

ANDRESSA MARIA COELHO FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM SALAS DE AULA:
ESTUDO DE CASO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

CURITIBA

2006

ANDRESSA MARIA COELHO FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO EM SALAS DE AULA:
ESTUDO DE CASO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**Dissertação apresentada como
requisito à obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica, programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica, setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.**

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

CURITIBA

2006

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais
e a todas as pessoas que amo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo amor, confiança e permanente apoio.

Agradeço aos meus irmãos José Augusto Coelho Ferreira e Luís Ricardo Coelho Ferreira pelo valioso apoio que me ofereceram durante a elaboração deste trabalho e de outros durante o curso.

Agradeço ao meu namorado Guilherme Gonçalves Damin da Silva pelo apoio, paciência e constante ajuda durante este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof^o Dr.-Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin, por ter acreditado e confiado em mim quando cheguei, meio perdida, no laboratório. E, por me ajudar e me apoiar durante estes dois anos.

Agradeço a todos os colegas do laboratório, mestrandos e alunos da iniciação científica, pela maneira prestativa com que me ajudaram.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – CAPES – pela concessão da bolsa de mestrado.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e ao Deutscher Akademischer Austauschdienst – DAAD, por todos os materiais e equipamentos fornecidos, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná por permitir a execução de medições em suas salas de aula possibilitando a realização deste trabalho.

E, por fim, agradeço a todos os meus amigos pelo apoio e pelo carinho.

RESUMO

Este trabalho é um estudo de caso que visa comparar e avaliar a acústica de salas de aula de dois prédios didáticos, construídos em épocas diferentes, situados no Campus III (Centro Politécnico e Jardim Botânico) da Universidade Federal do Paraná. As medições dos parâmetros acústicos, nível de pressão sonora, tempo de reverberação e isolamento acústico foram realizadas em oito salas de aula dos Blocos Didáticos (Centro Politécnico) e sete salas de aula no Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas (Jardim Botânico). O critério adotado, para a escolha das salas, foi à seleção por tipologia arquitetônica e características geométricas das salas de aula. A metodologia adotada, para a avaliação acústica das salas de aula, seguiu um procedimento padrão de medição em função das características do objeto em estudo e das recomendações e/ou formulações para avaliação acústica de ambientes construídos prescritas em normas e leis consolidadas. Os dados foram comparados a valores recomendados por normas nacionais e internacionais. Os resultados obtidos mostram que as salas de aula do Centro Politécnico, construídas na década de 60, apresentaram condições acústicas satisfatórias, principalmente no parâmetro tempo de reverberação. Já nas salas do Jardim Botânico, construídas no ano 2000, os valores de tempos de reverberação encontrados, para as salas sem ocupantes, parcialmente ocupadas e totalmente ocupadas não estão de acordo com os recomendados pelas normas em nenhuma das situações de uso. Após a análise dos resultados foram realizadas simulações em uma sala do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas para tentar melhorar o tempo de reverberação encontrado, e somente, quando além da substituição dos materiais do forro e do piso, foi considerada a ocupação no interior da sala do Jardim Botânico é que esta passou a ter tempos de reverberação adequados para a função. Assim, concluiu-se que mesmo com a evolução dos estudos e pesquisas na área de acústica de salas de aula, as salas dos Blocos Didáticos no Centro Politécnico são melhores nos aspectos acústico-arquitetônicos que as salas do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas no Jardim Botânico.

Palavras-chave: acústica, acústica de salas de aula, conforto acústico.

ABSTRACT

This research is a case study that aims to compare and evaluate the classrooms acoustics of two different buildings constructed at different times, located at Campus III (Centro Politecnico and Jardim Botânico) of Federal University of Paraná. The measurements of the acoustical parameters, sound pressure level; reverberation time and sound insulation had been carried out in eight classrooms of the didactic blocks (Centro Politecnico) and seven classrooms in the block of social and applied sciences. The adopted criterion for the choice of the classrooms was the selection by architectural typology and geometric characteristics of the classrooms. The methodology to the classrooms acoustics evaluation, follow a standard measurement procedure in special duty of the characteristics of the object in study and the recommendation or formulation to acoustic evaluation of building acoustics prescribes at the consolidated laws and standards. The results obtained were compared to recommended by the national and international standards, and show that the classrooms of the Centro Politecnico constructed on the 60's, present satisfaction acoustics conditions, in special of the reverberation time. On the Jardim Botânico classrooms, constructed on the year 2000 the values founded of the reverberation time, to the empty classrooms, partial occupied and totally occupied are not following the values recommended by the standards in none of the situations. After the analyses of the results were realize simulations in a classroom of the block of social and applied sciences to try to improve the reverberation time founded, and only when, beyond the replacement of the materials of the ceiling and the floor was considered the occupation of the classrooms of the Jardim Botânico that classroom hand the adequate reverberation time to the function. In this way, verify that even with the evolution of the studies and researches on the room acoustics areas, the classrooms of the didactic blocks of the Centro Politecnico are better in the architectonic acoustics aspects that the classrooms of the block of social and applied sciences of the Jardim Botânico.

Key words: acoustics, classrooms acoustics, acoustic comfort.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LAYOUTS DE SALAS DE AULA BOAS E RUINS ACUSTICAMENTE _____	18
FIGURA 2 – EXEMPLOS DE PAREDES BOAS E RUINS PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO _____	19
CONSTRUÍDAS COM PLACAS DE GESSO _____	19
FIGURA 3 - LAYOUT DE PORTAS EM SALAS DE AULA BOAS E RUINS ACUSTICAMENTE _____	20
FIGURA 4 - CAMINHOS DE TRANSMISSÃO DO RUÍDO AÉREO _____	29
FIGURA 5 – ILUSTRAÇÃO DE EXEMPLO DE TRATAMENTO ACÚSTICO POR ABSORÇÃO _____	35
FIGURA 6 – ESQUEMA DE ABSORÇÃO SONORA _____	36
FIGURA 7 – MAPA DA IMPLANTAÇÃO DOS BLOCOS PESQUISADOS _____	38
FIGURA 8 - SISTEMA DE MEDIÇÃO UTILIZADO _____	46
FIGURA 9 – VISTAS DA FACHADA EXTERNA DOS BLOCOS DIDÁTICOS _____	47
FIGURA 10 – VISTAS DA CIRCULAÇÃO INTERNA PRINCIPAL DE ACESSO AS SALAS DOS BLOCOS DIDÁTICOS _____	48
FIGURA 11 – PLANTAS DE LOCALIZAÇÃO DAS SALAS DE AULA AVALIADAS NO BLOCO IV _____	49
FIGURA 12 – VISTA DO INTERIOR DA SALA A DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	50
FIGURA 13 – VISTA DO INTERIOR DA SALA B DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	50
FIGURA 14 – VISTA DO INTERIOR DA SALA C DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	51
FIGURA 15 – VISTA DO INTERIOR DA SALA D DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	51
FIGURA 16 – VISTA DO INTERIOR DA SALA E DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	52
FIGURA 17 – VISTA DO INTERIOR DA SALA F DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	52
FIGURA 18 – VISTA DO INTERIOR DA SALA G DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	53
FIGURA 19 – VISTA DO INTERIOR DA SALA H DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	53
FIGURA 20 – PONTOS DE MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NO ENTORNO DOS BLOCOS DIDÁTICOS _____	54
FIGURA 21 – VISTA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DA FACHADA _____	62
FIGURA 22 – VISTA DO CABO PLANO AR 0014 DO FABRICANTE BRÜEL & KJAER _____	63

FIGURA 23 – VISTA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE (R') DAS PARTIÇÕES INTERNAS DO BLOCO DIDÁTICO NO CENTRO POLITÉCNICO _____	65
FIGURA 24 – VISTAS DA FACHADA EXTERNA DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS	66
FIGURA 25 – VISTAS DO PÁTIO CENTRAL DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS____	67
FIGURA 26 – PLANTAS DAS SALAS DE AULA AVALIADAS NO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS _____	68
FIGURA 27 – VISTA DO INTERIOR DA SALA A DO JARDIM BOTÂNICO_____	69
FIGURA 28 – VISTA DO INTERIOR DA SALA B DO JARDIM BOTÂNICO_____	69
FIGURA 29 – VISTA DO INTERIOR DA SALA C DO JARDIM BOTÂNICO_____	70
FIGURA 30 – VISTA DO INTERIOR DA SALA D DO JARDIM BOTÂNICO_____	70
FIGURA 31 – VISTA DO INTERIOR DA SALA E DO JARDIM BOTÂNICO_____	71
FIGURA 32 – VISTA DO INTERIOR DA SALA F DO JARDIM BOTÂNICO_____	71
FIGURA 33 – VISTA DO INTERIOR DA SALA G DO JARDIM BOTÂNICO _____	72
FIGURA 34 – PONTOS DE MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NO ENTORNO DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS _____	73
FIGURA 35 – VISTA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS _____	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ÁREAS DE ABSORÇÃO SONORA EQUIVALENTE DOS ELEMENTOS ADICIONAIS DE FUNCIONALIDADE DO AMBIENTE _____	22
TABELA 2 – TEMPOS DE REVERBERAÇÃO RECOMENDADOS PARA SALAS DE AULA EM DIFERENTES PAÍSES _____	24
TABELA 3 - NÍVEIS DE RUÍDO DE FUNDO RECOMENDADOS PARA SALAS DE AULA EM DIVERSOS PAÍSES _____	28
TABELA 4 – ISOLAMENTO ACÚSTICO EXIGIDO EM SALAS DE AULA EM RELAÇÃO AO RUÍDO EXTERNO EM DIVERSOS PAÍSES _____	33
TABELA 5 - ISOLAMENTO ACÚSTICO INTERNO EXIGIDO ENTRE AS SALAS DE AULA E OS ESPAÇOS ADJACENTES _____	34
TABELA 6 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA (L_{eq}) E VALORES DA CURVA NC ENCONTRADAS NAS SALAS DE AULA DO BLOCO DIDÁTICO NO CENTRO POLITÉCNICO _____	55
TABELA 7 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO COMO MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO NAS FREQUÊNCIAS DE 500, 1000 E 2000 Hz NAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO _____	58
TABELA 8 – ÍNDICE DE ISOLAMENTO ACÚSTICO EXIGIDO PELA NORMA ALEMÃ DIN 4109 EM RELAÇÃO AO RUÍDO EXTERNO MEDIDO NA FACHADA _____	63
TABELA 9 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA (L_{eq}) E VALORES DA CURVA NC ENCONTRADAS NAS SALAS DE AULA DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS NO JARDIM BOTÂNICO _____	74
TABELA 10 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO COMO MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO NAS FREQUÊNCIAS DE 500, 1000 E 2000 Hz NAS SALAS DO JARDIM BOTÂNICO _____	77
TABELA 11 – COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MÉDIOS E ÁREAS DE ABSORÇÃO MÉDIAS DAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO E DO JARDIM BOTÂNICO _____	80

TABELA 12 – COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO COMO MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO NAS FREQUÊNCIAS DE 500, 1000 E 2000 Hz DAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO E DO JARDIM BOTÂNICO _____	81
TABELA 13 - COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DOS MATERIAIS EXISTENTES NAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO E DO JARDIM BOTÂNICO _____	86

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – TEMPOS DE REVERBERAÇÃO ÓTIMOS PARA A FREQUENCIA DE 500 Hz_____	25
GRÁFICO 2 – CURVA DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO (NOISE CRITERIA) _____	27
GRÁFICO 3 – COMPARAÇÃO DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA COM AS CURVAS DE CRITÉRIO DE RUÍDO (CURVAS NC) _____	41
GRÁFICO 4 – AVALIAÇÃO GRÁFICA PARA O TEMPO DE REVERBERAÇÃO_____	43
GRÁFICO 5 – AVALIAÇÃO GRÁFICA PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO_____	45
GRÁFICO 6 – VALORES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS NAS SALAS DE AULA DO CENTRO POLITÉCNICO, SEM OCUPANTES_____	57
GRÁFICO 7 – VALORES DE TEMPOS DE REVERBERAÇÃO EM FUNÇÃO DA OCUPAÇÃO MEDIDOS NA SALA D DO CENTRO POLITÉCNICO _____	60
GRÁFICO 8 – ESPECTRO DE FREQUENCIA DO RUÍDO DE TRAFEGO MEDIDO NA PRIMEIRA TOMADA NA FACHADA EM ESTUDO DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	61
GRÁFICO 9 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE ($R'_{TR,S}$) MEDIDO NA FACHADA DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO _____	64
GRÁFICO 10 - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE (R'), MEDIDO NA PARTIÇÃO INTERNA DO BLOCO DIDÁTICO NO CENTRO POLITÉCNICO _____	65
GRÁFICO 11 – VALORES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS NAS SALAS DO JARDIM BOTÂNICO, SEM OCUPANTES _____	76
GRÁFICO 12 – VALORES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO EM FUNÇÃO DA OCUPAÇÃO MEDIDOS NA SALA D DO JARDIM BOTÂNICO _____	78
GRÁFICO 13 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO, EM FUNÇÃO DA OCUPAÇÃO, MEDIDOS NAS SALAS D DO CENTRO POLITÉCNICO E DO JARDIM BOTÂNICO_	79
GRÁFICO 14 – ESPECTRO DE FREQUENCIA DO RUÍDO DE TRAFEGO MEDIDO NA PRIMEIRA TOMADA NA FACHADA EM ESTUDO DO PRÉDIO DO JARDIM BOTÂNICO_____	82

GRÁFICO 15 - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE ($R'_{TR,S}$) MEDIDO NA FACHADA DO PRÉDIO DO JARDIM BOTÂNICO _____	83
GRÁFICO 16 - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE (R') MEDIDO NA PARTIÇÃO INTERNA DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS NO JARDIM BOTÂNICO _____	84
GRÁFICO 17 – SIMULAÇÕES REALIZADAS NA SALA D DO JARDIM BOTÂNICO SUBSTITUINDO OS MATERIAIS EXISTENTES PELOS MATERIAIS DAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO _____	88

LISTA DE SIGLAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ANSI – AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE

CP – CENTRO POLITÉCNICO

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG

EN – EUROPEAN NORM

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION

JB – JARDIM BOTÂNICO

NBR – NORMA BRASILEIRA

NC – NOISE CRITÉRIA (CURVA DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO)

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

STC – SOUND TRANSMISSION CLASS

UFPR – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION

LISTA DE SÍMBOLOS

dB – DECIBEL

D_{nT} – STANDARDIZED LEVEL DIFFERENCE

$D_{tr,2m,Nt}$ - STANDARDIZED LEVEL DIFFERENCE (utilizando o ruído de tráfego como fonte sonora externa com microfone posicionado a 2 metros da superfície de medição)

Hz – HERTZ

L_{EQ} – NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

R – SOUND REDUCTION INDEX

R' – APPARENT SOUND REDUCTION INDEX

R'_w - APPARENT SOUND REDUCTION INDEX (determinado em campo – número único segundo iso 717-1)

$R'_{tr,s}$ - APPARENT SOUND REDUCTION INDEX (utilizando o ruído de tráfego como fonte sonora externa)

$R'_{tr,s,w}$ - APPARENT SOUND REDUCTION INDEX (determinado em campo para fachadas, utilizando o ruído de tráfego como fonte sonora externa)

TR – TEMPO DE REVERBERAÇÃO

α – COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

SUMÁRIO

RESUMO _____	III
ABSTRACT _____	IV
LISTA DE FIGURAS _____	V
LISTA DE TABELAS _____	VII
LISTA DE GRÁFICOS _____	IX
LISTA DE SIGLAS _____	XI
LISTA DE SÍMBOLOS _____	XII
1 INTRODUÇÃO _____	1
1.1 OBJETIVO _____	4
1.2 BREVE HISTÓRICO SOBRE A ACÚSTICA _____	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA _____	7
2.1 FUNDAMENTOS EM ACÚSTICA _____	21
2.1.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO _____	21
2.1.2 RUÍDO DE FUNDO _____	25
2.1.3 ISOLAMENTO ACÚSTICO _____	29
2.1.4 ABSORÇÃO SONORA _____	34
3 MATERIAIS E MÉTODO _____	37
3.1 MEDIÇÃO DO NÍVEL SONORO EQUIVALENTE (L_{EQ}) _____	39
3.1.1 AMBIENTE EXTERNO _____	39
3.1.2 AMBIENTE INTERNO _____	40
3.2 MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO _____	42

3.3 MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO _____	44
3.4 MATERIAIS (EQUIPAMENTOS) _____	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES _____	47
4.1 SALAS DE AULA DO CENTRO POLITÉCNICO _____	47
4.1.1 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE PESQUISADO _____	47
4.1.2 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EXTERNOS ____	54
4.1.3 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA INTERNOS ____	55
4.1.4 MEDIÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO _____	56
4.1.5 MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO _____	61
4.2 SALAS DE AULA DO JARDIM BOTÂNICO _____	66
4.2.1 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE PESQUISADO _____	66
4.2.2 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EXTERNOS ____	73
4.2.3 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA INTERNOS ____	74
4.2.4 MEDIÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO _____	75
4.2.5 MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO _____	81
5 SIMULAÇÃO DOS RESULTADOS _____	85
6 CONCLUSÕES _____	89
6.1. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS _____	91
7 REFERÊNCIAS _____	92
APÊNDICE 1- MEDIÇÕES DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM CADA PUNTO DAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO, COM AS JANELAS ABERTAS E FECHADAS. _____	98
APÊNDICE 2 - GRÁFICOS DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS EM CADA SALA DO CENTRO POLITÉCNICO. _____	101

APÊNDICE 3 - MEDIÇÕES DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM CADA PUNTO DAS SALAS DO JARDIM BOTÂNICO, COM AS JANELAS ABERTAS E FECHADAS. _____ 106

APÊNDICE 4 - GRÁFICOS DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS EM CADA SALA DO JARDIM BOTÂNICO. _____ 108

1 INTRODUÇÃO

O ruído é um fator ambiental contaminante muito antigo, que devido ao avanço industrial, crescimento das cidades e evolução do transporte está mais presente na atualidade.

Na última década, o tema acústica de salas de aula tem sido analisado e discutido nos principais eventos da área (BRADLEY, 2002; FERNANDES; VIVEIROS, 2002; GONZÁLES; PEREZ, 2002; HAGEN et al., 2002; SEEP et al., 2002; CARBONE; MERCANTI, 2003; HODGSON, 2003; YEBRA et al., 2003; ENIZ; GARAVELLI, 2005; ZANNIN et al., 2005).

Existe uma necessidade de estudos dos problemas acústicos das edificações com o objetivo de conseguir condições mínimas para a qualidade acústica das mesmas, de acordo com o uso e atividades dos ocupantes. No entanto, no Brasil, não existem diretrizes a respeito de como uma escola deva ser projetada, levando-se em conta os parâmetros acústicos para conforto, como:

- 1) Tempo de Reverberação e,
- 2) Isolamento Acústico.

A norma brasileira NBR-10152/87 é a única a estabelecer uma diretriz, ou seja, um valor mínimo e um valor máximo aceitável para o ruído ambiente dentro de uma sala de aula desocupada.

Existe, atualmente, um projeto de norma, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para avaliar o desempenho acústico de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Este projeto de norma recomenda que os métodos utilizados para a avaliação do desempenho acústico das edificações sigam os preceitos das normas *International Organization for Standardization* (ISO 140-4 e ISO 140-5).

Nas salas de aula, alunos e professores precisam de altos níveis de concentração; é onde os estudantes passam mais tempo ouvindo, do que falando, lendo ou escrevendo (LORO, 2003).

Hagen et al. (2002) comenta que ouvir e escutar ainda são percebidos como um dever do estudante e não como uma tarefa pedagógica. Ouvir não é suficiente; é necessário escutar de tal maneira que a percepção e a inteligibilidade dos sons emitidos entre alunos e professores sejam alcançadas.

A preocupação com o conhecimento e aplicação da acústica tem crescido em muitos países, verificando-se o aumento da pesquisa científica neste campo, assim como o desenvolvimento industrial de materiais e equipamentos voltados para o conforto acústico. O International Institute of Noise Control Engineering (INCE) – Noise and Reverberation Control for Schoolrooms, comitê internacional habilitado a investigar acústica de escolas, realiza estudos para balizar os critérios e condições mínimas aceitáveis para eficiência acústica das edificações escolares (GONZÁLES; PÉREZ, 2002; FRANGOS, 2003).

Silva (2000) afirma que a comunicação verbal é reconhecida como requisito fundamental em qualquer sociedade humana. A interferência na comunicação da palavra perturba atividades profissionais, educacionais ou domésticas comuns, cria um ambiente desfavorável ao convívio e torna-se um grande incômodo.

A acústica recebe pouca atenção da teoria educacional. Pesquisas têm apresentado a influência da acústica no aprendizado e performance, como também no comportamento social e na compreensão. Condições acústicas desfavoráveis tornam o aprendizado e o ensino desnecessariamente exaustivos (HAGEN et al., 2002).

Paralelamente ao conhecimento da acústica de salas de aula, deve-se considerar o comportamento dos estudantes, o qual está em constante modificação devido às mudanças sociais e familiares no contexto geral. Dockrell et al. (2004), afirmam que os métodos de ensino atuais valorizam trabalhos em equipe ao invés da

comunicação unilateral e dessa forma acrescentam mais fontes sonoras nas salas de aula.

O papel dos arquitetos, engenheiros, técnicos e projetistas no desenvolvimento das cidades e na adequação do edifício à dinâmica das transformações contemporâneas é imprescindível. Estes devem considerar que a edificação escolar, onde a inteligibilidade da fala é fundamental, necessita de tratamento acústico. Alguns arquitetos têm dificuldade de compreender a acústica como parte do projeto arquitetônico. Hodgson (2003) afirma que condições acústicas adequadas contribuem para um melhor aprendizado nas salas de aula, contudo essa característica tem sido freqüentemente negligenciada.

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

Este trabalho pretende contribuir para a necessária transformação das concepções dos profissionais sobre a situação da acústica de edificações escolares, para que a habitual falta de atenção sobre o assunto se transforme numa atitude de intervenção consciente.

1. 1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o conforto acústico das salas de aula universitárias, em dois prédios, construídos em épocas diferentes, através das medições dos parâmetros acústicos:

- 1) Nível de pressão sonora equivalente,
- 2) Tempo de reverberação,
- 3) Isolamento acústico.

Os objetos de estudo deste trabalho são dois prédios do Campus III (Centro Politécnico e Jardim Botânico) da Universidade Federal do Paraná. Um é o prédio dos Blocos Didáticos do Setor de Tecnologia, no Centro Politécnico, projetado pelo Arquiteto Rubens Meister e construído em 1963, o mais antigo do campus. O outro é o Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas, no Jardim Botânico, projetado pelo Arquiteto José Hermeto de Palma Sanchotene e construído no ano de 2000, o prédio mais recente do campus.

1. 2 BREVE HISTÓRICO SOBRE A ACÚSTICA

Historicamente, a acústica existe desde o nascimento da humanidade. Fohi, filósofo chinês, em 30 a.C. associava a altura dos sons aos elementos fundamentais: terra, fogo, ar, vento e água. Os Indus em 20 a.C limitavam seus estudos sobre acústica à música, dividindo a oitava em 22 tons simples. Em 6 a.C. Pitágoras verificou que o comprimento de uma corda estava ligado à altura do som e que reduzindo o comprimento desta corda pela metade originava um som duas vezes maior (NEPOMUCENO, 1976).

Segundo Medeiros (2002), durante o período de desenvolvimento da cultura helênica, julgava-se que as propriedades do som e a sensação auditiva originaram-se na filosofia da propagação dos números e na harmonia dos tons.

No século XVII, Galileu descobriu o fenômeno da ressonância, verificando que uma corda, quando oscilava, provocava oscilações em uma outra corda igual que estivesse próxima. Ainda no século XVII, Torricelle construiu o primeiro aparelho a vácuo e, com ele, Kiercher verificou que o som não se propaga no vácuo.

No século XVIII, a Revolução Industrial provocou mudanças profundas nos meios de produção humanos até então conhecidos, afetando diretamente nos modelos econômicos e sociais de sobrevivência humana. O modelo feudal, essencialmente agrário, e que caracterizou o período medieval, começa a entrar em decadência, cedendo lugar, paulatinamente, ao modelo industrial - primeiro em nível local, regional, para, logo em seguida, dar início à Revolução Industrial: em nível internacional de larga escala (NEPOMUCENO, 1968).

A teoria da propagação, como se conhece nos dias atuais, começou a ser desenvolvida a partir do século XIX, a partir da teoria ondulatória desenvolvida por Fourier, Fresnel e Laplace (PIERCE, 1994).

