65-bom	5,1
	P03	0,90	0,68-bom	4,4	0,67-bom	4,6	0,65-bom	4,9
Escola E02*	P01	1,40	0,52-aceitável	10,0	0,52-aceitável	10,0	0,47-aceitável	13,1
	P02	1,10	0,51-aceitável	10,7	0,50-aceitável	11,1	0,45 -pobre	15,0
	P03	1,20	0,54-aceitável	9,3	0,50-aceitável	11,5	0,48-aceitável	13,0
Escola E03	P01	1,50	0,53-aceitável	9,6	0,53-aceitável	9,5	0,44 -pobre	16,2
	P02	2,80	0,51-aceitável	11,0	0,51-aceitável	10,5	0,43 -pobre	16,7
	P03	1,00	0,49-aceitável	12,2	0,51-aceitável	10,6	0,44 -pobre	15,7
Escola E04	P01	0,50	0,62-bom	6,0	0,60 -bom	6,5	0,57-aceitável	7,8
	P02	0,95	0,63-bom	5,8	0,59-aceitável	6,8	0,59-aceitável	7,1
	P03	0,85	0,59-aceitável	6,9	0,60 -bom	6,5	0,56-aceitável	8,4
Escola E05*	P01	0,90	0,34-pobre	26,5	0,35 (-pobre	25,5	0,28-ruim	38,3
	P02	1,50	0,33-pobre	27,8	0,36 -pobre	24,7	0,29-ruim	36,0
	P03	1,10	0,34-pobre	27,1	0,34 -pobre	26,8	0,26-ruim	41,8
Escola E06*	P01	0,90	0,35-pobre	26,3	0,35 -pobre	25,2	0,27-ruim	39,0
	P02	1,50	0,32-pobre	30,1	0,35 -pobre	25,9	0,24-ruim	46,9
	P03	1,10	0,32-pobre	30,3	0,34-pobre	27,6	0,25-ruim	43,2
Escola E07	P01	1,35	0,30-ruim	34,2	0,32-pobre	30,5	0,21-ruim	55,5
	P02	0,80	0,31-pobre	31,2	0,33-pobre	29,2	0,22-ruim	50,9
	P03	0,80	0,31-pobre	31,3	0,34-pobre	27,5	0,23-ruim	48,4
Escola E08	P01	0,90	0,53-aceitável	9,4	0,54-aceitável	9,3	0,49-aceitável	11,9
	P02	2,50	0,50-aceitável	11,1	0,50-aceitável	11,1	0,48-aceitável	12,8
	P03	1,80	0,52-aceitável	10,0	0,53-aceitável	9,9	0,48-aceitável	12,7

(*) ventilador