Com a Revolução Industrial, ocorreu um enorme aumento da produtividade, em função da utilização dos equipamentos mecânicos, da energia a vapor e, posteriormente, da eletricidade. Com isto os problemas com os níveis de ruído começam a tomar forma. O nome “Acústica” é introduzido por Hut, professor de música de Frankfurt, e Chladni publica o primeiro livro de Acústica, “Die Akustik”, em 1802.

No século XIX a acústica começa a tomar forma. Ohm e Seebeck iniciam a discussão sobre a sensibilidade do ouvido a vibrações senoidais. O problema foi resolvido por Helmholtz com o desenvolvimento dos ressonadores e publicados na “Teoria da Ressonância do Ouvido”. Lord Rayleigh com a publicação de seu livro “The Theory of sound”, em 1877, consolidou a acústica clássica. Ainda no século XIX, Reiss fez o primeiro transdutor, em 1861, visando a construção do telefone, originando o maior processo judicial conhecido na história entre Reiss e Bell sobre a patente da invenção do telefone, vencido por Bell (NEPOMUCENO, 1968).

No século XX a acústica passou a apresentar desenvolvimento e importância econômica considerável. Em 1925 Sabine iniciou os estudos sobre Acústica Arquitetônica, continuados por Morse, Newman, Hunt, Beranek, Cremer e outros.

O crescimento das cidades e o rápido aumento do número de veículos motorizados têm causado sensível aumento do número de reclamações da população em relação ao ruído gerado nas cidades de grande e médio porte. O aumento da poluição sonora cria ambientes mais ruidosos, com isto passa a existir a necessidade de isolar o ruído externo para que este não invada as habitações e cause desconforto aos moradores (ZANNIN et al., 2003).

Conforme Gerges (2002), o Brasil, dos anos 70, investiu pesadamente no programa de pós-graduação em todas as áreas, especialmente em acústica e vibrações. Muitas universidades alcançaram benefícios destes investimentos, como a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Hoje, a Universidade Federal do Paraná (UFPR) também possui programas de pós-graduação na Engenharia Mecânica e da Engenharia Civil voltados para a área de acústica e vibrações.

O ruído urbano é uma característica dos tempos modernos, onde a mecanização e a industrialização aceleram o passo do desenvolvimento criando novas máquinas, que geram algum tipo de ruído e aumenta de forma geral o nível do ruído ambiental. O meio ambiente vem sendo constantemente agredido por níveis crescentes de ruído, e neste sentido tem o cidadão direito à proteção contra o mesmo.

A acústica, na última década, adquiriu grande importância, tanto nos problemas psicológicos e sociais relacionados com o ruído, como na tecnologia. A poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas (ZANNIN, 2002).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A condição acústica dos edifícios escolares é um dos parâmetros de conforto do ambiente que mais tem causado preocupações na área de acústica do ambiente construído. Na última década, o tema acústica de salas de aula tem sido analisado e discutido nos principais eventos de acústica (International Conference on Acoustics – ICA - Roma, 2001; Forum Acusticum – Sevilha, 2002; Joint Meeting of the Acoustical Society of America – Sociedade Iberoamericana de Acústica – Cancun, 2002; Euronoise – Nápoles, 2003; International Conference on Acoustics – ICA – Japão, 2004; Internoise – Rio de Janeiro, 2005), no Brasil e no exterior, sendo estudado por profissionais de diversas áreas.

Existe há décadas a necessidade de boa acústica para salas de aula e sabe-se que o assunto é de interesse de engenheiros, arquitetos, fonoaudiólogos e pedagogos, por envolver aspectos do projeto das edificações escolares e de seus usuários: alunos e professores (LORO, 2003). Porém, a maior parte dos projetos arquitetônicos elaborados para escolas, se preocupa com os aspectos funcionais (manutenção, iluminação, ventilação...), estéticos (espaços, áreas verdes, cores...) e de custos, sendo que o projeto acústico, muitas vezes, não é abordado ou é mal abordado.

A utilização de elementos construtivos espessos, duros e lisos que incorrem em altos tempos de reverberação, comprometendo a inteligibilidade na transmissão e processamento das informações (GONZÁLEZ; PÉREZ, 2002; CARBONE; MERCANTI, 2003).

A educação formal está baseada em grande parte na comunicação verbal entre professores e alunos; excesso de ruído e de reverberação em uma sala de aula dificulta a comunicação, transformando-se em barreiras ao aprendizado (LUBMAN;

SUTHERLAND, 2003).

Hagen et al. (2002) dizem que professores e alunos não estão cientes dos efeitos causados pela falta de um projeto acústico na transmissão de informações e no aprendizado.

Richter (1962 apud Batista 1998) diz que os arquitetos sabem que terão problemas acústicos nas salas de concertos, teatros e auditórios; mas poucos percebem a importância dos problemas acústicos nas escolas, nos hospitais e nos edifícios. Batista (1998) diz, também, que os arquitetos devem iniciar o projeto arquitetônico, nas suas diversas etapas, com a acústica das salas de aula em mente, assim acarretaria diminuição nos problemas futuros.

Durante o processo de planejamento, problemas acústicos podem geralmente ser evitados com um pouco de reflexão prévia e com diferente disposição dos mesmos materiais de construção. A renovação de salas de aula mal projetadas fica muito mais cara.

Talvez não haja interação entre projetistas e educadores para que a acústica das salas de aula atinja o maior índice de inteligibilidade possível. Conforme Bistafa e Bradley (2001), a meta da acústica na sala de aula é adequar a inteligibilidade da fala.

Roy (2002) e Nogueira et al. (2002) dizem que a privacidade na fala é um componente muito importante no interior da construção, afetando a satisfação e o desempenho dos ocupantes e, assim, a produtividade. Segundo o *National Center for Education Statistics*, em ambientes de acústica ruim, os professores perdem em média dois dias de trabalho por ano devido à fadiga vocal (GONZÁLES; PÉREZ, 2002; FRANGOS, 2003). Edificações escolares com má qualidade acústica prejudicam a aprendizagem, principalmente para aqueles alunos e professores que já possuem alguma deficiência (KENNEDY, 2002).

Loro (2003) afirma que a pesquisa científica no campo do conhecimento e da aplicação da acústica ambiental cresceu em muitos países, assim como o

desenvolvimento de materiais e equipamentos voltados para o conforto acústico. O International Institute of Noise Control Engineering – Noise and Reverberation Control for Schoolrooms, comitê internacional habilitado a investigar acústica de escolas, realiza estudos para balizar os critérios e as condições mínimas aceitáveis para eficiência acústica das edificações escolares. Nestes estudos, devido à abrangência internacional, considerem-se diferentes aspectos:

- a) Clima;
- b) Cultura;
- c) Nacionalidade;
- d) Tipologia.

Hagen et al. (2002) afirmam que a acústica recebe pouca atenção da teoria educacional. Pesquisas têm apresentado a influência da acústica no aprendizado e performance, como também no comportamento social e na compreensão. Condições acústicas desfavoráveis tornam o aprendizado e o ensino desnecessariamente exaustivos.

Hodgson et al. (1999) realizaram medições acústicas em 30 salas desocupadas na University British Columbia (UBC). Testes prévios foram feitos em 46 salas desocupadas e em 10 ocupadas por estudantes. Os resultados para as 10 classes ocupadas foram usados para corrigir os das salas desocupadas. O principal objetivo desta pesquisa foi determinar como otimizar o planejamento acústico de salas de aula de universidades em relação à comunicação verbal.

Fernandes et al. (2002) e Bradley (2002) sugere que os efeitos combinados de ruído excessivo no ambiente e reverberação em salas de aula interferem no reconhecimento da fala e tendem a degradar o processo de aprendizagem.

Astolfi et al. (2003) em recente pesquisa em dezesseis escolas de ensino fundamental e em quatro universidades em Turim, Itália, visando investigar o conforto acústico com medições e análises subjetivas, concluíram que ruídos excessivos no

ambiente e reverberação em salas de aula interferem na comunicação da fala e reduzem a capacidade de aprendizagem, causando fadiga em professores pelo esforço vocal.

Eniz e Garavelli (2005) realizaram uma investigação sobre as condições de conforto acústico em escolas no Distrito Federal. Foram avaliados os parâmetros tempo de reverberação e nível de ruído de fundo. Os resultados mostraram uma situação crítica, pois a maior parte das escolas analisadas encontra-se em regiões ruidosas e somente uma escola analisada apresentou resultados compatíveis com as normas.

Hodgson (2003) mediu as características acústicas de quatorze (14) salas de aula da Universidade de Columbia no Canadá, antes e depois das reformas realizadas. Os critérios utilizados focavam a qualidade da comunicação verbal. Os resultados indicaram que algumas reformas foram benéficas reduzindo os níveis de ruído das salas.

Yebra et al. (2003) realizaram medições de isolamento e qualidade acústica nas salas de aula da Universidade de Alicante, Espanha. Os parâmetros investigados foram:

- a) Índice de isolamento acústico;
- b) Tempo de reverberação e inteligibilidade da fala;
- c) Distribuição e densidade de modos próprios;
- d) Balanço dos níveis de pressão sonora e ecos.

Analisando os resultados, verificaram que o isolamento das fachadas é bom, porém o isolamento entre as salas de aula e áreas internas comuns é ruim devido à existência de portas e janelas inadequadas. O tempo de reverberação ótimo, adotado como 0,6 segundo, foi encontrado apenas em 10% das salas quando estas estavam com pelo menos 25% de ocupação. Em 35% das salas há prejuízo na inteligibilidade da fala por causa da geometria e dos materiais adotados. Quanto ao ruído ambiental nenhuma sala está livre desta contaminação. Concluíram, então, que para sanar estas

situações dentro da universidade, deve-se montar um panorama geral da qualidade acústica de cada sala de aula, com o intuito de propor medidas corretivas, como por exemplo: valorização da capacidade de isolamento dos elementos cegos, ou seja, paredes que não possuem nenhuma abertura como portas e janelas; qualidade especial para as situações com elementos mistos; estudo ambiental para que as zonas onde as escolas forem implantadas possuam limites para emissões sonoras; qualidade e proteção das zonas comuns; balanço dos níveis de pressão sonora e reforços geométricos; soluções para deficiências nas formas e tempo de reverberação em função da inteligibilidade.

Seep et al. (2002) fizeram um estudo de caso de uma sala de aula de um antigo prédio de uma universidade, que era alvo de reclamações dos professores com relação às condições acústicas, incluindo altos níveis de ruído e baixa inteligibilidade da fala. A fim de fornecer recomendações corretas para melhorar as condições acústicas desta sala, os níveis de ruído ambiente e o tempo de reverberação da sala foram medidos. Era importante que as condições acústicas fossem melhoradas sem afetar a estética da sala. Devido ao teto alto e a falta de materiais absorventes na sala, o tempo de reverberação medido foi de 1,5 segundos em frequências médias. Decidiram, então, suspender placas de lã de vidro densa de 2 polegadas recobertas com tecido, que complementou o sistema de cores da sala, no mesmo nível das luminárias pendentes. Painéis de lã de vidro revestidos com tecido também foram montados nas paredes entre as janelas para impedir ecos com redução adicional do tempo de reverberação. Após a modificação, o tempo de reverberação para a sala não ocupada foi reduzido para 0,5 segundo nas frequências médias.

Na Alemanha, Bobran (1995) diz que as salas de aula atuais são construídas com materiais rígidos e duros. A consequência é que os tempos de reverberação encontrados para salas de aula vazias variam entre 1,7 e 3,6 segundos, e para os mesmos ambientes totalmente ocupados, os valores ficam entre 1,2 e 1,6 segundos.

Considerando que as edificações escolares encontram-se dentro do espaço urbano e este em constante desenvolvimento, Pedrazzi et al. (2001) afirmam que nas cidades atuais, os habitantes estão imersos em ambientes ruidosos procedentes de grande número de fontes, exteriores e interiores aos edifícios.

Para Zannin et al. (2003), durante anos, eram suficientes os conhecimentos adquiridos com a experiência para resolver problemas acústicos que ocorriam nas edificações, mas com o desenvolvimento constante das cidades e o rápido aumento do número de veículos motorizados tem crescido o número de reclamações da população em relação ao ruído gerado nas cidades de médio e grande porte.

Fernandes e Viveiros (2002) realizaram estudos sobre o impacto do ruído de tráfego em edificações escolares. Para tanto, analisaram os indicadores de ruído urbano e os parâmetros de inteligibilidade da fala. Seus estudos mostram que, para o planejamento das construções escolares, deve ser considerado o nível de ruído emitido pelas vias de tráfego próximas, durante o horário de maior fluxo, no período de atividades escolares. Concluíram que um dos principais objetivos de uma regulamentação nacional para controle do ruído urbano deve ser a de planejar a cidade levando em conta o impacto das rodovias em áreas onde as atividades desenvolvidas têm necessidades acústicas especiais. É importante discutir a projeção de crescimento futuro da via de tráfego e conseqüentemente, os futuros níveis de ruído (ZANNIN et al., 2003).

Antes do nascimento o ser humano já recebe a influência de sons e vozes. Sons familiares e suaves tranquilizam. Já ruídos de diferentes intensidades assustam, causam medo. A audição é o sentido que primeiro possibilita o aprendizado da língua, abrindo ao homem o mundo, onde ele se comunica, aprende a entender, onde o conhecimento e experiências são acumuladas, idéias e opiniões trocadas. Para algumas pessoas ouvir é algo muito natural. Mesmo dormindo os ouvidos não podem ser desligados (ZANNIN, 2002).

Silva (2000) afirma que a comunicação verbal é reconhecida como requisito fundamental em qualquer sociedade humana. A interferência com a comunicação da palavra perturbam atividades profissionais, educacionais ou domésticas comuns, cria um ambiente desfavorável ao convívio e torna-se um grande incômodo. O principal efeito do ruído na comunicação verbal é mascarar o som da palavra e diminuir sua inteligibilidade.

Kryter (1985) afirma que a palavra “ruído” é normalmente utilizada para indicar a energia acústica audível que afeta adversamente as pessoas.

O conforto ambiental é alcançado quando o ambiente se encontra em uma faixa de valores para o ruído no qual as pessoas sintam-se confortáveis. Estes limites variam de acordo com o tipo e localização do ambiente e a atividade desenvolvida. O conforto acústico depende de parâmetros, como: frequência e nível do som, distância e posição relativa das fontes (externa ou interna) e forma de transmissão do ruído (ondas aéreas, vibrações do próprio edifício). Dependendo desses dados, a solução para o conforto pode ser obtida do isolamento do ambiente em relação ao seu entorno ou do tratamento das suas superfícies internas visando à absorção do som ali mesmo produzido.

Zannin (2002) afirma que a poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas.

O relatório da Environmental Protection Agency – USA (AZEVEDO, 1984 apud LORO 2003) concluiu que o ruído não afeta somente a audição, podendo também causar:

- a) surdez permanente, parcial ou total;
- b) surdez temporária, que poderá tornar-se crônica;
- c) não percepção de outras comunicações sonoras;
- d) perturbações do sono;
- e) interferência na atenção, na concentração e no trabalho mental;

- f) modificação de humor;
- g) perturbação do relaxamento mental.

Zannin (2002) expõe que partir da avaliação objetiva de que um nível de pressão sonora abaixo de 85 dB(A) não causa danos à saúde é uma proposição muito simplista. O homem, olhado no todo, não é constituído somente de ouvidos e audição, onde as ondas sonoras se movimentam e exercem influência. Muito mais do que isso, as células ciliadas, localizadas na cóclea (ouvido interno), transformam as vibrações no ouvido interno em impulsos nervosos, os quais são conduzidos ao cérebro e a partir destes são conduzidos para todo o corpo, provocando reações psico-fisiológicas de difícil mensuração. No entanto, estas têm efeitos graves e profundos na saúde dos indivíduos submetidos a ambientes ruidosos.

Halpern e Savary (1985) relatam estudos realizados sobre a maneira que o ruído afeta o aparelho auditivo e outros aspectos da saúde física. Esses sugerem que mesmo que determinados sons ou ruídos não estejam produzindo efeitos prejudiciais ao corpo, podem estar afetando de forma negativa o comportamento, as emoções, o pensamento, o aprendizado, a criatividade, a imaginação e outros processos psicológicos.

O primeiro dado importante a ser considerado é o destino do recinto a ser estudado. Conforme sua finalidade, deve-se previamente, fixar o nível médio de ruído admissível, tomando-se então todas as precauções para que os ecos e ressonâncias impróprios sejam eliminados e o tempo de reverberação resultante seja o adequado.

Muitos aspectos que apareceram com a evolução da era moderna serviram para deteriorar o ambiente acústico das salas de aula. No passado, as salas eram mais silenciosas e agradáveis usando a ventilação natural, pois o ruído de fundo era menor devido à existência de um número menor de fontes geradoras de ruídos externos. Hoje, com a necessidade de reduzir o custo das edificações e com o aumento do ruído de tráfego, as salas são relativamente mais ruidosas e reverberantes.

O grupo ANSI (*American National Standards Institute*) S12 W/G 42 da Sociedade Americana de Acústica levantou algumas considerações sobre o aumento do ruído em salas de aula:

- 1) O condicionamento de ar é projetado e adaptado para muitas salas velhas aumentando o ruído de fundo ideal para ambientes de aprendizagem;
- 2) O tempo de reverberação deve ser reduzido instalando-se materiais absorventes nas paredes e no teto;
- 3) O ruído urbano aumentou devido ao crescimento das cidades, e a tecnologia de fabricação das portas e janelas para isolamento do ruído externo não evoluiu proporcionalmente;
- 4) O comportamento dos estudantes é diferente devido às mudanças sociais e familiares.

Yebra et al. (2003) consideraram as seguintes etapas para um planejamento do estudo do controle de ruído em escolas:

- a) Estudar o entorno da escola, identificando as principais fontes de ruído externo e interno;
- b) Analisar o efeito do ruído externo, identificando sua principal fonte;
- c) Analisar o ruído entre salas contíguas, no que diz respeito aos níveis e tipos de transmissões;
- d) Analisar o tempo de reverberação;
- e) Avaliar a inteligibilidade;
- f) Discutir sobre os sinais sonoros e o que expressam no clima social, o ponto de vista de todos os envolvidos sobre como deveriam ser os ruídos da escola.

Deve-se levar em consideração a geometria da sala, os materiais construtivos, os locais de abertura, existência de lousas acústicas etc., uma vez que irregularidades geométricas influem nos valores medidos e materiais absorventes nas paredes melhoram o desempenho acústico da sala.

Loro (2003) afirma que compete ao projetista a definição do melhor modelo a ser adotado e a escolha do melhor local dentro do terreno para a escola ser implantada.

Modelos horizontais em um ou dois pavimentos ficam menos expostos ao ruído difundido pela vizinhança. Já, os modelos verticais inseridos em locais de edificações mais baixas, ficam mais sujeitos aos ruídos distantes. Ou seja, salas de aula nos andares mais altos estão mais propícias à ação do ruído do entorno (LORO, 2003).

Bradley (2002) sugere dois pontos principais para se obter uma boa acústica em salas de aula. Primeiro a redução do ruído de fundo do ambiente para níveis admissíveis e recomendados para a atividade, e segundo a geometria interna das salas em função da correta especificação do tempo de reverberação.

É necessário, que no momento da distribuição das salas e na interligação das atividades, não seja ignorada a capacidade de cada ambiente gerar ruído e propagá-lo. As circulações deverão sempre merecer análise cuidadosa, sejam elas horizontais ou verticais.

Strumpf (1984) relata que as soluções arquitetônicas de corredores baseiam-se no planejamento geral. Quanto maior o seu comprimento e a sua altura, e menor a sua largura, pior acusticamente por favorecer excessiva reverberação. Um corredor situado entre a fonte de ruído e a sala de aula ajuda a reduzir os níveis de ruído:

- 1) Corredor fechado sem tratamento acústico - reduz de 1 a 2 dB;
- 2) Corredor aberto para um lado sem tratamento acústico - reduz de 2 a 3 dB;
- 3) Corredor fechado com tratamento acústico - reduz de 3 dB;
- 4) Corredor aberto com tratamento acústico - reduz de 3 a 4 dB.

Escadas e corredores são bem semelhantes. Uma mudança de direção entre os lances ajuda na redução do ruído, complementado pelo fechamento das laterais. Se as escadas forem planejadas com espaço central vazio facilitará a propagação de ruídos entre os andares. O posicionamento da escada é fundamental, a fim de que ela

não se transforme em uma fonte de ruído interna expressiva (LORO, 2003).

Deve-se considerar também o ruído de salas de aula adjacentes, pois interrompem o processo de aprendizagem, especialmente durante os períodos de leitura e de provas. Há alguns anos, quando as paredes das escolas eram construídas com tijolos maciços ou blocos de concreto, este não era um problema muito grave. Em décadas recentes, a necessidade de diminuir os custos da construção civil levou ao uso de paredes finas com materiais leves, que oferecem redução mínima do ruído. Ainda pior, nas décadas de 60 e 70, muitas salas de aula panorâmicas foram construídas sem quaisquer divisórias entre elas. Em algumas escolas, tais espaços foram sendo divididos, mas a redução de ruído entre elas continuou insuficiente (SEEP et al., 2000).

Airey (1998) relata a existência de forros bastante altos em salas de aula, muitas vezes com inclinações desfavoráveis ou vigas incorporadas no desenho. Essas características provocam tempos de reverberação altos, além de particularidades no campo sonoro, como regiões vivas ou mortas em decorrência da criação de focos acústicos. A geometria de uma sala pode ser um fator determinante para sua qualidade acústica.

De forma geral, para tratamento acústico de salas de aula, utilizam-se materiais absorvedores de som, vidros duplos, carpetes, forros acústicos e paredes mais espessas e sem aresta vazada com o teto, a fim de evitar vazamentos acústicos de uma sala para a outra. Em salas com ar condicionado também devem ser tomados cuidados para que estes não gerem ruídos excessivos (FRANGOS, 2003).

Seep et al. (2002) afirmam que o melhor projeto de sala de aula poderia ser obtido transferindo parte da absorção do forro para as paredes, mantendo a região central do teto sem qualquer revestimento para a reflexão da voz do professor em direção ao fundo da sala, pois, um teto que absorve parcialmente e reflete parcialmente pode ser facilmente construído com uma grade de sustentação padrão. Simplesmente colocam-se as placas acústicas ao redor do perímetro do teto e as placas de gesso no

centro da grade. Para refletir mais som para o fundo da sala o teto pode ser chanfrado acima da posição do professor, na frente da sala de aula. Esta superfície refletora deve ser construída com material duro, como compensado ou placa de gesso, podendo ser pintada no mesmo padrão da sala. A colocação de materiais absorventes nas paredes reduz o tempo de reverberação e acaba com os ecos, e com forração no piso a acústica torna-se muito boa.

Observando-se a figura 1, a sala (a) é uma típica sala de aula indesejável, sem material absorvente sonoro e sem reflexões úteis. A sala de aula (b) é melhor, pois possui forro absorvente e forração no piso. A sala de aula (c) é ideal, com absorventes sonoros em três paredes, forração no piso e teto refletor inclinado na região frontal, com 3 superfícies refletoras no centro e superfícies absorventes de som no entorno.

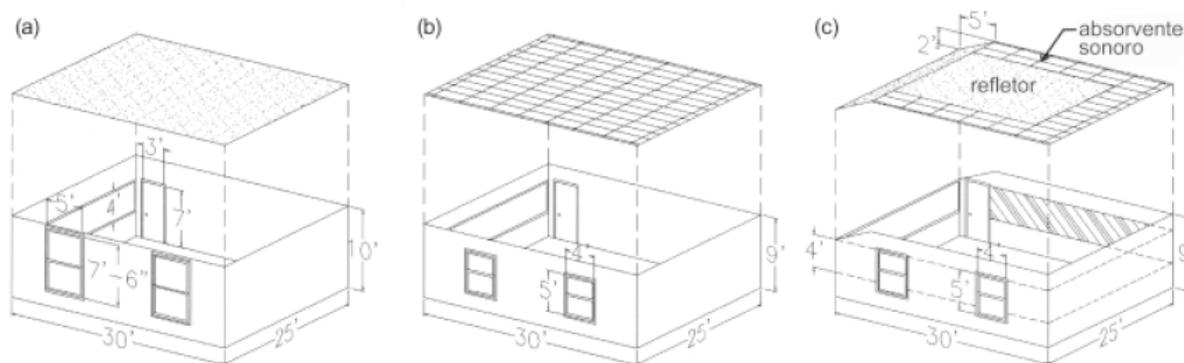


FIGURA 1 – LAYOUTS DE SALAS DE AULA BOAS E RUINS ACUSTICAMENTE

FONTE: Seep et al. (2002)

A figura 2 mostra exemplos de paredes boas e ruins construídas com placas de gesso. Em geral, quanto mais espessa é a parede maior será a redução na transmissão do ruído. Porém, uma parede sólida e grossa é geralmente muito cara e ocupa muito espaço no piso. A incorporação de lã de vidro ou fibra mineral na cavidade formada entre as camadas da parede também pode reduzir a transmissão de ruído.

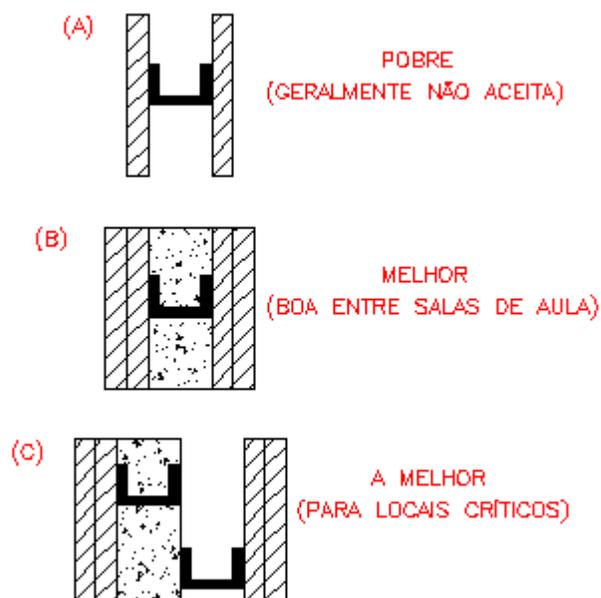


FIGURA 2 – EXEMPLOS DE PAREDES BOAS E RUINS PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO CONSTRUÍDAS COM PLACAS DE GESSO

FONTE: Seep et al. (2002)

Janelas, portas, pequenas aberturas e rachaduras podem diminuir a eficiência de uma parede. Portas maciças, ajustadas e vedadas melhoram a condição acústica das salas.

Frangos (2003) verificou em estudo recente, que espessuras diferentes de paredes do tipo dry-wall isolam frequências diferentes de som. Neste sentido, deve-se ter o cuidado de não colocar portas de salas umas diretamente diante das outras em lados opostos de um corredor. O espaçamento das portas ao longo da circulação cria um caminho longo, menos direto para o ruído passar de uma sala para a outra. A figura 3 mostra arranjos bons e ruins de portas: (a) e (b) são bons porque o som percorre 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.

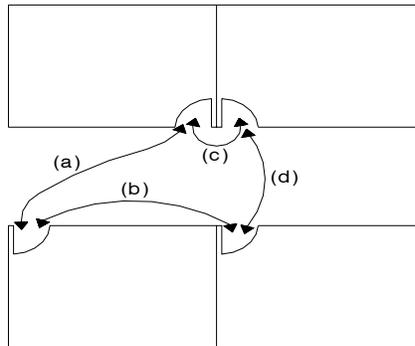


FIGURA 3 - LAYOUT DE PORTAS EM SALAS DE AULA BOAS E RUINS ACUSTICAMENTE

FONTE: Seep et al. (2002)

A utilização de parâmetros acústicos na concepção de salas de aula é menor do que o custo gerado pela adequação. Em termos de relação custo–benefício, nem todas as soluções para a acústica são caras. Por exemplo, em uma escola utilizaram-se bolas de tênis velhas nos pés das carteiras para diminuir o ruído ao arrastá-las (FRANGOS, 2003).

Silva (1997), sugere a seguinte seqüência para o desenvolvimento do projeto acústico:

- 1) Levantamento dos ruídos locais;
- 2) Determinação dos objetivos do projeto e;
- 3) Observações no lançamento do projeto.

As diferenças no estilo de vida, no clima e no desenho das construções não contribuem para uma harmonização internacional dos níveis de ruído. As normas e as leis são regulamentadas individualmente pelos países ou pelas autoridades locais.

Karabiber e Vallet (2003) comprovam em suas pesquisas que distintos edifícios em diversos países, com finalidade educacional, possuem em sua grande maioria salas de aula com acústica insuficiente. O nível de ruído e o tempo de reverberação são os principais parâmetros afetados. Em alguns países as recomendações acústicas são dadas no código de obras.

A *ANSI – American National Standard Institute (USA)* aprovou em junho de 2003 o padrão de referência de critérios de desempenho e exigências do projeto acústico para escolas. Critérios, exigências e orientações foram formatados para conseguir elevado grau de inteligibilidade nos espaços destinados à aprendizagem (ROMAN, 2004). A norma DIN 18041 – Schallschutz in Schulen (Controle de Ruído em Escolas) recomenda que salas de aula com boas condições acústicas devem ter de 4 a 5 m³ por aluno. No Brasil, a NBR 10152/87 estabelece os níveis de pressão sonora para conforto acústico no ambiente construído. Para salas de aula, o nível sonoro equivalente dentro da sala de aula desocupada deve estar entre 40 e 50 dB(A) sendo que o valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior representa o nível sonoro aceitável para a finalidade do ambiente.

2.1 FUNDAMENTOS EM ACÚSTICA

2.1.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O Tempo de Reverberação é definido como o intervalo de tempo, em segundos, que o nível de pressão sonora leva para decair 60 decibéis (dB) a partir da interrupção da fonte (KUTTRUFF, 1979).

Podem-se prever valores de tempo de reverberação de equações matemáticas e de medições com instrumentação adequada. A equação mais difundida para o cálculo do tempo de reverberação surgiu no final do século XIX. O professor de física de Harvard Wallace Clement Sabine estudou os critérios para estabelecer condições acústicas satisfatórias e desenvolveu a primeira fórmula para o cálculo do tempo de reverberação, a qual recebeu seu sobrenome. A fórmula de Sabine é dada por:

$$TR = 0,163 \times \frac{V}{A} \text{ (s)} ; \quad (1)$$

onde : TR = tempo de reverberação do recinto (s);

V = volume da sala (m³);

A = área de absorção (m²).

“A”, pode ser calculado da seguinte equação:

$$A = \sum \alpha \times S \quad (2)$$

onde: \sum = o somatório dos produtos do coeficiente de absorção α de cada material de revestimento pela sua respectiva área S.

Em 2004, Hohmann, Setzer e Wehling propõem um complemento à Fórmula de Sabine, sugerindo que, além dos elementos construtivos da sala de aula, deve-se considerar as áreas de absorção sonora dos elementos adicionais de funcionalidade do ambiente (lousa, mesas, carteiras escolares e pessoas), bem como a atenuação sonora do ar, onde “A” é calculado como sendo:

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

A definição de cada elemento envolvido na determinação da área de absorção sonora equivalente para o método teórico indireto está descrita na tabela 1.

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

A	absorção equivalente da sala	m ²
A _b	absorção equivalente das paredes	m ²
A _e	absorção equivalente dos objetos	m ²
A _p	absorção equivalente referente às pessoas na sala	m ²
A _l	absorção equivalente do ar no ambiente	m ²
f	freqüência	Hz

FONTE: Hohmann et al. (2004)

A condição para a aplicação da Equação de Sabine é que o coeficiente médio de absorção sonora do ambiente deve ser de até $\bar{\alpha}_{ambiente} = 0,3$ (NBR-12179/92; Fasold; Veres, 2003). Para ambientes onde $\bar{\alpha}_{ambiente}$ é maior do que 0,3 recomenda-se segundo a NBR-12179 (1992) e Fasold & Veres (2003), o uso da Equação de Eyring:

$$TR = \frac{0,163 \times V}{-2,3S \log(1 - \alpha_m)} \quad (4)$$

onde: TR = tempo de reverberação do ambiente (s);

V = volume do ambiente (m³);

S = área total das superfícies interiores do recinto (m²);

α_m = coeficiente médio ponderado de absorção sonora das várias superfícies interiores do ambiente e todos os elementos, absorventes e reflexivos, nele contidos.

Verifica-se através das fórmulas que o tempo de reverberação depende do volume da sala; da área dos materiais das paredes, pisos e tetos e da quantidade de pessoas, móveis e objetos dentro das salas. O TR depende também da frequência do sinal em estudo, pois para melhor avaliação é necessário considerar diferentes frequências.

O tempo de reverberação deve estar de acordo com o uso do espaço, não devendo persistir no ambiente por muito tempo para não perturbar a clara percepção do som, mas também, não desaparecendo imediatamente a fim de prejudicar a percepção de alguns tipos de fontes sonoras (LOSSO, 2003).

Não existe no Brasil valor recomendado para TR de salas de aula. Vallet (2000), Fernandes et al. (2002 apud Losso 2003) e Karabiber et al. (2003) levantaram os valores de TR recomendados em diferentes países, considerando as salas mobiliadas e sem ocupantes, mostrados na tabela 2.

TABELA 2 – TEMPOS DE REVERBERAÇÃO RECOMENDADOS PARA SALAS DE AULA EM DIFERENTES PAÍSES

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

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

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

Numa investigação experimental das características acústicas em salas de aula universitárias, Hodgson (2002) fez testes na Universidade de British Columbia em 46 salas de aula desocupadas, e dentre estas, 10 quando ocupadas por estudantes. Desta maneira, ele concluiu que estas salas estão longe do padrão acústico ideal. Entretanto, o quadro melhora quando a ocupação das salas é considerada, ao menos em relação à reverberação. Isto demonstra o efeito significativo da presença de estudantes nas condições acústicas das salas de aula, enfatizando a necessidade de incluí-los quando realizado o projeto da sala e ao ajustá-lo.

No Brasil a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) utiliza os valores de tempos de reverberação ótimos da NBR-12179/92, determinados experimentalmente, por Beranek e Newman em função do volume do ambiente e do seu uso. O gráfico 1 considera o tempo de reverberação para a frequência de 500 Hz.

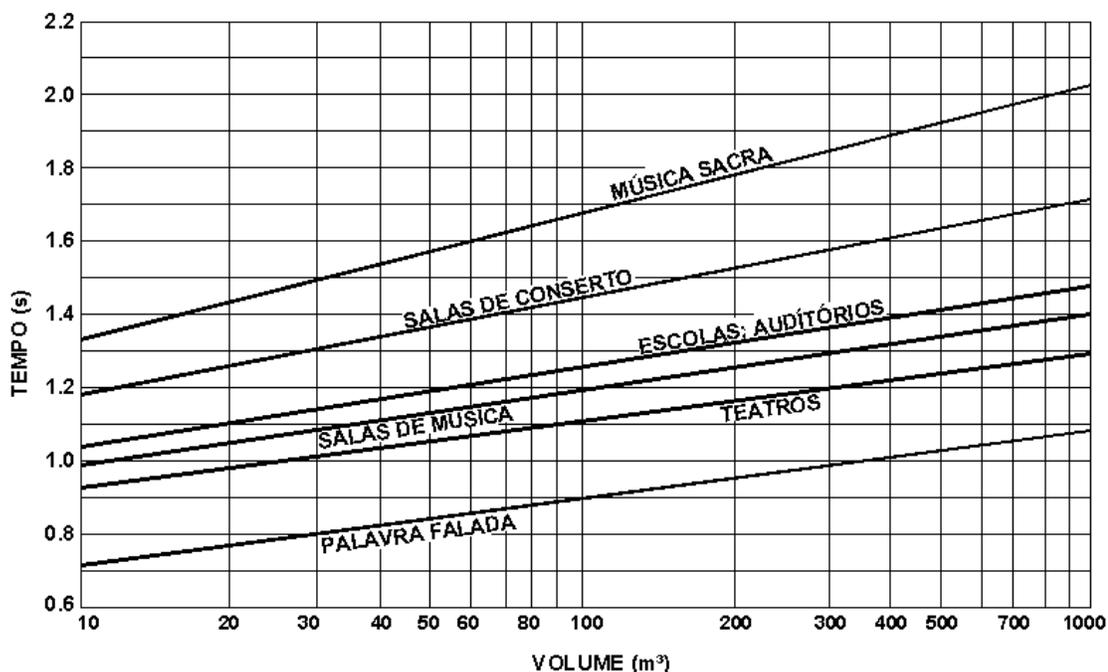


GRÁFICO 1 – TEMPOS DE REVERBERAÇÃO ÓTIMOS PARA A FREQUENCIA DE 500 Hz

FONTE: NBR – 12179 / 1992

2.1.2 RUÍDO DE FUNDO

Ruído de fundo compreende sons emitidos durante o período de observação, que não aquele objeto da medição, e deve estar pelo menos 10 dB(A) abaixo do nível da fonte objeto da medição (MOORE, 1978).

Losso (2003) diz que o ruído de fundo está sempre presente nas edificações e se origina de diversas maneiras. Qualquer perturbação acústica contribui para o ruído de fundo. Para as salas de aula, o ruído de fundo é todo aquele ruído além da voz do professor.

Num estudo realizado em Nápoles analisou-se o problema do ruído em escolas primárias e secundárias, investigando quanto o nível de ruído de fundo pode influenciar na inteligibilidade da fala. O método utilizado pelos autores visava reduzir o nível de ruído com um plano de ação que identifica as prioridades, as possibilidades remediáveis, as restrições e as estimativas de custos com base nos resultados avaliados. Para tanto foi utilizada a metodologia GIS (Sistema de Informações Geográficas). Esta metodologia está sendo aplicada nas escolas de Nápoles e está obtendo um índice muito baixo de erros podendo ser considerada como modelo para futuras pesquisas (MAFFEI et al., 2003).

A metodologia GIS foi dividida em duas fases, a primeira considera como objeto de estudo as configurações do ambiente externo (rua) na razão do número de salas de aula e alunos da escola pesquisada. E na segunda fase é estimado o nível sonoro incidente sobre a fachada da construção, considerando o afastamento desta da rua. A diferença do nível sonoro entre as duas medições foi denominada de variação de atenuação sonora (MAFFEI et al., 2003).

O método mais utilizado para avaliar o ruído de fundo de um ambiente é o método NC (Noise Critereria), curvas de avaliação de ruído. Cada curva NC é definida por um valor de NPS (Nível de Pressão Sonora) para cada faixa de frequência.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece os níveis sonoros de conforto e os níveis aceitáveis para cada tipologia do edifício (GRÁFICO 2).

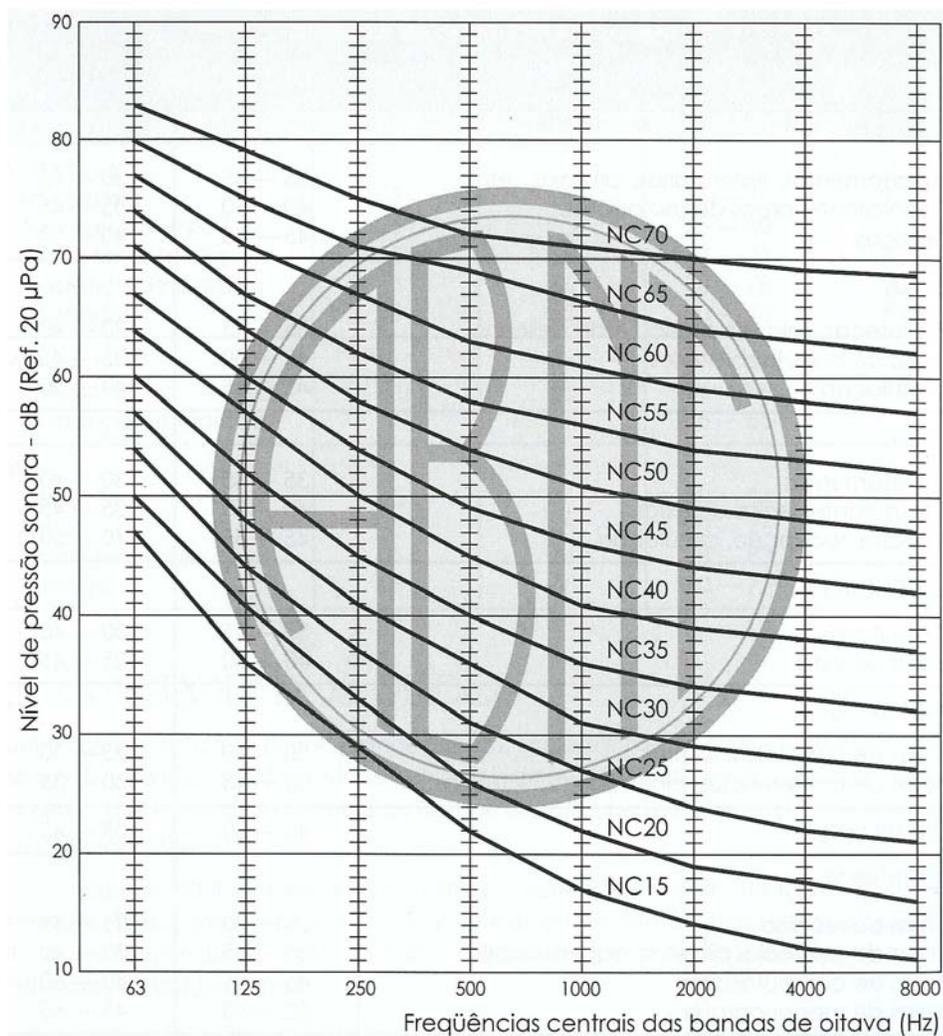


GRÁFICO 2 – CURVA DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO (*NOISE CRITERIA*)

FONTE: NBR-10152/87

Como referência, cabe citar os níveis de ruído de fundo recomendados para salas de aula em diversos países apresentados na tabela 3.

TABELA 3 - NÍVEIS DE RUÍDO DE FUNDO RECOMENDADOS PARA SALAS DE AULA EM DIVERSOS PAÍSES

País	Critério	Ano	Nível Limite [dB(A)]
Austrália	LAeq	2000	30 – 35
Bélgica (1)	LAeq	1977 / 1987	30 – 45
Brasil (NBR-10152)	LAeq	1987	40 – 50
França	LAeq	1995 / 2002	38
Alemanha (DIN 4109)	Laeq, LAmax	1987	30 – 40 / 40 – 50
Grécia	LAeq	1989	30 – 35
OMS	LAeq	–	35
Itália	LAmax	1975	36
Japão	LAeq	1997	40 – 45
Finlândia	LAeq	–	35
Holanda	LAeq	2001	30
Nova Zelândia	LAeq	2000	30 – 35
Portugal (Lei 251)	LAeq	1987	35
Espanha	LAeq	1982	40 / 40
Suécia (2)	LAeq	1995 / 2001	26 – 40 classe A, 30 – 45 classe B/C, 30 – 50 classe D
Turquia	LAeq	1986	45
Reino Unido (BB 87)	LAeq	–	40 (aulas expositivas) 45 (aulas práticas)
Reino Unido (BS 8205)	LAeq	–	45 (aulas práticas < 1000 m³)
EUA (ANSI)	LAeq	2002	35 - 40
EUA (ASHA)	LAeq	–	30
EUA (ASHRAE)	LAeq	–	45

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

FONTE: Viveiros et al. (2002), Karabiber et al. (2003)

2.1.3 ISOLAMENTO ACÚSTICO

Segundo Beranek (1960 apud Harris 1998), isolamento acústico é a capacidade de uma estrutura de reduzir o som do alcance de um espaço receptor. O isolamento acústico trata da quantidade de som emitido que é transmitido para um outro ambiente.

Heckl (1980) afirma que para se obter um bom isolamento ao ruído deve-se usar componentes de alta densidade superficial. Quanto maior a massa do fechamento e maior a frequência incidente, maior será a dificuldade para fazer o material vibrar, garantindo assim um isolamento mais eficiente.

Quando um elemento construtivo é atingido por ondas sonoras, parte da energia é armazenada em seu interior e parte é refletida, fazendo com que a parede vibre e se converta em uma fonte de ruído (MEISSER, 1973 apud FERREIRA, 2004 e FASOLD; VERES, 2003).

Na figura 4 são mostrados os caminhos percorridos pela energia sonora de forma indireta, que é transmitida através das paredes laterais da laje e do piso. E direta, transmitida através do elemento de separação entre os cômodos. Estas duas parcelas compõem o total da energia transmitida entre cômodos.

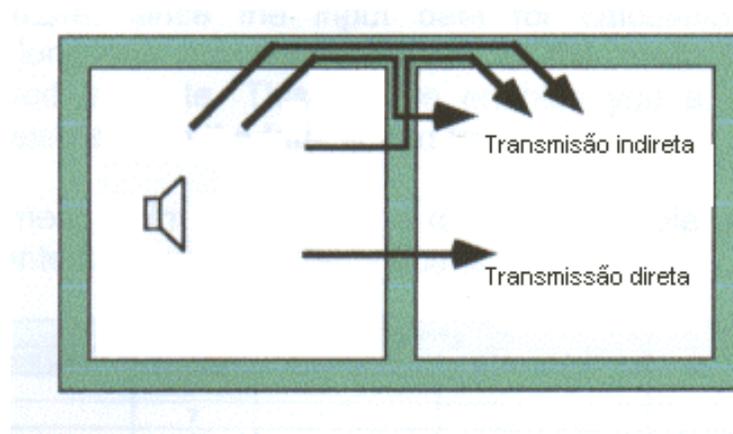


FIGURA 4 - CAMINHOS DE TRANSMISSÃO DO RUÍDO AÉREO

FONTE: Metzen (2002)

O isolamento aéreo entre dois ambientes é determinado através da diferença entre os níveis de pressão sonora medidos no ambiente onde o som é gerado e o som medido no ambiente onde o mesmo é recebido. O Índice de Redução Sonora – R (*Sound Reduction Index*) é dado então, pela relação:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \text{ (dB)} \quad (5)$$

onde: L_1 = nível de pressão sonora no local de emissão acústica (dB);

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

S = área da parede comum entre o local de emissão e o de recepção (m^2);

A = absorção sonora equivalente do ambiente de recepção sonora (m^2).

Na edificação, o fator de correção depende da definição do isolamento sonoro. Duas definições são muito utilizadas, segundo ISO 140-4:

1) Diferença de Nível Normalizado - D_{nT} (*Standardized Level Difference*), no qual o tempo de reverberação do ambiente onde o som é recebido é relacionado ao tempo de reverberação de referência.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ (dB)} \quad (6)$$

onde: L_1 = nível de pressão sonora no local de emissão acústica (dB);

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

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

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

2) Índice de Redução Sonora Aparente - R' (*Apparent Sound Reduction Index*), considera a área da parede, o tempo de reverberação e o volume dos ambientes onde os sons são recebidos, supondo a existência de campos sonoros difusos nos dois ambientes.

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \text{ (dB)} \quad (7)$$

onde: L_1 = nível de pressão sonora no local de emissão acústica (dB);

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

S = área comum entre o local de emissão e o de recepção (m^2);

A = absorção sonora equivalente do ambiente de recepção sonora (m^2).

O isolamento acústico de elementos construtivos da fachada pode ser determinado usando-se o fluxo de veículos que passa diante da moradia em avaliação como fonte sonora. Por causa da inevitável flutuação nos níveis sonoros da fonte de emissão, estes devem ser medidos simultaneamente com os níveis sonoros dentro da moradia.

Quando se usa o ruído de tráfego como fonte sonora, deve-se observar que a pressão sonora gerada advém de uma fonte sonora linear, em contraponto a uma pressão gerada por uma fonte difusa (dodecaédrica) em laboratório. Portanto, o índice de isolamento acústico é calculado 3 dB abaixo, para que o isolamento medido legitimado em laboratório para um elemento construtivo possa ser alcançado com o uso do ruído de tráfego como fonte sonora. É possível calcular o Índice de Redução Sonora Aparente - $R'_{tr,s}$ (*Apparent Sound Reduction Index*) em campo livre com a expressão 8.

1) Índice de Redução Sonora Aparente ($R'_{tr,s}$), isolamento sonoro de fachada do edifício quando a fonte sonora é o ruído de tráfego.

$$R'_{tr,s} = L_{eq,1,s} - L_{eq,2} + 10 \log \frac{S}{A} - 3 \text{ (dB)} \quad (8)$$

onde: $L_{eq,1,s}$ = nível de pressão sonora equivalente medido externamente a edificação (dB);

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

S = área do experimento (m^2);

A = absorção sonora equivalente do ambiente de recepção sonora (m^2).

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

$$D_{tr,2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ (dB)} \quad (9)$$

onde: $L_{1,2m}$ = nível de pressão sonora medido externamente a edificação com microfone a 2 metros da superfície de medição (dB);

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

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

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

Elmallawany (1983) realizou uma investigação de campo sobre isolamento sonoro entre salas de aula em escolas quando essas edificações ainda estão na fase de planejamento e merecem atenção especial, na maioria dos casos, diz a pesquisadora, uma parte do som produzido em uma sala é transmitida indiretamente

pelos elementos flanqueados como paredes laterais, tetos e pisos, para salas adjacentes.

Essa é a etapa na qual torna-se possível prever o tipo de material a ser usado na construção e quais parâmetros devem ser seguidos. Salas bem planejadas, afirma Hodgson (2002), permitem alta qualidade na fala.

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

Segundo Losso (2003) outro aspecto é que a necessidade de isolamento acústico muitas vezes é contraditória em relação aos requisitos térmicos e de ventilação, especialmente no Brasil, que possui um clima tropical.

As tabelas 4 e 5 mostram que poucos países possuem normas para isolamento entre cômodos e isolamento de fachada em salas de aula.

TABELA 4 – ISOLAMENTO ACÚSTICO EXIGIDO EM SALAS DE AULA EM RELAÇÃO AO RUÍDO EXTERNO EM DIVERSOS PAÍSES

País	Índice	Isolamento sonoro para paredes externas e cobertura
Bélgica	Dnt,w	55 dB(A) < LAeq ≤ 65 dB(A) = 27-22 dB; 65 dB(A) < LAeq ≤ 75 dB(A) = 27-32 dB; LAeq > 75 dB(A) = 32-38 dB
Alemanha	R'tr,s,w	Ruído externo < 55 dB(A) = 30 dB; 56 – 60 dB(A) = 30 dB; 61 – 65 dB(A) = 35 dB; 66 – 70 dB(A) = 40 dB; 71 – 75 dB(A) = 45 dB; 76 – 80 dB(A) = 50 dB; acima de 80 dB(A) = necessário um estudo especial.
Itália	Dnt,w	48 dB
Japão	D	45 dB para áreas residenciais
USA	STC	Mínimo de 50 dB

FONTE: Karabiber et al. (2003)

TABELA 5 - ISOLAMENTO ACÚSTICO INTERNO EXIGIDO ENTRE AS SALAS DE AULA E OS ESPAÇOS ADJACENTES

País		Bélgica	Alemanha	Grécia	Itália	Japão	Suécia	Reino Unido	Estados Unidos
Índice de Isolamento	aéreo	Dnt,w	R'w	R	R'w, D	D	R'w	Dw	STC
	Impacto	–	–	–	L'n,w	L	L'n,w	L'nTw	IIC
Isolamentos entre salas e:									
Outras Salas	aéreo	35 -30	47	–	50	40	44/48 A 44/40 B/C 44/35 D	45	50
	impacto	–	–	–	58	50-55- 60-65	56 A 60 B/C 65 D	55-60	45-50
Escadas e corredores	aéreo	35-30	52	–	42	20	44/30 A	45	45
	impacto	–	–	–	–	55	–	65	–
Salas de arte	aéreo	59-54	55	55-60	–	55	–	55	60
Cantinas	–	–	–	–	–	–	60	55	60
Ginásios	aéreo	59-54	50-57	–	–	55	–	55	60
	Impacto	–	–	–	–	45	–	65	65-70
Salas de música	aéreo	59-54	–	–	–	50	64/44 A	55-60	60
	impacto	–	–	–	–	50	–	45	50
Salas de emerg.	aéreo	–	–	–	–	50	52/44 A	45	50

FONTE: Karabiber et al. (2003)

2.1.4 ABSORÇÃO SONORA

Absorção sonora é a transformação da energia acústica em energia térmica. Quando uma onda sonora encontra uma superfície revestida com um material poroso, se propaga no seu interior e parte da energia é convertida em calor (Beranek, 1960).

Um exemplo de materiais com essa propriedade seriam os materiais porosos, tais como a espuma (de células abertas e intercomunicantes).

Ao incidir sobre o material, a onda sonora faz com que o ar nele contido transmita a vibração da onda para as paredes das células, as quais, vibrando, transformam-na em calor, sendo um efeito imperceptível, devido à fácil dissipação desse calor no ambiente (HARRIS, 1998). Tal propriedade é particularmente interessante quando se deseja minimizar as múltiplas reflexões do som no ambiente em que ele é gerado (figura 5).

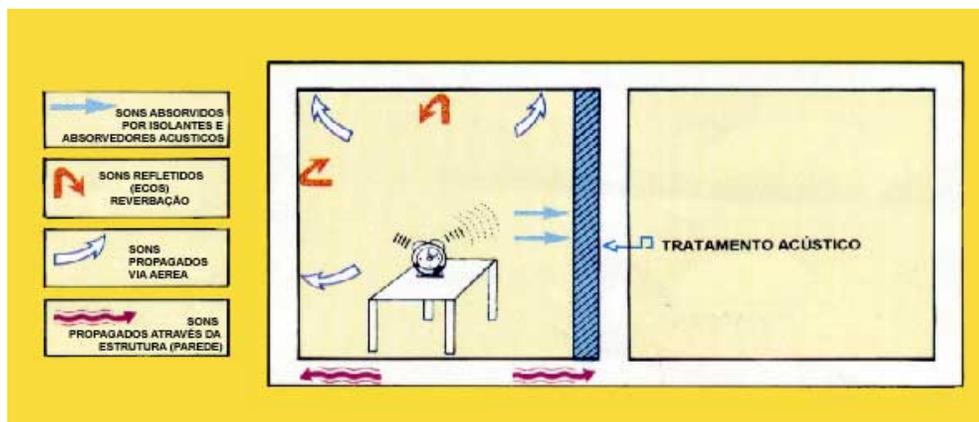


FIGURA 5 – ILUSTRAÇÃO DE EXEMPLO DE TRATAMENTO ACÚSTICO POR ABSORÇÃO

FONTE: Hassall et al. (1979)

Beranek (1960) define absorção sonora como sendo uma parte da energia absorvida pelo material em função da energia total incidente, expressa por um número entre 0 e 1. Zero (0) significa ausência de absorção, ou seja, toda a energia incidente é refletida. O valor um (1) significa absorção total de energia.

Millington (1932) diz que a quantidade de energia que uma parede absorve é proporcional a sua superfície e ao seu coeficiente de absorção (α). Denomina-se coeficiente de absorção sonora a relação existente entre a quantidade de energia sonora que incide sobre determinado material e a energia que é refletida por ele (MILLINGTON, 1932).

Teoricamente, materiais infinitamente rígidos com capacidade máxima de reflexão terão coeficientes de absorção igual a zero. Por sua vez, materiais porosos, quando submetidos à ação de uma onda sonora, vibram, absorvendo parte da energia

incidente e transformando-a em calor.

Materiais porosos costumam ter coeficientes de absorção elevados, pois os poros tendem a dissipar a energia sonora das ondas, transformando-a em energia térmica.

A absorção sonora de um material depende ainda da forma como este é utilizado, ou seja, sua geometria e suas dimensões dentro do ambiente são determinantes para sua capacidade de absorção (figura 6).

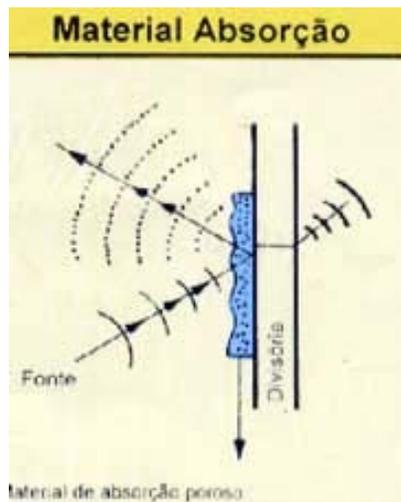


FIGURA 6 – ESQUEMA DE ABSORÇÃO SONORA

FONTE: Hassall et al. (1979)

Neste sentido, a absorção sonora de um ambiente é a área equivalente de cada superfície que apresenta propriedade de absorção neste ambiente, medida em metros quadrados e denominada de área de absorção sonora equivalente (equação 10).

$$A = \sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot S_i) \quad (10)$$

onde,

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

α_i = coeficiente de absorção sonora

S_i = área de cada superfície do ambiente $[m^2]$

3 MATERIAIS E MÉTODO

Para avaliação acústica objetiva das salas de aula, formulou-se um procedimento padrão de medição. Este procedimento foi estabelecido em função das características do objeto em estudo e das recomendações e/ou formulações para avaliação acústica de ambientes construídos prescritas em normas e leis consolidadas. Tais normas e leis foram apreciadas para a realização da avaliação, isto é, os dados obtidos foram comparados a valores recomendados.

Este trabalho é um estudo de caso que visa comparar e avaliar a acústica de salas de aula de dois prédios, construídos em épocas diferentes, situados no Campus III (Centro Politécnico e Jardim Botânico) da Universidade Federal do Paraná (figura 7).

Devido à dificuldade de se realizar medições acústicas em todas as salas de aula nos dois blocos, selecionou-se um grupo de amostra em cada um dos blocos, capaz de representar as edificações. O critério adotado foi à seleção por tipologia arquitetônica e características geométricas das salas de aula.

Foram avaliadas oito salas de aula no prédio dos Blocos Didáticos do Centro Politécnico, e sete salas de aula no prédio do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas do Jardim Botânico.

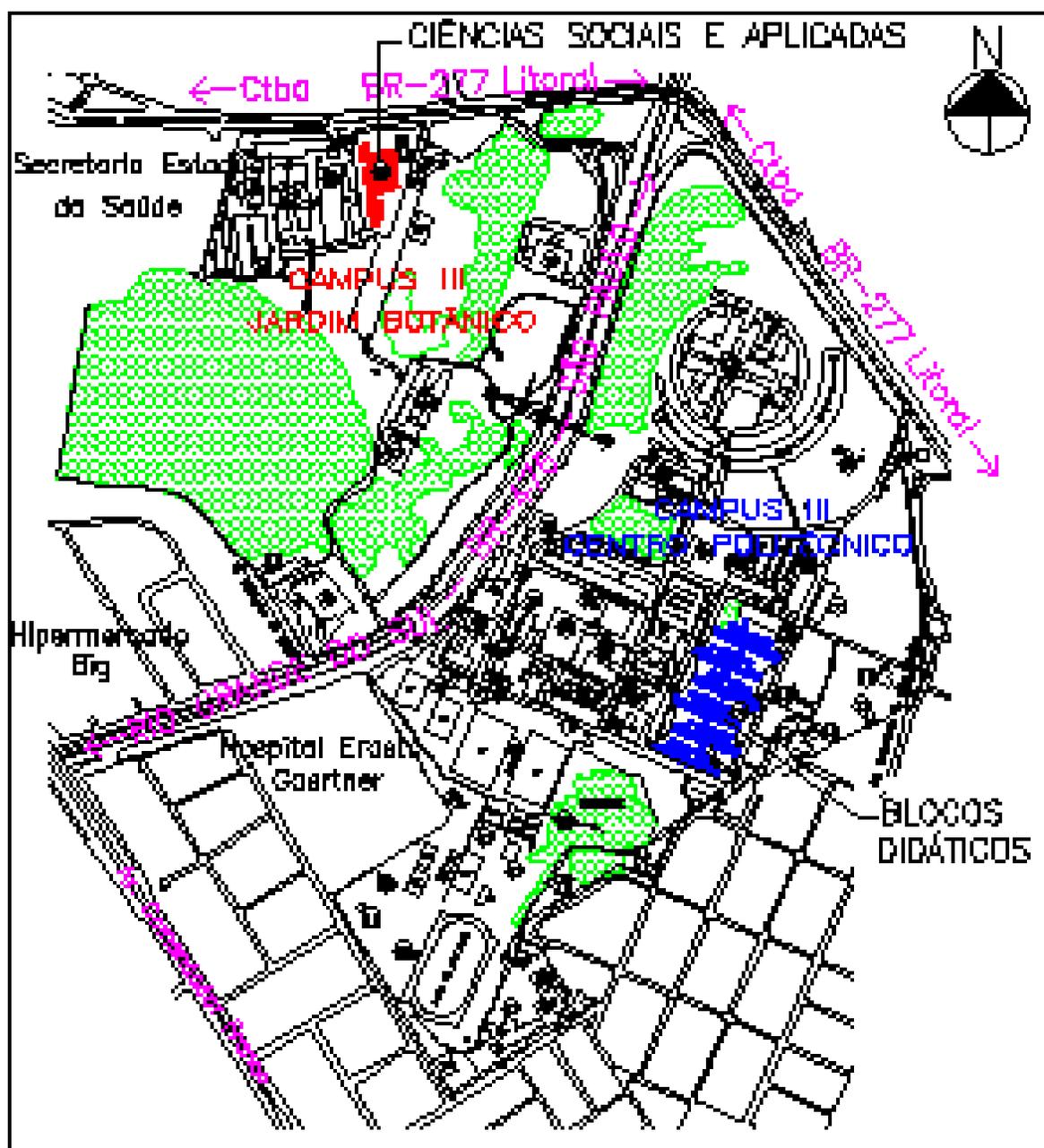


FIGURA 7 – MAPA DA IMPLANTAÇÃO DOS BLOCOS PESQUISADOS

FONTE: Prefeitura da UFPR (2005)

Para a medição dos parâmetros acústicos a metodologia adotou as seguintes etapas:

- 1) Análise dos níveis de pressão sonora no entorno das edificações, de acordo com a NBR-10151/00 (ABNT, 2000);
- 2) Análise dos níveis de pressão sonora no interior das salas de aula, segundo a NBR-10152/87 (ABNT, 1987);
- 3) Medições dos tempos de reverberação seguindo as recomendações da ISO 3382 (ISO, 1997);
- 4) Medições de isolamento acústico entre as salas e o corredor, especificados pela ISO 140-4 (ISO, 1998); e isolamento das fachadas de acordo com a ISO 140-5 (ISO, 1998).

3.1 MEDIÇÃO DO NÍVEL SONORO EQUIVALENTE (L_{EQ})

3.1.1 AMBIENTE EXTERNO

As avaliações foram realizadas a partir de medições dos níveis sonoros equivalentes, no período diurno (7:01 às 22:00 horas), nas vias principais que circundam os dois blocos analisados, num total de doze medições com duração de 15 minutos cada uma.

Para as medições utilizou-se o medidor acústico 2238 da Brüel & Kjaer. A análise dos dados foi feita com o software Evaluator Type 7820 (Brüel & Kjaer), utilizado para analisar cada ponto medido separadamente.

Seguindo as recomendações da Norma Brasileira NBR-10.151/00, que fixa as condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades e especifica um método para a medição do ruído, as medições foram feitas com ausência de fontes sonoras atípicas, tais como chuva e vento forte, e de acordo com as seguintes etapas:

- 1) Escolha, de acordo com análise de cada local, de diferentes pontos de medição;
- 2) Limitação do tempo de medição, em cada ponto, em quinze minutos.

O parâmetro utilizado para comparação dos níveis sonoros equivalentes foi o valor de 60 dB(A), fixado segundo a Lei Municipal N° 10.625/02, que rege as emissões sonoras na cidade de Curitiba, para a Zona Especial Educacional. Ainda, segundo esta lei, as zonas sensíveis ao ruído ou zona de silêncio são aquelas que para atingir seus propósitos, necessitam que lhe seja assegurado um silêncio excepcional, como hospitais, escolas, bibliotecas, hotéis, postos de saúde ou similares.

Conforme Bies e Hansen (2002), é interessante a elaboração de um mapeamento do ambiente acústico, que é a representação gráfica dos níveis de ruído que interferem no ambiente em questão, determinando assim as áreas de influência dos diversos níveis de ruído medidos.

3.1.2 AMBIENTE INTERNO

As medições dos níveis de pressão sonora equivalente, segundo a NBR-10152/87, foram realizadas nas salas de aula dos dois prédios, em duas situações de uso. Na primeira, as salas estavam vazias e com as janelas fechadas. Na segunda, as salas continuavam vazias, porém as janelas estavam abertas. Foram medidos três pontos distintos para cada situação em cada sala, e cada ponto teve o tempo de medição de 3 minutos.

Para fazer a medição dos níveis de pressão sonora no interior das salas de aula foi utilizado o analisador BK-2260 (Brüel & Kjaer), que faz a análise de frequência em tempo real. A análise dos dados foi feita com os softwares Noise Explore Type 7815 (Brüel & Kjaer), utilizado para analisar cada ponto medido separadamente, e Evaluator Type 7820 (Brüel & Kjaer), que faz uma interpolação dos pontos medidos em cada sala,

o que possibilita achar uma média espacial baseada em níveis equivalentes medidos em cada ambiente e em cada frequência de banda de oitava.

Após a utilização dos softwares, aplicou-se o método de avaliação recomendado pela NBR-10152/87, a curva de critério NC (Noise Criteria), curva de avaliação de ruído, que é um número único determinado pela medida do nível de pressão sonora do ruído em frequência de banda de oitava. Colocando estes níveis em um gráfico e comparando os resultados com as curvas NC padrão tem-se o NC do ambiente avaliado (gráfico 3).

Os dados foram então comparados com os níveis sonoros, segundo critério da curva NC, para conforto [35 dB(A)] e níveis sonoros aceitáveis (45 dB(A)] para sala de aula, segundo NBR-10152/87.

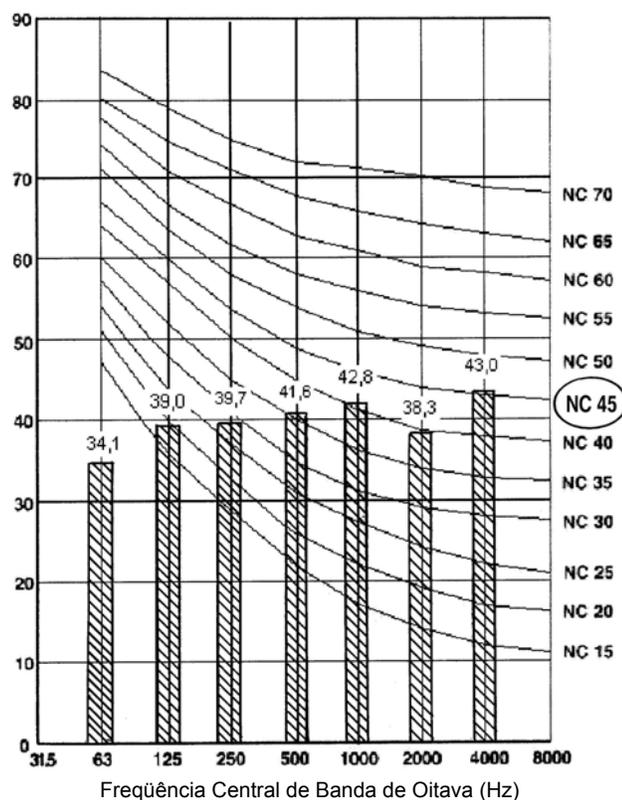


GRÁFICO 3 – COMPARAÇÃO DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA COM AS CURVAS DE CRITÉRIO DE RUÍDO (CURVAS NC)

FONTE: NBR-10152/87

3.2 MEDIÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

As medições de tempo de reverberação foram realizadas com as salas mobiliadas e sem ocupantes, na época das férias, para que os ruídos externos não interferissem nos resultados. Esta avaliação foi feita no período da tarde, entre 14:00 e 17:00 horas, com as portas e as janelas das salas de aula fechadas e em dias sem chuva.

Para avaliar a influência da ocupação nas salas de aula foram realizadas medições de tempo de reverberação com as salas parcialmente (50%) e totalmente (100%) ocupadas.

Esta avaliação foi feita em uma sala de cada bloco e cada sala teve um número de pontos de medição de acordo com o seu volume e com suas características geométricas.

Para medir o tempo de reverberação de um ambiente, é necessária a presença no mesmo de uma fonte sonora e de um sistema para a medição do decaimento nos níveis de pressão sonora, assim que a fonte for desligada (ZANNIN et al., 2003).

Utilizou-se um analisador em tempo real de dois canais BK 2260, o qual emite um sinal sonoro para o amplificador de potência BK 2716, que está conectado a fonte sonora dodecaédrica omnidirecional BK 4296. O som gerado é, então, captado por um microfone conectado ao analisador BK 2260, o qual calcula automaticamente o tempo de reverberação para cada frequência do espectro de interesse.

O tempo de reverberação TR_{60} é obtido da interpolação dos resultados dos TR_{20} e TR_{30} (tempo que o som leva pra cair 20 ou 30 dB a partir da interrupção da fonte) medidos pelo analisador, ou seja, o analisador faz três medições consecutivas para cada ponto de medição da sala para todas estas medições, obtém os TR_{20} e TR_{30} que são multiplicados por 3 ou 2 respectivamente, automaticamente pelo software BZ

7204 e resultam no TR_{60} . Das três medições é extraída a média e obtém-se o TR do ponto em estudo. O valor do TR de cada sala é obtido pela média dos TRs de todos pontos medidos na mesma. Para realizar estas medições gerou-se um sinal do tipo ruído rosa. As especificações para este tipo de medição são estipuladas pela ISO 3382 (ISO, 1997).

Uma vez transferidos os dados para o computador, o software Qualifier BK 7830 realiza o processamento dos dados do tempo de reverberação e possibilita a avaliação gráfica (gráfico 4).

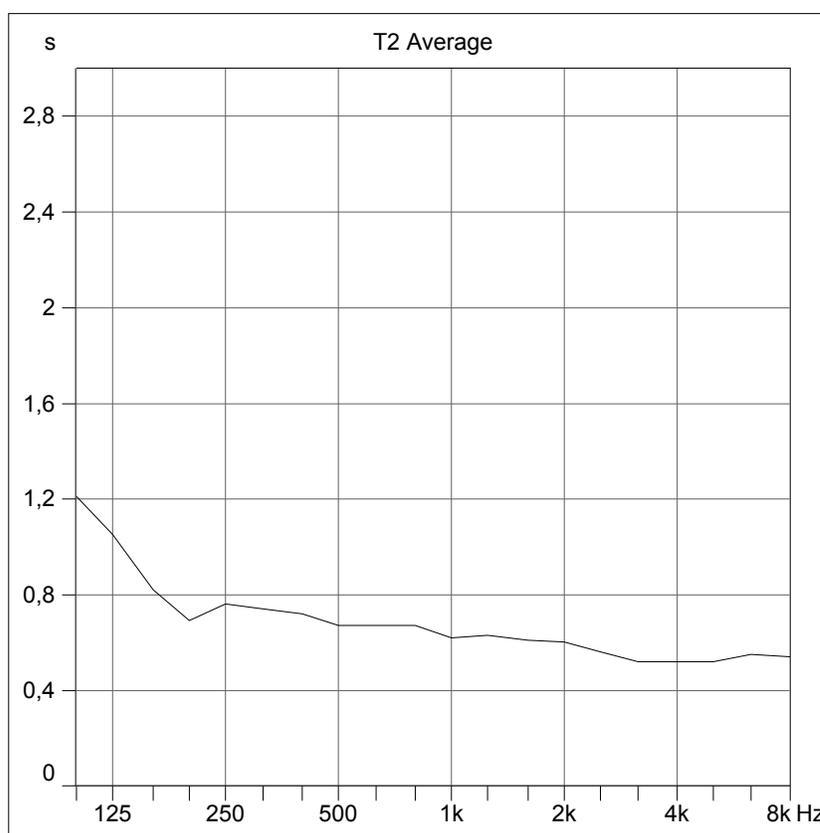


GRÁFICO 4 – AVALIAÇÃO GRÁFICA PARA O TEMPO DE REVERBERAÇÃO

FONTE: Software Qualifier BK 7830

3.3 MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

O número de pontos de medição avaliados em cada sala foi determinado em função das dimensões destes ambientes, cuidando-se sempre para respeitar a distância mínima de 0,5 m entre a parede e o microfone. O procedimento de medição utilizado para a determinação dos coeficientes de isolamento consistiu em gerar um sinal do tipo ruído rosa, com o analisador acústico BK 2260, amplificá-lo utilizando o amplificador de potência BK 2716, para distribuí-lo pelo ambiente com a fonte sonora dodecaédrica omnidirecional BK 4296. A captação do som foi feita por dois microfones, um instalado na sala de emissão e outro na sala de recepção.

Os níveis externos e internos foram medidos ao mesmo tempo, como exige a norma ISO 140-5 (ISO, 1998), para os casos que o ruído de tráfego é utilizado como fonte externa.

Para determinação de um coeficiente único, que representa o resultado da medição dos parâmetros acústicos obtidos, é utilizado o método gráfico descrito na norma ISO 717-1, gerando os números únicos para cada elemento construtivo avaliado.

Após as medições em campo, os dados foram descarregados no software BK 7830 que processa todos os dados medidos e fornece com precisão o valor único de isolamento sonoro. Esses foram processados de acordo com as normas ISO 140-4, ISO 140-5 e ISO 717-1.

Obtiveram-se os gráficos que apresentam o isolamento acústico das salas e das fachadas, avaliados em bandas de frequência de 1/3 de oitava, como no modelo do gráfico 5, e o número único de isolamento acústico, seguindo os preceitos da norma ISO 717-1, calculado automaticamente pelo software BK 7830, que aparece no canto superior direito do gráfico.

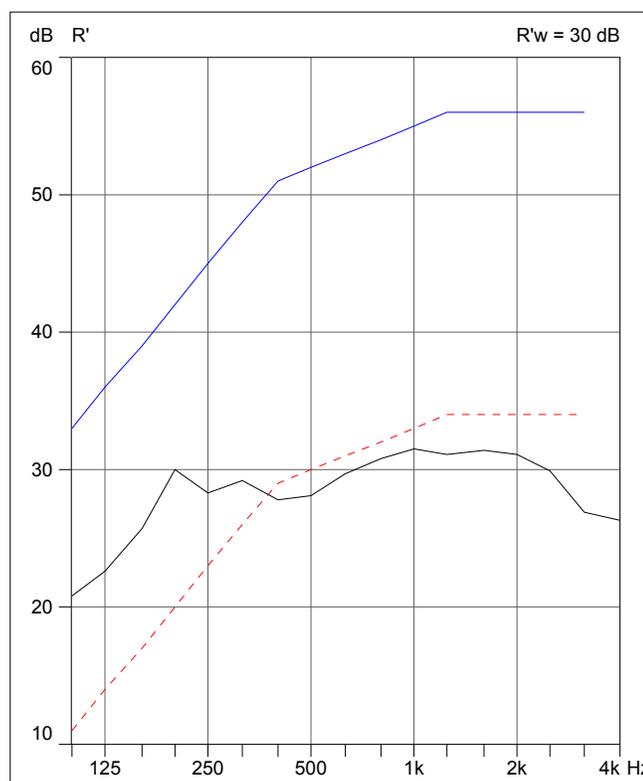


GRÁFICO 5 – AVALIAÇÃO GRÁFICA PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO

FONTE: Software Qualifier BK 7830

Os procedimentos para as medições em campo do isolamento sonoro entre as salas e o corredor são especificados pela ISO 140-4 (ISO, 1998), e para isolamento oferecido pelas fachadas de acordo com a ISO 140-5 (ISO, 1998). As normas sugerem que o procedimento obedeça aos seguintes critérios:

- a) devem ser utilizados difusores em medições entre salas vazias de iguais dimensões;
- b) a fonte sonora deve ser colocada de modo a gerar um campo sonoro o mais difuso possível;
- c) deve-se respeitar a distância mínima de 0,5 m entre o microfone e a parede, medindo vários pontos no interior da sala;
- e) devem-se utilizar dois canais de leitura para a realização da medição do isolamento da fachada ao ruído de tráfego, ou seja, o nível sonoro externo deve ser medido ao mesmo tempo em que o nível interno.

3.4 MATERIAIS (EQUIPAMENTOS)

Este trabalho exigiu muito esforço de logística e planejamento, devido ao ruído gerado durante o processo das medições acústicas e a dificuldade do transporte dos equipamentos, necessitando sempre da colaboração de vários colegas do laboratório.

O sistema de medição pode ser visualizado na figura 8. Os aparelhos e softwares necessários para a realização deste estudo foram:

- a) Medidor acústico Brüel & Kjaer modelo 2238 investigador;
- b) Analisador acústico Brüel & Kjaer modelo 2260 investigador;
- c) Conjunto de microfones tipo *free field* 1/2" Brüel & Kjaer modelo 4190;
- d) Conjunto de cabos e pré-amplificadores Brüel & Kjaer;
- e) Cabo plano AR 0014 Brüel & Kjaer;
- f) Amplificador de potência Brüel & Kjaer modelo 2716;
- g) Fonte sonora dodecaédrica omnidirecional Brüel & Kjaer modelo 4296;
- h) Software Noise Explorer Type 7815 Brüel & Kjaer;
- i) Software Evaluator Type 7820 Brüel & Kjaer;
- j) Software Qualifier 7830 Brüel & Kjaer;



FIGURA 8 - SISTEMA DE MEDIÇÃO UTILIZADO

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SALAS DE AULA DO CENTRO POLITÉCNICO

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE PESQUISADO

O prédio denominado de Blocos Didáticos foi construído em 1963 para compreender o Setor de Tecnologia do Campus III da Universidade Federal do Paraná, a vista da fachada externa dos Blocos Didáticos pode ser verificada na figura 9.



FIGURA 9 – VISTAS DA FACHADA EXTERNA DOS BLOCOS DIDÁTICOS

Esta construção compreende seis blocos interligados, de igual padrão construtivo e de mesma disposição arquitetônica. Cada bloco tem uma circulação principal que dá acesso às salas de aula. As salas estão distribuídas somente de um dos lados do corredor (figura 10).



FIGURA 10 – VISTAS DA CIRCULAÇÃO INTERNA PRINCIPAL DE ACESSO AS SALAS DOS BLOCOS DIDÁTICOS

Estes blocos foram construídos em estrutura de concreto armado (pilares, vigas e lajes); paredes de alvenaria dupla com reboco e pintura; esquadrias de ferro e fechamento em vidro comum de 4 mm; porta em painel de madeira estruturado; teto com forro de fibra lenhosa com espessura de 20 mm, perfurado, afastado da laje 300 mm; e piso em parquet de madeira no interior das salas de aula e de granitina nas circulações.

As oito salas de aula do Bloco IV analisadas são apresentadas na figura 11, e seus volumes variam de 294,74 m³ a 564,93 m³.

FIGURA 11 – PLANTAS DE LOCALIZAÇÃO DAS SALAS DE AULA AVALIADAS NO BLOCO IV

SALA A: Esta sala possui um volume de 367,18 m³ e está localizada próxima à entrada de veículos do campus e aos bolsões de estacionamento dos alunos. Suas carteiras e cadeiras são de madeira. Possui dois pés-direitos, um de 3,41m em 79% da sala e outro de 2,49 m em 21% da sala (figura 12).



FIGURA 12 – VISTA DO INTERIOR DA SALA A DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

SALA B: Projetada como anfiteatro, o acesso às suas cadeiras e carteiras, confeccionadas de madeira, é pelos dos degraus de madeira que dão a forma de anfiteatro ao ambiente. Suas carteiras são coletivas, tendo a capacidade de comportar até 3 alunos em cada uma delas. O seu volume é de 294,74 m³. Nesta sala existe uma cortina de brim para amenizar a claridade durante as aulas (figura 13).

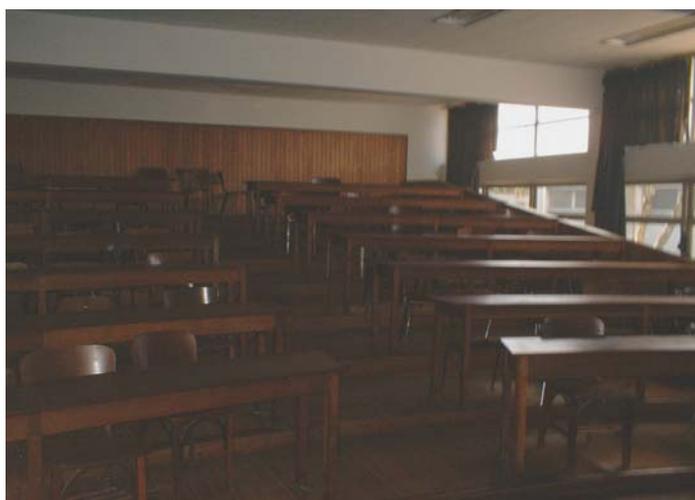


FIGURA 13 – VISTA DO INTERIOR DA SALA B DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

SALA C: Projetada como anfiteatro, possui um volume de 294,74 m³. Assim como a sala B possui degraus de madeira que dão acesso as suas cadeiras e carteiras coletivas, também de madeira. Há no interior da sala uma cortina de brim para atenuar a claridade. A vista do interior desta sala pode ser verificada na figura 14.



FIGURA 14 – VISTA DO INTERIOR DA SALA C DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

SALA D: Projetada como anfiteatro, seu volume é de 294,74 m³. As carteiras coletivas acomodam até três estudantes. Suas cadeiras, carteiras e degraus de acesso são de madeira. Possui uma cortina de brim para amenizar a claridade no interior da sala de aula. A vista do interior desta sala pode ser verificada na figura 15.



FIGURA 15 – VISTA DO INTERIOR DA SALA D DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

SALA E: Possui um volume de 367,18 m³ e está localizada próxima ao estacionamento dos professores. Nesta sala há dois pés-direitos, um de 3,41m em 79% da sala e outro de 2,49 m em 21% da sala. As carteiras e cadeiras são de madeira. A vista do interior desta sala pode ser verificada na figura 16.



FIGURA 16 – VISTA DO INTERIOR DA SALA E DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

SALA F: Localizada no segundo pavimento, em cima da sala A, também fica próxima a entrada de veículos ao campus e aos bolsões de estacionamento dos alunos. Seu volume é de 367,18 m³, sendo parte do seu teto inclinado. As cadeiras são de madeira e as carteiras são revestidas de fórmica (figura 17).



FIGURA 17 – VISTA DO INTERIOR DA SALA F DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

SALA G: Esta sala localiza-se no segundo pavimento do bloco. Possui um volume de 564,93 m³ e funciona como atelier. Tem mesas grandes de madeira, tipo pranchetas, para comportar aulas de desenho (figura 18).



FIGURA 18 – VISTA DO INTERIOR DA SALA G DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

SALA H: Tem volume de 330,53 m³ e está localizada no segundo pavimento do bloco, em cima da sala C. Possui teto inclinado, com carteiras e cadeiras de madeira (figura 19).



FIGURA 19 – VISTA DO INTERIOR DA SALA H DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

4.1.2 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EXTERNOS

Foram realizadas seis medições de níveis de pressão sonora externos para verificar o nível de ruído encontrado do lado de fora das salas de aula. A figura 20 apresenta os pontos de medição dos níveis de pressão sonora encontrados no entorno dos Blocos Didáticos.

Conforme descrito na metodologia o parâmetro utilizado para comparação dos níveis de pressão sonora foi o valor de 60 dB(A) fixado pela Lei Municipal No. 10.625/02, que rege as emissões sonoras na cidade de Curitiba, no período diurno para a Zona Especial Educacional.

Através destas medições verificou-se que os todos os seis pontos analisados atendem o valor limite estipulado pela legislação municipal de Curitiba. Este resultado demonstra que a inserção do Bloco Didático na implantação do terreno (ver figura 7 na página 38) é adequada, o menor recuo da fachada do bloco em relação às vias externas é de 24 metros, isto impede que os ruídos externos procedentes das mais diversas fontes adentre a construção.

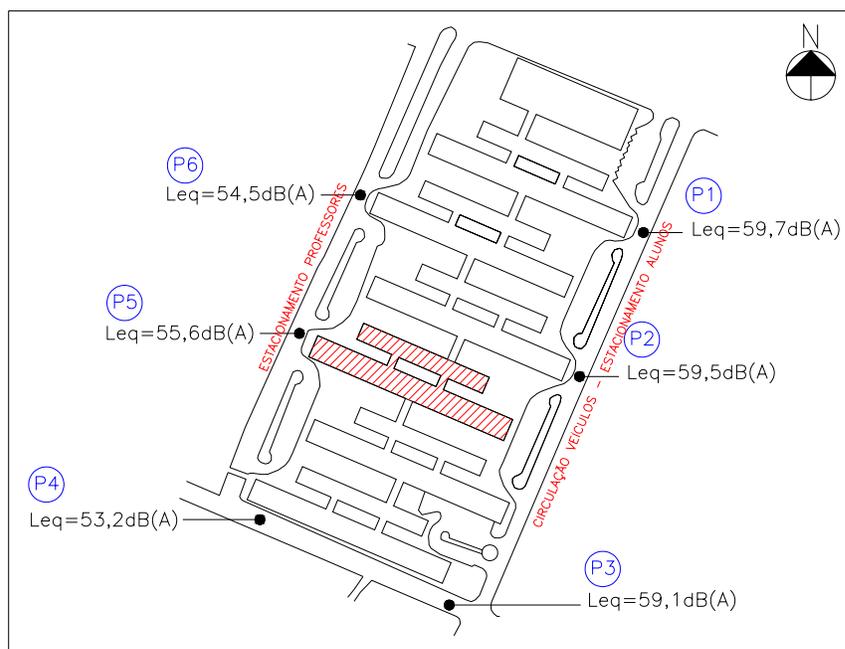


FIGURA 20 – PONTOS DE MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NO ENTORNO DOS BLOCOS DIDÁTICOS

4.1.3 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA INTERNOS

Conforme explicado na metodologia, a ABNT, fixa níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos e com a NBR-10.152/87 estabelece os níveis de conforto acústico nestes ambientes. Para salas de aula o nível de pressão sonora equivalente recomendado é de 40 - 50 dB(A) e a curva de avaliação de ruído recomendada (curva NC) é de 35 - 45 dB(A), sendo os valores inferiores de conforto e os superiores aceitável para a função do ambiente.

A tabela 6 mostra os valores de níveis de pressão sonora equivalentes (L_{eq}) e os valores da curva NC para as salas de aula do Bloco Didático no Centro politécnico. No apêndice 1 encontram-se os resultados das medições dos níveis de pressão sonora em cada ponto das salas do Centro Politécnico, com as janelas abertas e com as janelas fechadas.

TABELA 6 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA (L_{eq}) E VALORES DA CURVA NC ENCONTRADAS NAS SALAS DE AULA DO BLOCO DIDÁTICO NO CENTRO POLITÉCNICO

SALA	JANELAS ABERTAS			JANELAS FECHADAS		
	L_{eq} [dB(A)]	NC	AVALIAÇÃO	L_{eq} [dB(A)]	NC	AVALIAÇÃO
A	44,0	35	CONFORTO	39,2	30	CONFORTO
B	37,8	30	CONFORTO	35,5	30	CONFORTO
C	36,2	30	CONFORTO	32,9	25	CONFORTO
D	43,8	40	ACEITÁVEL	35,9	30	CONFORTO
E	46,7	40	ACEITÁVEL	39,9	35	CONFORTO
F	47,9	40	ACEITÁVEL	43,6	40	ACEITÁVEL
G	48,1	40	ACEITÁVEL	41,9	35	CONFORTO
H	44,0	40	ACEITÁVEL	39,5	35	CONFORTO

Analisando-se a tabela 6, verifica-se que com as janelas abertas, das oito salas medidas, três possuem um valor de curva NC para conforto, as outras cinco, embora não estejam classificadas como confortáveis acusticamente, encontram-se dentro dos níveis aceitáveis recomendados pela NBR-10152/87.

Com as janelas fechadas, sete salas possuem um valor de curva NC para conforto e uma encontra-se dentro dos níveis aceitáveis recomendados pela NBR-10152/87.

Todas as salas avaliadas estavam mobiliadas e sem ocupantes. As avaliações dos níveis de pressão sonora foram realizadas em época de aulas, por isso, além dos ruídos externos, também foram captados os ruídos internos da edificação, como os ruídos provenientes dos corredores e das salas adjacentes.

De acordo com as recomendações da NBR-10152/87 as salas de aula do Centro Politécnico possuem condições satisfatórias, isto é, os níveis de ruído ambiente das salas avaliadas não prejudicam o ambiente acústico das mesmas, evitando assim prejuízos vocais aos professores e assegurando a qualidade do processo de ensino-aprendizagem.

A correta implantação do prédio do Bloco Didático no terreno do Centro Politécnico (figura 7, página 38) faz com que os níveis de pressão sonora internos das salas de aula fiquem dentro dos limites aceitáveis para a atividade desenvolvida.

Eniz e Garavelli (2005) afirmam que níveis de ruído recomendados para a função de cada ambiente melhoram a razão sinal/ruído e permitem a redução do esforço vocal pelo professor.

4.1.4 MEDIÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO

Para as medições de tempo de reverberação, em uma primeira análise, as salas de aula encontravam-se mobiliadas e sem ocupantes, a fonte sonora foi

posicionada na área ocupada pelo professor. Posteriormente, as salas foram avaliadas em duas situações distintas:

- 1) Com 50% de ocupação e,
- 2) Com 100% de ocupação.

Os valores de tempo de reverberação encontrados nas salas de aula do Centro Politécnico, sem ocupantes, são apresentados no gráfico 6. No apêndice 2 são apresentados os gráficos dos TRs medidos em cada sala do Centro Politécnico.

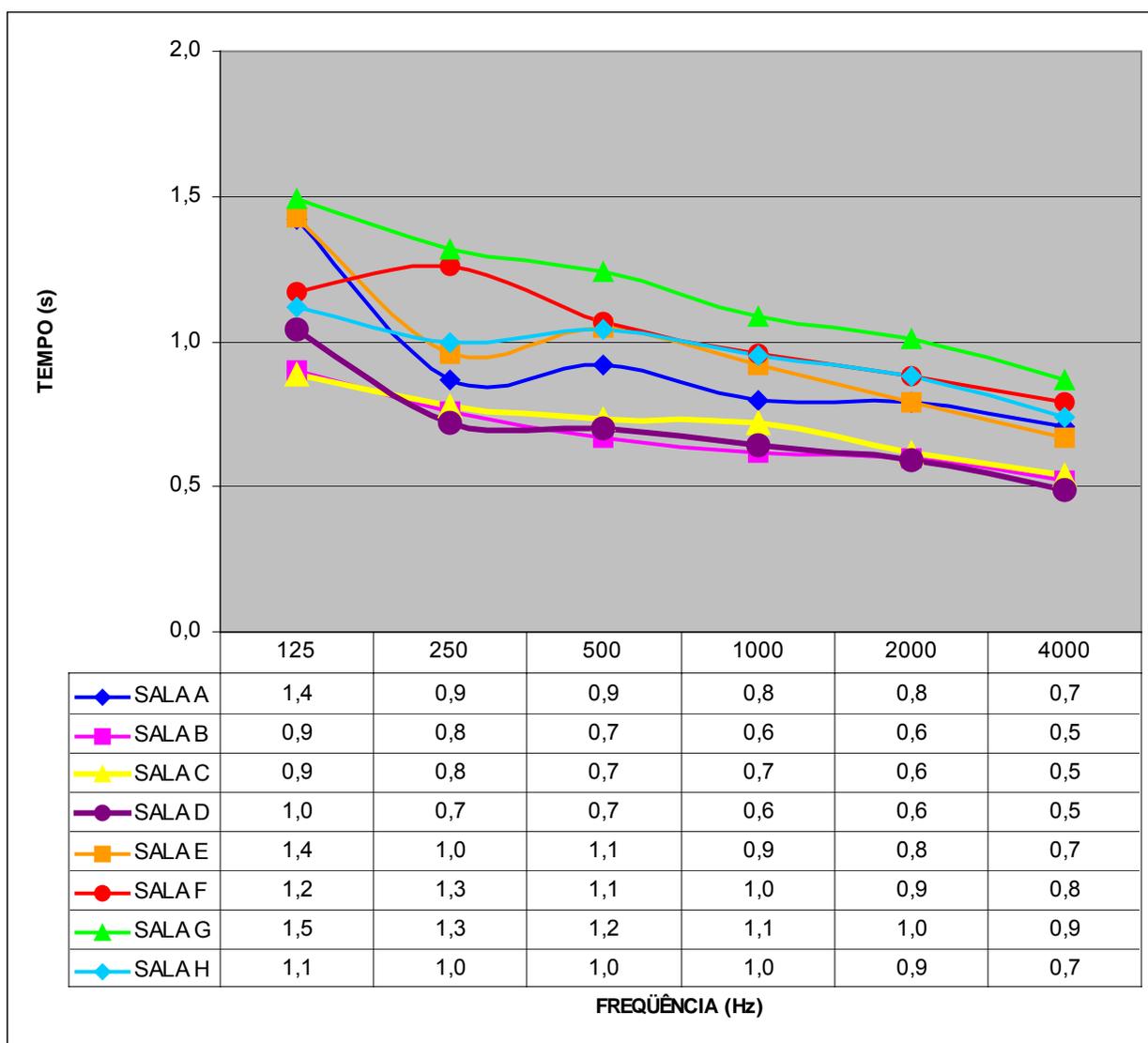


GRÁFICO 6 – VALORES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS NAS SALAS DE AULA DO CENTRO POLITÉCNICO, SEM OCUPANTES

Para a avaliação completa do tempo de reverberação a medição do TR deve ser feita em várias bandas de frequência. Bistafa & Bradley (2000) recomendam avaliações nas frequências entre 125 Hz e 4000 Hz. Entretanto, para situações onde a fala é atividade predominante, como é o caso de salas de aula, torna-se mister efetuar uma análise mais apurada nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz (NORMA AMERICANA ANSI S12.60, 2002 apud LOSSO, 2003).

De maneira geral, um TR médio é usado para expressar o tempo de reverberação. Esse valor é a média aritmética dos tempos de reverberação obtidos para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz (FRANÇOIS; VALLET, 2001). A tabela 7 mostra este número único de tempo de reverberação para as salas desocupadas.

TABELA 7 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO COMO MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO NAS FREQUÊNCIAS DE 500, 1000 E 2000 Hz NAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO

SALAS	VOLUME (m³)	ÁREA DE ABSORÇÃO MÉDIA (m²)	TR (s)
A	367,18	67,99	0,8
B	294,74	58,87	0,6
C	294,74	58,73	0,7
D	294,74	58,89	0,6
E	367,18	67,99	0,9
F	367,18	61,07	0,9
G	564,93	71,98	1,1
H	330,53	45,16	0,9

Comparando a média aritmética dos tempos de reverberação obtidos para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz (FRANÇOIS; VALLET, 2001), com as salas de aula vazias, estes variam de 0,6s a 1,1s. Com exceção da sala G, que possui um valor médio de tempo de reverberação de 1,1s, todas as demais possuem valores satisfatórios, próximos dos ideais, que segundo Bistafa e Bradley (2000) variam entre

0,6s e 0,8s. Segundo Hagen et al. (2002) a acústica ideal depende dos valores de tempo de reverberação encontrados no interior das salas de aula.

No Brasil, não existe um valor recomendado de TR pra salas de aula. A tabela 2 na página 24 apresenta os valores de TR recomendados para salas de aula em diversos países, considerando as salas mobiliadas e sem ocupantes.

No entanto, o uso dos valores de TR recomendados pela tabela 2 apresenta limitações, pois o valor do tempo de reverberação varia de acordo com o volume da sala e com as frequências em estudo. Porém, nem todas as normas possuem valores de TR relacionados ao volume do ambiente, e algumas também não apresentam recomendações por frequências.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) que recomenda um TR de 0,6s na frequência de 500 Hz, considerando as salas desocupadas, nenhuma atende a recomendação, porém as salas A, B, C e D possuem valores muito próximos aos sugeridos e podem ser consideradas satisfatórias. De acordo com Bradley (2002) tempos de reverberação inadequados prejudicam uma boa inteligibilidade entre alunos e professores, dificultando, assim, o falar e o ouvir.

Comparando os valores de TR encontrados nas salas de aula analisadas com os recomendados pela França (WHO, 2001), todas as salas acordam com os valores. Segundo Seep et al. (2002) tempos de reverberação adequados contribuem para um melhor nível de aprendizado melhorando a inteligibilidade.

Os valores de tempo de reverberação medidos nas salas B, C e D, que são projetadas como anfiteatros, variam de 0,6s a 0,7s, estando de acordo com os recomendados pela norma americana ANSI S12.60/02, que estipula o valor de 0,7s para o tempo de reverberação nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz para salas com volume $283 \text{ m}^3 < V < 566 \text{ m}^3$, conforme especificado na tabela 2.

Nas medições de tempo de reverberação com ocupantes, realizada na sala D, nota-se, conforme esperado, um decaimento nos valores de TR encontrados conforme

se aumenta o número de alunos, isto pode ser verificado no gráfico 7.

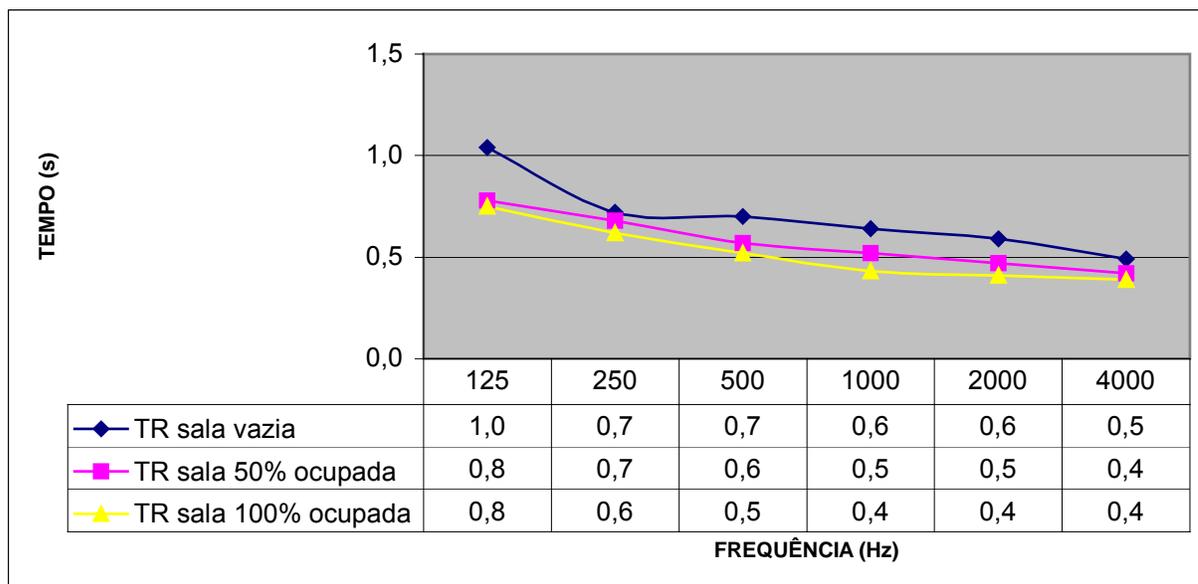


GRÁFICO 7 – VALORES DE TEMPOS DE REVERBERAÇÃO EM FUNÇÃO DA OCUPAÇÃO MEDIDOS NA SALA D DO CENTRO POLITÉCNICO

O valor médio de TR encontrado na sala D (0,5s com a sala 50% ocupada e 0,4s com a sala 100% ocupada) para as freqüências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz estão dentro dos valores ideais recomendados por Bistafa e Bradley (2000).

Analisando os valores de TR medidos na sala D e comparando os valores encontrados com a sala vazia, parcialmente ocupada e totalmente ocupada, constata-se que aumentando o número de alunos o tempo de reverberação diminui e fica dentro dos valores ideais recomendados. Segundo Hodgson (2002) e Astolfi et al. (2003) este resultado era esperado, uma vez que a pele e as roupas usadas pelos ocupantes da sala funcionam como absorvedores sonoros.

Porém, países como Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha, Itália, Portugal, dentre outros, que possuem legislação para valores de TR adequados em salas de aula (ZANNIN et al, 2005), recomendam que o projeto acústico de uma sala de aula deve considerar o valor do tempo de reverberação para a sala vazia, ou seja, representando a pior situação de uso.

Cabe ressaltar que as salas avaliadas foram construídas na década de 60 e por tratar-se de uma universidade pública, a conservação do prédio é deficiente, e às vezes, até mesmo inexistente. Apesar de antigas e mal conservadas, as salas estudadas necessitam de poucas intervenções acústicas para chegar aos valores ideais de tempos de reverberação recomendados para salas vazias.

4.1.5 MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Os resultados das medições de isolamento acústico das fachadas e entre as salas e o corredor são apresentados com números únicos, conforme recomendação da norma ISO 717-1 (1996).

Para a medição do isolamento acústico da fachada utilizou-se o ruído de tráfego, medido na fachada em estudo, em uma média de três tomadas, como fonte sonora externa cujo espectro deste ruído é apresentado no gráfico 8.

O valor do nível de pressão sonora equivalente do ruído externo medido na fachada do Bloco Didático no Centro Politécnico foi de 53,6 dB(A).

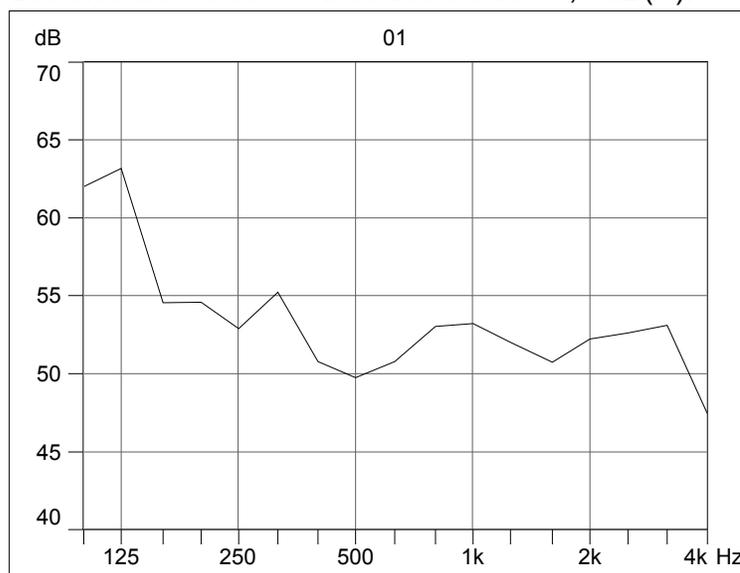


GRÁFICO 8 – ESPECTRO DE FREQUENCIA DO RUÍDO DE TRAFEGO MEDIDO NA PRIMEIRA TOMADA NA FACHADA EM ESTUDO DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

As fachadas dos Blocos Didáticos são construídas com paredes de alvenaria dupla, com reboco e pintura na parte interna, e revestimento de pastilhas na área externa. Possuem esquadrias de ferro e fechamento em vidro comum de 4 mm.

Na figura 21 podem-se visualizar os elementos que constituem as fachadas e o sistema de medição do isolamento acústico utilizado.



FIGURA 21 – VISTA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DA FACHADA

A figura 22 mostra um item importante do sistema de medição, o cabo plano AR 0014 do fabricante *Brüel & Kjaer*, este permite que o cabo que liga o microfone externo ao analisador acústico BK2260 passe através da janela sem que esta tenha que ficar entreaberta.



FIGURA 22 – VISTA DO CABO PLANO AR 0014 DO FABRICANTE *BRÜEL & KJAER*

No Brasil não existem normas que especifiquem os valores mínimos de isolamento acústico entre cômodos e de fachada. A construção das edificações brasileiras não leva em consideração o isolamento dos componentes e sistemas construtivos utilizados.

O índice de redução sonora aparente ($R'_{tr,s}$) medido na fachada foi comparado então, com os prescritos pela norma internacional alemã, DIN 4109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo medido na fachada.

TABELA 8 – ÍNDICE DE ISOLAMENTO ACÚSTICO EXIGIDO PELA NORMA ALEMÃ DIN 4109 EM RELAÇÃO AO RUÍDO EXTERNO MEDIDO NA FACHADA

País	Índice	Exigências de isolamento sonoro para paredes externas e cobertura
Alemanha DIN 4109 (1989)	$R'_{tr,s}$	Ruído externo < 55 dB(A) = 30 dB; 56 – 60 dB(A) = 30 dB; 61 – 65 dB(A) = 35 dB; 66 – 70 dB(A) = 40 dB; 71 – 75 dB(A) = 45 dB; 76 – 80 dB(A) = 50 dB; acima de 80 dB(A) = necessário um estudo especial.

Comparando o valor do índice de redução sonora aparente ($R'_{tr,s}$) medido na fachada, $R'_{tr,s,w} = 19$ dB (gráfico 9), com o índice de redução sonora aparente ($R'_{tr,s}$) mínimo de 30 dB que a norma DIN 4109 (DIN,1989) exige para o local, considerando que o ruído externo medido na fachada foi de 53,6 dB(A), este se encontra abaixo do valor recomendado.

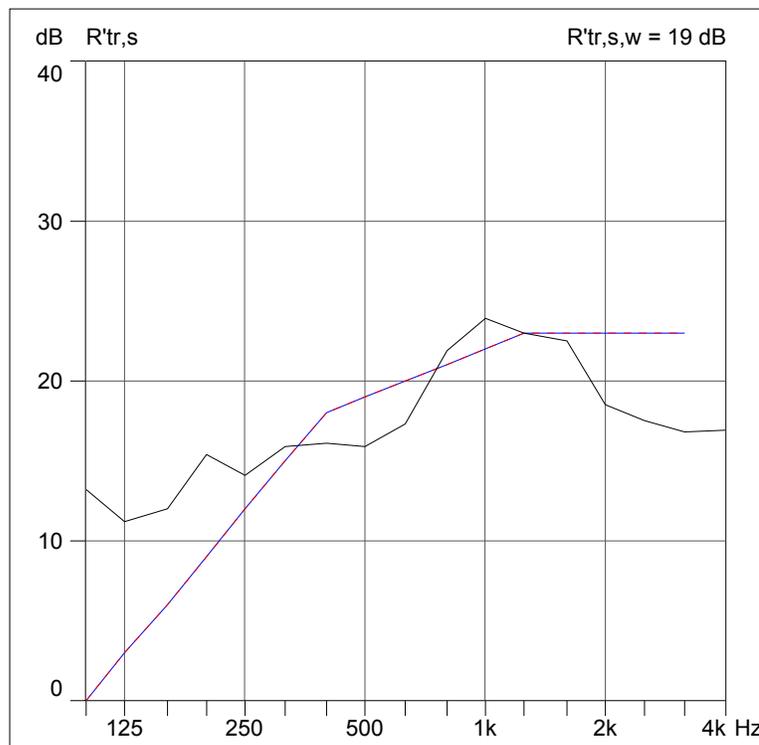


GRÁFICO 9 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE ($R'_{TR,S}$) MEDIDO NA FACHADA DO PRÉDIO DO CENTRO POLITÉCNICO

Observando-se o índice de redução sonora aparente (R'), $R'_w = 30$ dB (gráfico 10), constata-se que o valor medido nas partições internas, entre as salas de aula e o corredor, apresentou valores abaixo dos aceitáveis quando comparados com os exigidos pela norma alemã, DIN 4109 (DIN,1989), que prescreve para o isolamento entre salas e corredor um valor de R'_w , índice de redução sonora aparente recomendado de 52 dB.

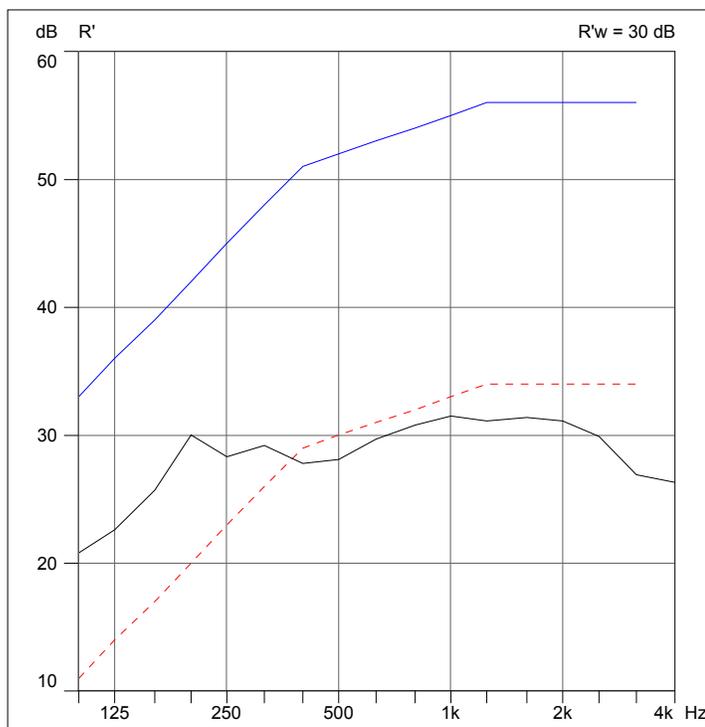


GRÁFICO 10 - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE (R'), MEDIDO NA PARTIÇÃO INTERNA DO BLOCO DIDÁTICO NO CENTRO POLITÉCNICO

Na figura 23 pode-se visualizar o sistema de medição do índice de redução sonora aparente (R') entre a sala e o corredor e os materiais construtivos das partições internas.



FIGURA 23 – VISTA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE (R') DAS PARTIÇÕES INTERNAS DO BLOCO DIDÁTICO NO CENTRO POLITÉCNICO

4.2 SALAS DE AULA DO JARDIM BOTÂNICO

4.2.1 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE PESQUISADO

No ano de 2000 foi construído o Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas, apresentado na figura 24, para compreender o setor da área de humanas do campus III da Universidade Federal do Paraná.



FIGURA 24 – VISTAS DA FACHADA EXTERNA DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS

A construção possui um pátio coberto central que dá acesso a todas as salas de aula, através de um corredor periférico. Deste pátio pode-se visualizar todas as salas de aula de todos os três pavimentos (figura 25).

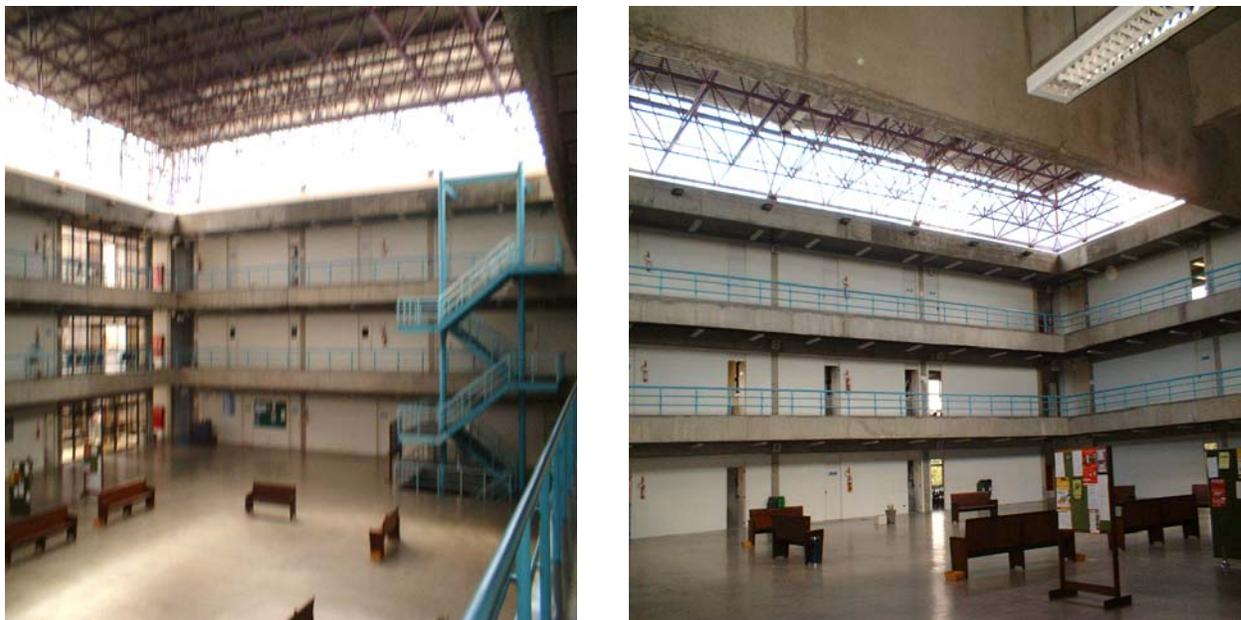


FIGURA 25 – VISTAS DO PÁTIO CENTRAL DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS

As salas de aula foram projetadas em módulos, em estrutura de concreto armado (pilares, vigas e lajes); paredes de alvenaria com reboco e pintura; esquadrias de PVC e fechamento em vidro comum de 4 mm; porta em painel de madeira estruturado e pintada; teto em laje nervurada sem forro com vigas aparentes e piso vinílico nas salas e nas circulações.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram analisadas sete salas de aula, apresentadas na figura 26, cujos volumes variam de 156,10 m³ a 277,80 m³.

FIGURA 26 – PLANTAS DAS SALAS DE AULA AVALIADAS NO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS

SALA A: Possui um volume de 277,49 m³ e está localizada no segundo pavimento. Tem carteiras revestidas de fórmica e cadeiras estofadas. O interior desta sala pode ser visualizado na figura 27.

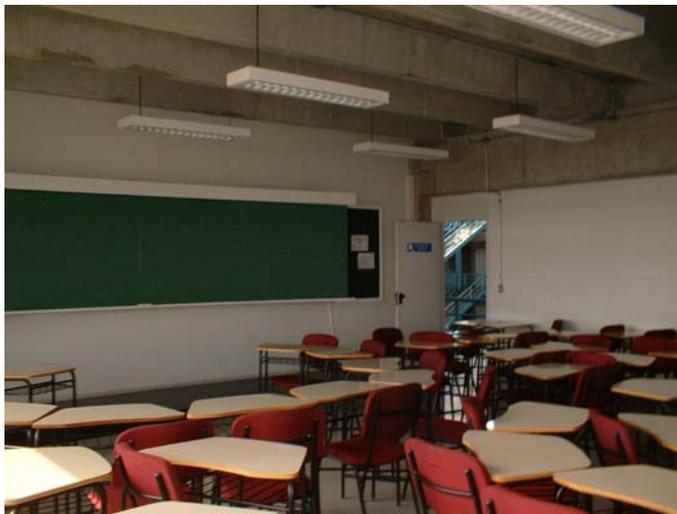


FIGURA 27 – VISTA DO INTERIOR DA SALA A DO JARDIM BOTÂNICO

SALA B: Localizada no segundo pavimento, com volume de 277,80 m³. Possui janelas em uma das laterais. Suas carteiras são revestidas de fórmica e as cadeiras estofadas. O interior desta sala pode ser visualizado na figura 28.



FIGURA 28 – VISTA DO INTERIOR DA SALA B DO JARDIM BOTÂNICO

SALA C: Seu volume é de 156,10 m³ e localiza-se no segundo pavimento do bloco. As cadeiras são revestidas de couro e as carteiras de fórmica. O interior desta sala pode ser visualizado na figura 29.



FIGURA 29 – VISTA DO INTERIOR DA SALA C DO JARDIM BOTÂNICO

SALA D: Localizada no pavimento térreo, possui um volume de 277,49 m³. Suas cadeiras e carteiras são revestidas de fórmica. O interior desta sala pode ser visualizado na figura 30.



FIGURA 30 – VISTA DO INTERIOR DA SALA D DO JARDIM BOTÂNICO

SALA E: Esta sala possui um volume de 277,80 m³ e está localizada no pavimento térreo. As cadeiras e carteiras são revestidas de fórmica (figura 31).



FIGURA 31 – VISTA DO INTERIOR DA SALA E DO JARDIM BOTÂNICO

SALA F: Localizada no pavimento térreo, tem um volume de 156,10 m³. Suas cadeiras e carteiras são revestidas de fórmica (figura 32).



FIGURA 32 – VISTA DO INTERIOR DA SALA F DO JARDIM BOTÂNICO

SALA G: Localizada no pavimento térreo, possui uma fachada de janelas ao fundo, a qual está voltada para a rodovia BR-277. O seu volume é de 156,14 m³. As carteiras são revestidas de fórmica e as cadeiras estofadas (figura 33).



FIGURA 33 – VISTA DO INTERIOR DA SALA G DO JARDIM BOTÂNICO

4.2.2 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EXTERNOS

A figura 34 mostra os pontos de medição dos níveis de pressão sonora encontrados no entorno do prédio do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas.

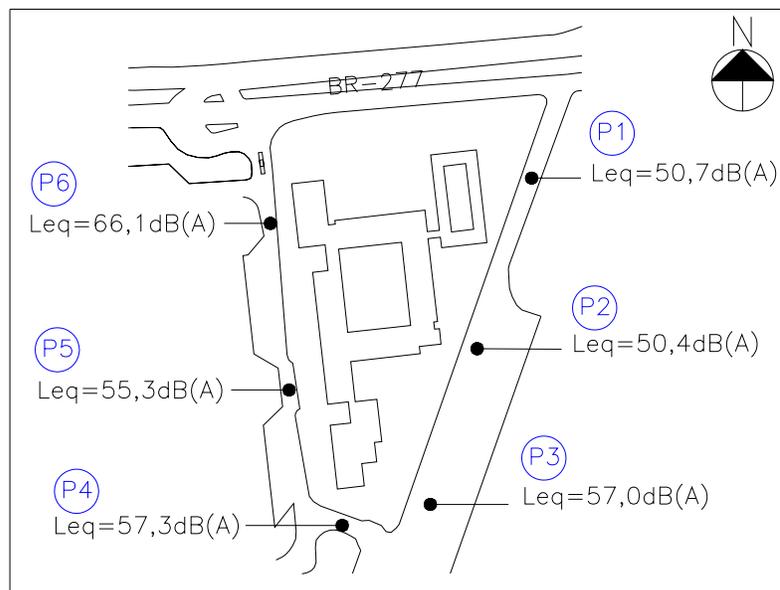


FIGURA 34 – PONTOS DE MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NO ENTORNO DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS

Através desta análise podemos verificar que, somente o ponto P6, devido a proximidade a rodovia BR-277, apenas 5 metros de recuo da fachada em relação à rodovia, está fora do valor de 60 dB(A) fixado pela Lei Municipal No. 10.625/02, que rege as emissões sonoras na cidade de Curitiba, no período diurno para a Zona Especial Educacional.

Todos os outros cinco pontos apresentam níveis de pressão sonora dentro do limite estipulado pela legislação municipal vigente.

Pode-se verificar na figura 7 (página 38) que apesar do Campus III da Universidade Federal do Paraná possuir vias de circulação intensa no seu entorno, como as rodovias BR-476 e BR-277, a inserção do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas na implantação do terreno é adequada, com exceção da fachada que se encontra a apenas 5 metros da rodovia BR-277, as demais possuem recuos maiores, aproximadamente 20 metros, e impedem que os ruídos adentrem as salas de aula.

4.2.3 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA INTERNOS

A tabela 9 mostra os valores de níveis de pressão sonora equivalentes (L_{eq}) e os valores da curva NC para as salas de aula avaliadas.

TABELA 9 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA (L_{eq}) E VALORES DA CURVA NC ENCONTRADAS NAS SALAS DE AULA DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS NO JARDIM BOTÂNICO

SALA	JANELAS ABERTAS			JANELAS FECHADAS		
	Leq [dB(A)]	NC	AVALIAÇÃO	Leq [dB(A)]	NC	AVALIAÇÃO
A	51,9	45	ACEITÁVEL	47,6	40	ACEITÁVEL
B	44,6	35	CONFORTO	39,2	30	CONFORTO
C	48,4	40	ACEITÁVEL	44,9	35	CONFORTO
D	51,5	40	ACEITÁVEL	48,4	40	ACEITÁVEL
E	47,4	40	ACEITÁVEL	47,3	40	ACEITÁVEL
F	47,7	40	ACEITÁVEL	42,8	35	CONFORTO
G	57,1	50	DESCONFORTO	49,6	40	ACEITÁVEL

No apêndice 3 podem ser verificadas as medições dos níveis de pressão sonora em cada ponto das salas do Jardim Botânico, com as janelas abertas e fechadas.

Verificou-se que com as janelas abertas, das sete salas analisadas, uma possui valor de curva NC para conforto, cinco encontram-se dentro dos níveis aceitáveis recomendados pela NBR-10152/87, e uma tem o valor da curva NC acima do recomendado.

Com as janelas fechadas, das sete salas medidas, três possuem um valor de curva NC para conforto, as outras quatro, embora não estejam classificadas como áreas de conforto acústico, encontram-se dentro dos níveis aceitáveis recomendados pela NBR-10152/87.

A sala G encontra-se em desacordo com a NBR-10152/87 quando a mesma é

avaliada com as janelas abertas, isto é decorrente do fato desta sala estar com a face das janelas voltadas para a rodovia BR-277, que passa na frente do bloco analisado. O valor do nível de pressão sonora medido nesta sala comprova que o ambiente é considerado inadequado para a atividade a qual se destina.

Recomenda-se que esta sala adquira uma nova função, como uma sala de computadores, por exemplo, onde o valor de 57,1 dB(A) encontrado no seu interior esteja de acordo com o uso segundo recomendação da NBR-10152/87.

Analisando as medições de níveis de pressão sonora com as janelas abertas e com as janelas fechadas verifica-se que o ruído ambiente quando as janelas estão abertas é maior, conforme esperado. Com as janelas das salas abertas todo o ruído contido no meio ambiente exterior a sala de aula adentra sem qualquer obstáculo.

De acordo com as recomendações da NBR-10152/87 as salas de aula avaliadas neste bloco, com exceção da sala G, possuem condições satisfatórias, isto é, o nível de ruído de fundo das salas avaliadas não prejudica o ambiente acústico das salas.

4.2.4 MEDIÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO

Assim como no procedimento realizado nas salas de aula do Centro Politécnico, as medições de tempo de reverberação foram realizadas com as salas vazias, 50% ocupadas e 100% ocupadas.

Os valores de tempo de reverberação encontrados nas salas de aula do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas, avaliadas sem ocupantes, são apresentados no gráfico 11. No apêndice 4 são mostrados os gráficos dos tempos de reverberação medidos em cada sala do prédio do Jardim Botânico.

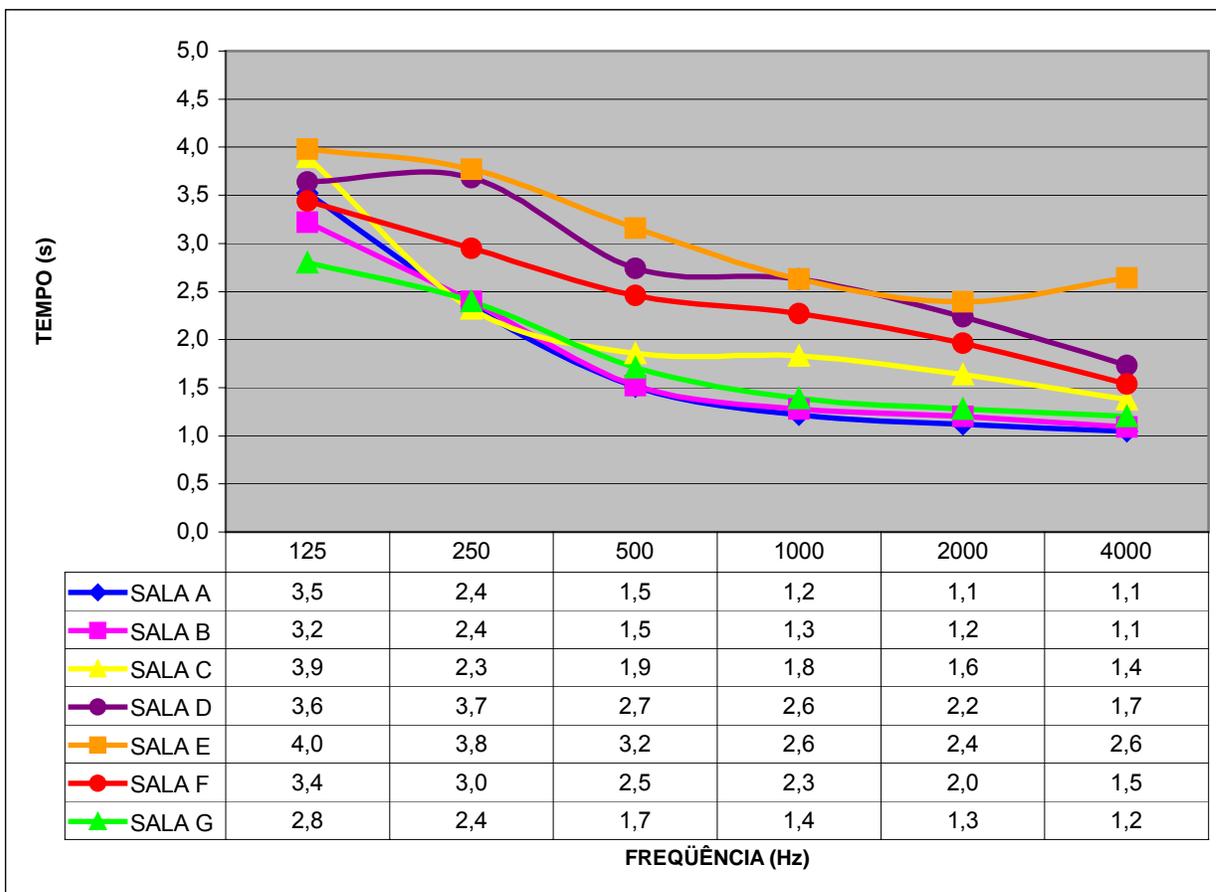


GRÁFICO 11 – VALORES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS NAS SALAS DO JARDIM BOTÂNICO, SEM OCUPANTES

Nenhum dos tempos de reverberação encontrados nas salas de aula do Jardim Botânico, sem ocupantes, possui valores próximos dos recomendados pelos países citados na tabela 2 (página 24).

O menor valor de tempo de reverberação encontrado, para as salas desocupadas, na frequência de 500 Hz é de 1,5s, ou seja, mais que o dobro do recomendado pela Organização Mundial da Saúde.

A tabela 10 apresenta os tempos de reverberação como média aritmética dos TRs nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz nas salas de aula do Jardim Botânico, para as salas desocupadas.

TABELA 10 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO COMO MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO NAS FREQUÊNCIAS DE 500, 1000 E 2000 Hz NAS SALAS DO JARDIM BOTÂNICO

SALAS	VOLUME (m³)	ÁREA DE ABSORÇÃO MÉDIA (m²)	TR (s)
A	277,49	24,50	1,3
B	277,80	23,87	1,3
C	156,10	14,76	1,8
D	277,49	15,74	2,5
E	277,80	14,52	2,7
F	156,10	9,40	2,2
G	156,14	16,94	1,5

Comparando a média aritmética dos tempos de reverberação obtidos para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, que variam de 1,3s a 2,7s, estes se encontram muito distantes dos recomendados, até 1,9s acima dos valores ideais.

Para verificar a influência da presença dos alunos sobre os valores de tempo de reverberação nas salas de aula, foram realizadas medições de tempo de reverberação na sala D sem ocupação, parcialmente ocupada e totalmente ocupada. Nesta medição, que pode ser verificada no gráfico 12, nota-se um decaimento, conforme esperado, nos valores de TR encontrados quando se aumenta o número de alunos.

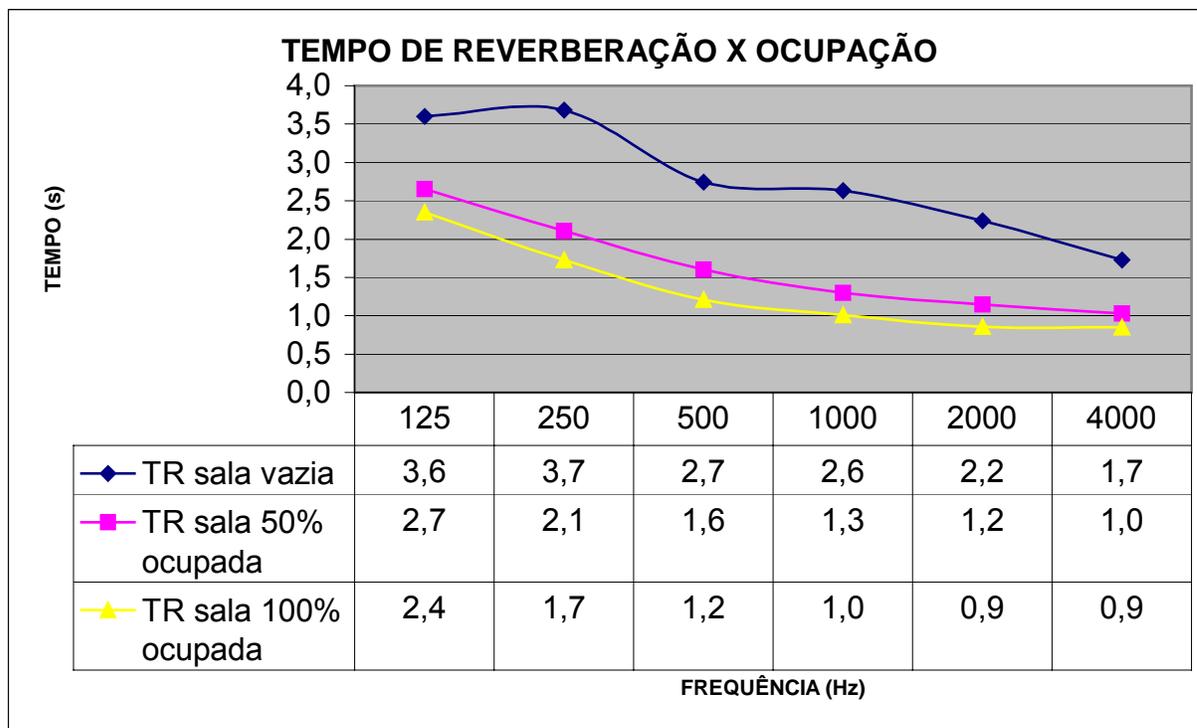


GRÁFICO 12 – VALORES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO EM FUNÇÃO DA OCUPAÇÃO MEDIDOS NA SALA D DO JARDIM BOTÂNICO

Analisando os valores de tempo de reverberação encontrados nas salas de aula do Jardim Botânico com os recomendados pelos países citados na tabela 2, constata-se que nem mesmo com a sala D totalmente ocupada os valores de tempo de reverberação encontrados se aproximam dos recomendados.

O menor valor de tempo de reverberação medido na sala D com 100% da ocupação, 1,2s na frequência de 500 Hz, está 0,6s acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde, ou seja, o dobro do valor.

Comparando as salas de aula dos dois blocos no gráfico 13 verifica-se que quando considerada a ocupação nestas salas o decaimento dos tempos de reverberação das salas do Jardim Botânico é 22% maior do que nas salas do Centro Politécnico.

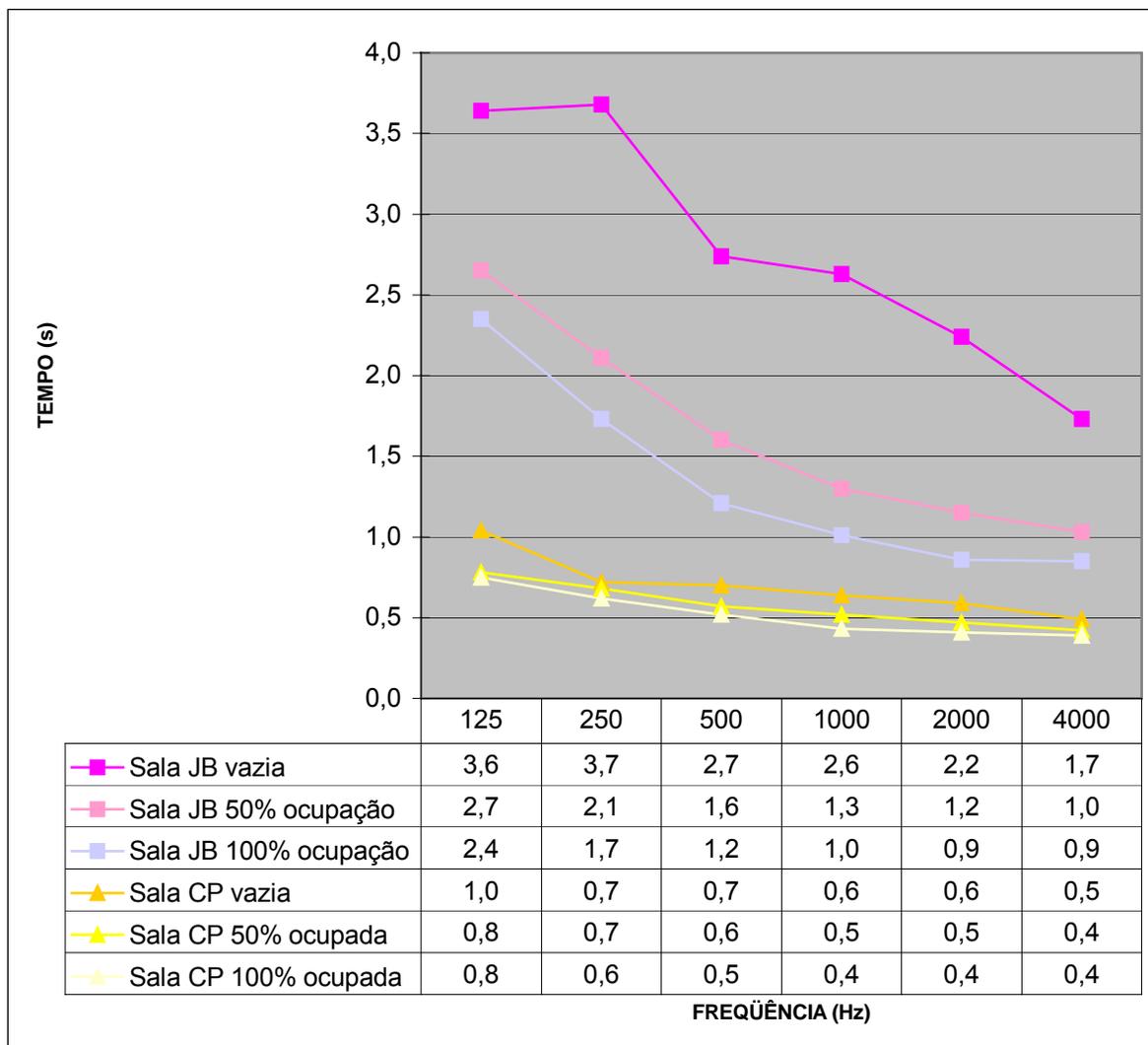


GRÁFICO 13 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO, EM FUNÇÃO DA OCUPAÇÃO, MEDIDOS NAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO E DO JARDIM BOTÂNICO

Nota-se no gráfico 13 que aumentando o número de alunos os tempos de reverberação das salas do Centro Politécnico caem em média 0,1s. Já nas salas do Jardim Botânico esta queda é de aproximadamente 1,0s.

Isto ocorre porque, como pode ser verificado na tabela 11, as áreas de absorção das salas do Centro Politécnico são bem maiores do que das salas do Jardim Botânico, conseqüentemente, os valores de tempos de reverberação das salas do Centro Politécnico são bem menores.

TABELA 11 – COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MÉDIOS E ÁREAS DE ABSORÇÃO MÉDIAS DAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO E DO JARDIM BOTÂNICO

SALAS	ÁREA ABSORÇÃO MÉDIA (m ²)		TR (s)	
	JB	CP	JB	CP
A	24,50	67,99	1,3	0,8
B	23,87	58,87	1,3	0,6
C	14,76	58,73	1,8	0,7
D	15,74	58,89	2,5	0,6
E	14,52	67,99	2,7	0,9
F	9,40	61,07	2,2	0,9
G	16,94	71,98	1,5	1,1
H	-	45,16	-	0,9

Comparando os resultados podemos concluir que, a ocupação parcial ou total, para salas com baixa absorção sonora é mais significativa do que para salas com boa absorção. Ou seja, as salas sempre devem ser projetadas desocupadas considerando a pior situação de uso, para que a presença ou ausência de alunos nas salas não influencie a qualidade acústica das mesmas.

Analisando os valores de tempos de reverberação médios na tabela 12 para a sala de aula D dos dois blocos; sem ocupantes, parcialmente ocupadas e totalmente ocupadas, com os recomendados citados na tabela 2, todos os TRs da sala do Centro Politécnico, construída na década de 60, acordam com os valores recomendados.

Já, na sala do Jardim Botânico, que foi construída no ano de 2000, mesmo com 100% ocupação, os valores de tempo de reverberação não se aproximam dos recomendados.

TABELA 12 – COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO COMO MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO NAS FREQUÊNCIAS DE 500, 1000 E 2000 Hz DAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO E DO JARDIM BOTÂNICO

SALA D	SALAS JARDIM BOTÂNICO		SALAS CENTRO POLITÉCNICO	
	ÁREA ABSORÇÃO MÉDIA (m ²)	TR (s)	ÁREA ABSORÇÃO MÉDIA (m ²)	TR (s)
VAZIA	15,74	2,5	58,89	0,6
50% OCUPADA	22,40	1,4	64,49	0,5
100% OCUPADA	34,30	1,0	69,75	0,4

Isto demonstra que mesmo com o avanço dos estudos na área de acústica do ambiente construído, os projetistas, muitas vezes, não a consideram no desenvolvimento dos projetos. Tempos de reverberação inadequados podem ser considerados como um caso crítico, pois o falar e o ouvir ficam excessivamente difíceis, causando prejuízos na qualidade acústica das salas.

4.2.5 MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Para as medições de isolamento acústico de fachada e entre as salas e o corredor no prédio do Jardim Botânico foi realizado o mesmo procedimento do prédio do Centro Politécnico.

O gráfico 14 apresenta o espectro do ruído de tráfego, como fonte sonora externa, medido na fachada em estudo. O valor do nível de pressão sonora equivalente do ruído externo medido na fachada do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas no Jardim Botânico foi de 56,5 dB(A).

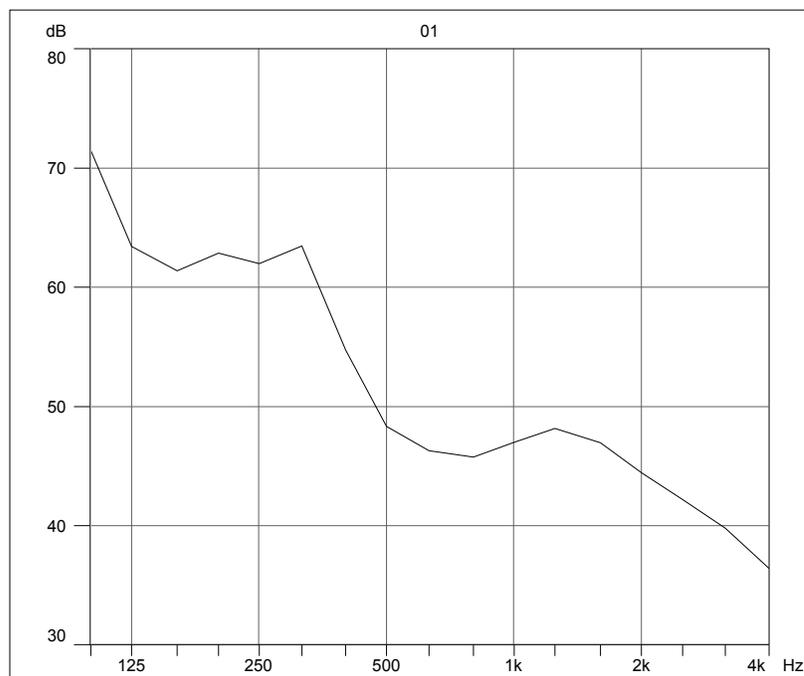


GRÁFICO 14 – ESPECTRO DE FREQUENCIA DO RUÍDO DE TRAFEGO MEDIDO NA PRIMEIRA TOMADA NA FACHADA EM ESTUDO DO PRÉDIO DO JARDIM BOTÂNICO

As fachadas do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas são de alvenaria com reboco e pintura na parte interna e com revestimento de pastilhas na área externa. Possuem esquadrias de PVC e fechamento em vidro comum de 4 mm (figura 35).



FIGURA 35 – VISTA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS

O índice de redução sonora aparente ($R'_{tr,S}$), medido na fachada foi comparado com o prescrito pela norma internacional alemã, DIN 4109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na tabela 8 (página 63).

Comparando o valor do índice de redução sonora aparente ($R'_{tr,S}$), medido na fachada, $R'_{tr,S,w} = 15$ dB (gráfico 15), com o índice de redução sonora aparente ($R'_{tr,S}$) mínimo de 30 dB que a norma alemã DIN 4109 (DIN,1989) exige para o local, considerando que o ruído externo medido na fachada foi de 56,5 dB(A), este está abaixo do valor recomendado.

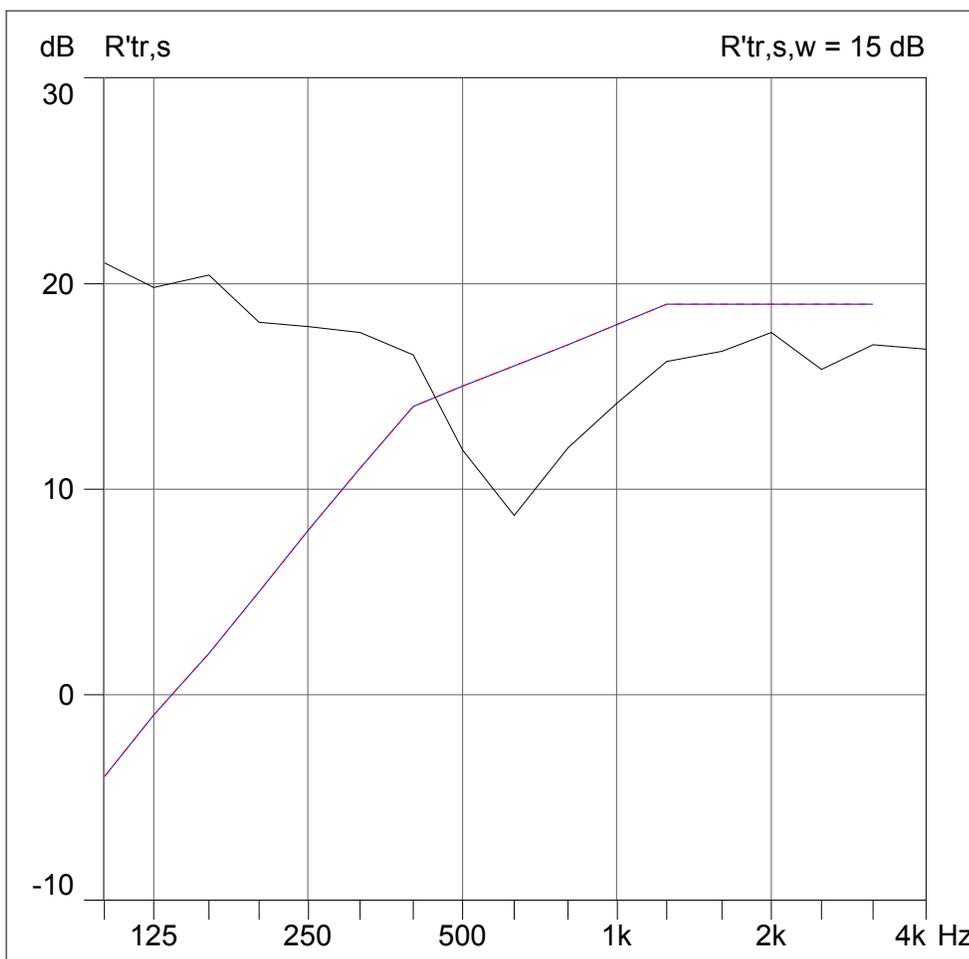


GRÁFICO 15 - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE ($R'_{TR,S}$) MEDIDO NA FACHADA DO PRÉDIO DO JARDIM BOTÂNICO

Observando-se o índice de redução sonora aparente (R'), $R'_w = 32$ dB (gráfico 16), constata-se que o valor medido nas partições internas, entre as salas de aula e o corredor, apresentou valor abaixo dos aceitáveis quando comparados com os exigidos pela norma alemã, DIN 4109 (DIN,1989) que prescreve para o isolamento entre salas e corredor um valor de R'_w , índice de redução sonora aparente, recomendado de 52 dB.

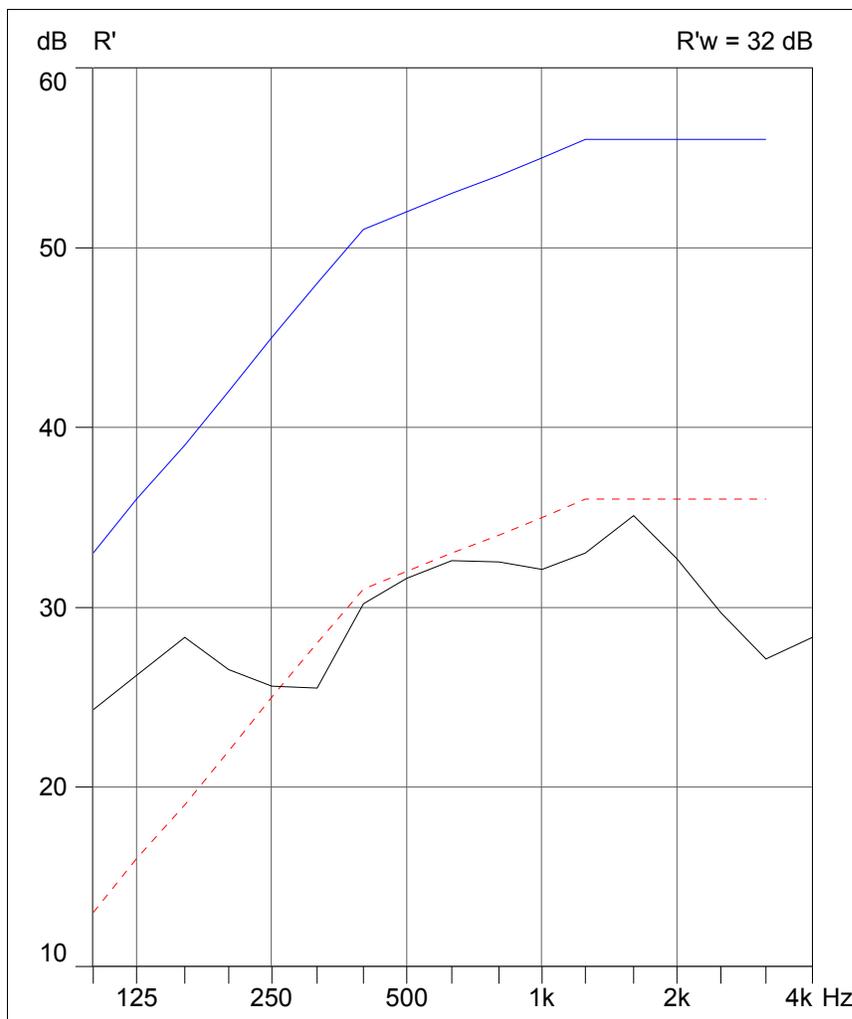


GRÁFICO 16 - ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE (R') MEDIDO NA PARTIÇÃO INTERNA DO BLOCO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS NO JARDIM BOTÂNICO

Quando arquitetos e engenheiros não consideram a qualidade acústica dos elementos construtivos no projeto, o isolamento acústico pode se tornar deficiente.

5 SIMULAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a análise dos resultados algumas simulações foram realizadas, em uma sala de aula do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas, para tentar melhorar o tempo de reverberação encontrado.

Uma planilha de cálculo foi elaborada no excel para o levantamento das dimensões dos ambientes e dos elementos componentes de seu meio físico. O reconhecimento dos materiais construtivos foi essencial para o trabalho de identificação dos coeficientes de absorção sonora junto à literatura corrente.

Os dados tabelados foram utilizados no cálculo do tempo de reverberação, conforme a Equação de Sabine, na formulação proposta por Hohmann, Setzer e Wehling (2004), onde, além dos elementos construtivos da sala de aula, também são consideradas as áreas de absorção sonora dos elementos relativos à funcionalidade do ambiente (mesas, cadeiras, pranchetas, pessoas, etc), bem como a atenuação sonora do ar. Como as medições foram realizadas com as salas de aula vazias, a absorção sonora equivalente devida a presença de pessoas no ambiente é $A_{PES} = A_{PES}(f) = 0$.

Segundo Zannin et al. (2005), para garantir a confiabilidade dos dados faz-se necessário identificar criteriosamente os coeficientes de absorção sonora dos elementos construtivos das salas de aula. Para tanto, vasta literatura foi consultada no intuito de se obter melhor aproximação possível dos elementos tabelados para com os elementos encontrados no ambiente real (Henn et al., 1999; Gerges, 2000; Lutz et al., 2002; Barron, 2003; Cruz Da Costa, 2003; Fasold & Veres, 2003; Fuchs, 2004, Hohmann et al., 2004; Möser, 2004). Estes valores podem ser verificados na tabela 13.

TABELA 13 - COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DOS MATERIAIS EXISTENTES NAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO E DO JARDIM BOTÂNICO

Coeficiente Absorção Sonora α		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
JB	Parede tijolos rebocada caiada	0,018	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
CP							
JB	Laje nervurada	0,01	0,01	0,015	0,015	0,02	0,02
CP	Forro em fibra lenhosa, espessura 20 mm, afastado da laje 300 mm	0,25	0,30	0,30	0,40	0,55	0,60
JB	Janela simples fechada	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
CP							
JB	Porta madeira pintada	0,20	0,15	0,10	0,10	0,09	0,11
CP							
JB	Piso vinílico	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,10
CP	Piso Parquet madeira	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,15
JB	Tablado emborrachado	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,10
CP	Tablado de madeira	0,09	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10
JB	Quadro negro de madeira, espessura 3 mm	0,28	0,20	0,10	0,10	0,08	0,08
CP							
JB	Cortina de PVC	0,06	0,06	0,17	0,17	0,03	0,03
CP	Cortina de Brim	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10
JB	Carteiras de fórmica	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
CP	Carteiras de madeira	0,02	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
JB	Cadeiras de fórmica	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
CP	Cadeira de madeira	0,02	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03

A norma EN 12354-6 recomenda adotar os valores para o coeficiente de absorção sonora do ar m , para a temperatura de $t = 20^{\circ}C$ e para a umidade relativa do ar de $\phi = 70\%$ (Hohamnn et al., 2004). Neste trabalho foram utilizados os valores para o coeficiente de absorção do ar contidos em Heckl & Müller (1995). Foi considerada uma área média de 1 m^2 para as cadeiras e pranchetas.

Em uma primeira simulação foi colocado o material do forro, existente na sala do Centro Politécnico, com um metro de largura no perímetro da sala do Jardim Botânico. E posteriormente, foi colocado o material do forro da sala do Centro Politécnico em toda a laje da sala do Jardim Botânico.

Em outra simulação foram trocados os materiais do forro e do piso existentes nas salas do Jardim Botânico pelos materiais existentes nas salas do Centro Politécnico, considerando as salas sem ocupação, com 50% de ocupação e com 100% de ocupação.

As especificações dos materiais de acabamento, principalmente do teto, que compõem as salas, devido aos seus coeficientes de absorção, contribuem para que os tempos de reverberação encontrados se aproximem ou se distanciem dos recomendados.

Segundo Frangos (2003) materiais absorvedores de som, principalmente no forro e no piso, devem ser utilizados no tratamento acústico de salas de aula.

Através destas simulações constata-se que, devido à falta de um projeto acústico na concepção das salas de aula do Jardim Botânico, elas necessitam de muitas intervenções acústicas para estarem de acordo com a função para a qual se destinam.

Pode-se verificar que mesmo colocando materiais com coeficientes de absorção maiores do que os existentes nas salas de aula do Jardim Botânico elas continuam com tempos de reverberação elevados.

Somente, quando além da substituição dos materiais do forro e do piso, se considera a ocupação no interior das salas do Jardim Botânico é que estas passam a ter tempos de reverberação adequados para a função (gráfico 17).

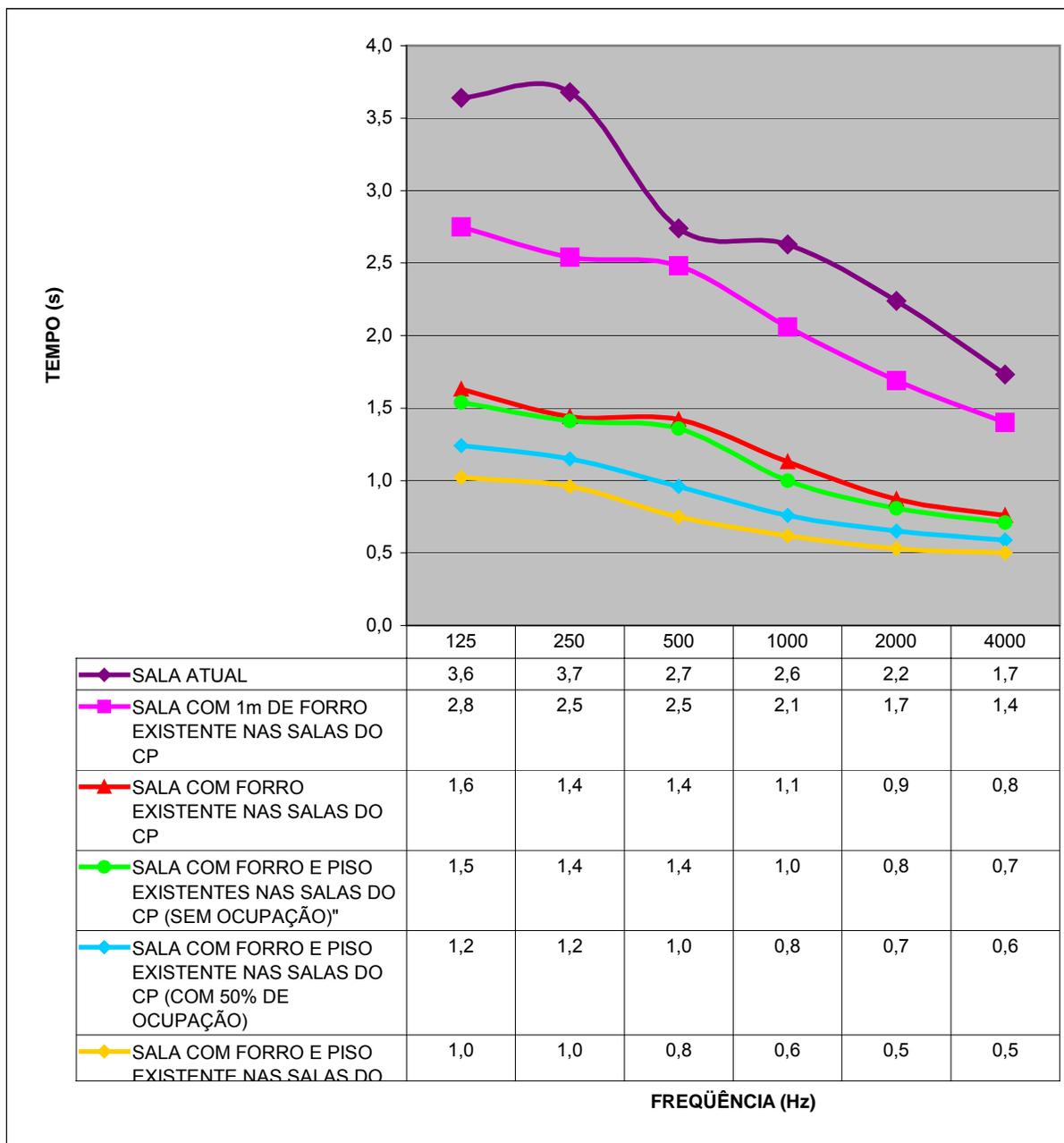


GRÁFICO 17 – SIMULAÇÕES REALIZADAS NA SALA D DO JARDIM BOTÂNICO SUBSTITUINDO OS MATERIAIS EXISTENTES PELOS MATERIAIS DAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO

6 CONCLUSÕES

As salas de aula da Universidade Federal do Paraná, de dois blocos distintos e construídos em épocas diferentes, foram avaliadas levando-se em consideração os parâmetros acústicos: nível de pressão sonora equivalente, tempo de reverberação e isolamento acústico. Estes parâmetros foram utilizados para verificar e comparar o nível de conforto acústico das salas, em cada um dos blocos, através de medições *in situ*.

Analisando os resultados, concluiu-se que as salas de aula do Centro Politécnico, construídas na década de 60, apresentaram condições acústicas mais satisfatórias e valores, principalmente no parâmetro tempo de reverberação, mais próximos dos recomendados pelas normas internacionais.

Os valores para o nível de pressão sonora equivalente, encontrados no entorno dos blocos do Jardim Botânico e do Centro Politécnico, estão de acordo com os 60 dB(A) fixados pela Lei Municipal No. 10.625/02, que rege as emissões sonoras na cidade de Curitiba, no período diurno para a Zona Especial Educacional. Isto demonstra que a inserção dos blocos pesquisados na implantação do terreno é adequada, impedindo que o ruído proveniente das rodovias que circundam o Campus III da Universidade Federal do Paraná adentre as salas de aula.

Com exceção da sala G no Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas, no Jardim Botânico, que está fora da zona de conforto acústico por fazer face com a rodovia BR-277, todas as outras quatorze salas de aula analisadas nos dois blocos possuem condições satisfatórias de acordo com as recomendações da NBR-10152/87, principalmente nos Blocos Didáticos, no Centro Politécnico, onde os valores encontrados estão mais próximos dos recomendados pela norma brasileira.

Os valores de tempo de reverberação encontrados nas salas de aula do

Jardim Botânico, construídas no ano de 2000, sem ocupantes, parcialmente ocupadas e totalmente ocupadas, não estão de acordo com os recomendados pelas normas internacionais em nenhuma das salas. Nem mesmo com a sala D totalmente ocupada o valor de tempo de reverberação encontrado, 1,21s na frequência de 500 Hz, se aproxima do recomendado pela OMS, estando 0,61s acima, ou seja, o dobro do valor.

Já os valores de tempo de reverberação medidos nas salas do Centro Politécnico, construídas na década de 60, estão próximos dos recomendados por países como a França, a Alemanha, os Estados Unidos e a Organização Mundial da Saúde, necessitando de poucas intervenções acústicas para chegar aos valores ideais de TRs para as salas vazias. Quando se analisa o valor de TR medido na sala D, parcialmente ocupada (0,52s) e totalmente ocupada (0,45s), o tempo de reverberação fica dentro dos valores ideais recomendados.

Os índices de redução sonora aparente, das fachadas e entre as salas e os corredores, encontrados no Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas no Jardim Botânico e nos Blocos Didáticos no Centro Politécnico, apresentaram valores abaixo dos recomendados pela norma internacional alemã, DIN 4109 (DIN, 1989).

No entanto, os baixos valores de isolamento encontrados não têm influência significativa nos resultados. Isto pode ser verificado analisando-se os níveis de pressão sonora medidos no interior das salas de aula estudadas que estão de acordo com os valores recomendados pela norma brasileira.

Comparando os dados obtidos nos dois locais, para os parâmetros acústicos nível de pressão sonora externo e interno, verifica-se que os ruídos externos, emitidos principalmente pelo tráfego de veículos das rodovias que circundam o campus, e os ruídos internos provenientes dos corredores e das salas de aula adjacentes, não interferem na qualidade do ambiente acústico no interior das salas de aula analisadas segundo recomendações das normas NBR – 10151/00 e NBR – 10152/87.

Já, para o parâmetro tempo de reverberação encontrado nos dois blocos,

pode-se concluir que os valores medidos nas salas do Centro Politécnico, consideravelmente mal conservadas, estão mais próximos dos recomendados que os valores medidos nas salas de aula do Jardim Botânico, recém construídas, que não possuem nenhum resultado próximo dos recomendados.

Assim, conclui-se que, mesmo com a evolução dos estudos e pesquisas na área da acústica de salas de aula, as salas dos Blocos Didáticos no Centro Politécnico, construídas na década de 60 e com o prédio em má conservação são melhores nos aspectos acústico-arquitetônicos do que as salas de aula do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas no Jardim Botânico, construídas no ano 2000 e em perfeito estado de conservação.

O ideal seria que as exigências acústicas fossem previstas na execução do projeto e verificadas com o uso de simulações computacionais e/ou cálculos antes da execução da obra.

6.1. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- a) medições acústicas de inteligibilidade;
- b) simulações, através de um programa computacional, para avaliar melhores condições acústico-arquitetônicas para as salas de aula;
- c) medições dos parâmetros acústicos: níveis de pressão sonora, tempo de reverberação, isolamento e inteligibilidade nos demais prédios da Universidade Federal do Paraná.

7 REFERÊNCIAS

AIREY, S. A survey of acoustics standards in UK classroom and their effect on pupils and teachers. In: **Proc of Institute of Acoustics**, v. 20, part. 4, 1998.

AMERICAN NATIONAL STANDARD (MELVILLE). **Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools: ANSI S12.60**. Melville, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (RIO DE JANEIRO, RJ). **Acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento: NBR 10151**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (RIO DE JANEIRO, RJ). **Tratamento acústico em recintos fechados: NBR 12179**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (RIO DE JANEIRO, RJ). **Níveis de ruído para conforto acústico: NBR 10152**. Rio de Janeiro, 1987.

ASTOLFI, A.; CORRADO, V.; FILIPPI, M. Classroom acoustics assessment: a procedure for field analysis. In: **Proc. of the Int. Euronoise Naples**, Itália, 2003.

AZEVEDO, A.V.de. **Avaliação e controle de ruído industrial**. Rio de Janeiro: Confederação Nacional da Indústria, 1984. 118 p.

BARRON, R. F. **Industrial noise control and acoustics**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.

BATISTA, N. N. do. **A importância do projeto acústico como um dos parâmetros para obtenção da qualidade do espaço edificado**. Rio de Janeiro, 1998. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998.

BERANEK, L. L. **Noise Reduction**. 1 ed. New York: McGraw-Hill, 1960, 758 p.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering noise control: theory and practice**. 2 ed. New York: Spon Press – Taylor & Francis Group, 2002.

BISTAFA, S.; BRADLEY, J. Predicting speech metrics in simulated classroom with varied sound absorption. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v. 109, n. 4, p. 1474-1481, 2001.

BISTAFA, S.; BRADLEY, J. Reverberation time and maximum background-noise level for classroom from a comparative study of speech intelligibility metrics. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v. 107, n. 2, p. 861-875, 2000.

BOBRAN, H. W. **Handbuch der bauphysik**. Stuttgart: 7. völlig neubearbeitete Auflage, 1995.

BRADLEY, J. S. Optimising sound quality for classrooms. In: **XX Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA**, Rio de Janeiro, 2002.

BRASIL. **Lei 10.625 , de 19 de dezembro de 2002**. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Palácio 29 de Março (da Prefeitura Municipal de Curitiba), Curitiba, 19 de dez. 2002.

CARBONE, C.; MERCANTI, A. Evaluation of acoustic treatment carried out in school canteens in the municipality of Rome. In: **Proc. of the Int. Euronoise Naples**, Itália, 2003. p. 1-5.

CRUZ DA COSTA, E. **Acústica técnica**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (GERMANY). **Schallschutz im hochbau: DIN 4109**. Germany, 1989.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (GERMANY). **Schallschutz in schullen: DIN 18041**. Germany, 1998.

DOCKRELL, J. E.; SHIELD, B. Children's perceptions of their acoustic environment at school and at home. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, p. 2964-2973, 2004.

ELMALLAWANY, E. Field investigations of the sound insulation in school buildings. **Building and Environmental**, Egypt, v. 18, p. 85-89, 1983.

ENIZ, A.; GARAVELLI, S. L. Acoustic conditions of school classrooms in the Federal District: background noise and reverberation time. In: **Proc. of the Int. Internoise**, Rio de Janeiro, 2005.

FASOLD, W.; VERES, E. **Schallschutz und raumakustik in der praxis**. Planungsbeispiele und konstruktive lösungen. Huss-medien GmbH, Verlag Bauwesen, Berlin, 2003.

FERNANDES A.G.; VIVEIROS, E B. Impacto do ruído de tráfego em edificações escolares: uma metodologia de avaliação para o planejamento urbano. In: **XX Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA**, Rio de Janeiro, 2002.

FERREIRA, J. A. C. **Avaliação acústica de residências: resultados medidos e simulados**. Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PGMEC, Universidade Federal do Paraná, 2004.

FRANÇOIS, D.; VALLET, M. Noise in schools. **World Health Organization Regional Office for Europe**, 2001.

FRANGOS, A. **School districts spend to ensure good acoustics**. Wall Street Journal, New York, 2003.

FUCHS, H. V. **Schallabsorber und schalldämpfer**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York, 2004.

GERGES, S.N.Y. Education in acoustics and vibration at UFSC – Brasil. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v. 112, n. 5, p. 2235, 2002.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

GONZÁLES, V. E. G.; PÉREZ, J. M. L. Estudio de inteligibilidad en aulas de navarra. In: **Proc. of the Int. Forum Acusticum Sevilha**, Sevilha, 2002.

HAGEN, M.; HUBER, L.; KAHLERT, J. Acoustic school easing. In: **Proc. of the Int. Forum Acusticum Sevilha**, Sevilha, 2002.

HALPERN, S.; SAVARY, L. **Som – saúde**. Rio de Janeiro: Tek Box, 1985. 115 –127 p.

HARRIS, C. M. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1998. 1646 p.

HASSALL, J. R.; ZAVERI, K.; **Acoustic Noise Measurement**. 4 ed. Dinamarca: Brüel & Kjaer Magazine, 1979. 280 p.

HECKL, M. The tenth sir Richard Fairey memorial lecture: sound transmission in buildings. **Journal and Vibration**, v. 70, 1980.

HECKL, M.; MÜLLER, H. A. **Technischen akustik**. 2. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York, 1995.

HENN, H.; SINAMBARI, G. R.; FALLEN, M. **Ingenieur – akustik**. 2., erweiterte und überarbeitete Auflage. Vieweg, 1999.

HODGSON, M. Case-study evaluations of the acoustical designs of renovated university classrooms. **Applied Acoustics**, v. 65, p. 69-89, 2003.

HODGSON, M. Rating, ranking, and understanding acoustical quality in university classrooms. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v. 112, n. 2, p. 568-575, 2002.

HODGSON, M.; NOSAL, E. Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v. 111, p. 931-939, 2002.

HODGSON, M.; REMPEL, R.; KENNEDY, S. Measurement and prediction of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v. 105, p. 226-233, 1999.

HOHMANN, R.; SETZER, M. J.; WEHLING, M. **Bauphysikalische formeln und tabellen**. 4° edição. Editora: Werner Verlag, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics – measurement of sound insulation in building and of building elements: ISO 140-4. Field measurements of airborne sound insulation between rooms: Part 4**, Geneva, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics – measurement of sound insulation in building and of building elements: ISO 140-5**.

Field measurements of airborne sound of façade elements and facades: Part 5, Geneva, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics – measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters: ISO 3382**, Geneva, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements: ISO 717-1. Airborne sound insulation: Part 1**, Geneva, 1996.

KARABIBER, Z.; VALLET, M. Classroom acoustics policies – an overview. In: **Proc. of the Int. Euronoise Naples**, Itália, 2003.

KENNEDY, M. Setting guidelines for classroom acoustics. **American School & University**, 2002.

KRYTER, K. **The effects of noise on man**. Menlo Park: Academic Press INC., 1985. 1-3 p.

KUTTRUFF, H. **Room Acoustics**. 2 ed. London: Applied Science Publishers LTD, 1979.

LORO, C. L. P. **Avaliação acústica de salas de aula – padrão 023 – do estado do Paraná – estudo de caso**. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - PGCC, Universidade Federal do Paraná, 2003.

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

LUBMAN, D.; SUTHERLAND, L. C. Good classroom acoustics in a good investment. **Classroom Acoustics**, p. 1-2, 2003.

LUTZ; JENISCH; KLOPFER; FREYMUTH; KRAMPF; PETZOLD. **Lehrbuch der bauphysic**. Stuttgart B. G. Teubner GmbH, 2002.

MAFFEI, L.; DRAGONETTI, R.; LEMBO, P.; ROMANO, R. A methodological approach to large scale action plan for noise control in school building. In: **Proc. of the Int. Euronoise**, Naples, 2003.

MEDEIROS, E. B. Introdução à teoria acústica. In: **I Seminário de Engenharia de Audio**, Belo Horizonte. Anais do I SEMEA, Belo Horizonte, 2002.

MEISSER, M. **Acustica de los edificios**. Editora: Barcelona, 1973.

METZEN, A. H. **Bastian the building acoustics planning system – user manual**. Berlin: Saint-Gobain Isover, 2002. 178 p.

MILLINGTON, J. G. A modified formula for reverberation. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 4, n. 1, p. 69-82. 1932.

- MOORE, J. **Design for good acoustics and noise control**. Macmillan Education LTD, 1978. 138-204 p.
- MÖSER, M. **Engineering acoustics**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York, 2004.
- NEPOMUCENO, L. X. **Acústica**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1976.
- NEPOMUCENO, L. X. **Acústica técnica**. São Paulo: ETEGIL, 1968.
- NOGUEIRA, F.; VIVEIROS, E. Parametrics analysis of open plan offices. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v. 112, n. 5, p. 2428, 2002.
- PEDRAZZI, T.; ENGEL, D.; KRÜGER, E.; ZANNIN, P.H.T. Avaliação do desempenho acústico em salas de aula do Cefet – Pr. In: **ENCAC**, Florianópolis, 2001.
- PIERCE, A. D. Acoustics, an introduction to its physical principles and applications. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 1994.
- RICHTER, R. P. O ensino da acústica na escola de arquitetura. **Instituto Brasileiro da Acústica**, São Paulo, n. 46, 1962.
- ROMAN, M. **New acoustical standards for classrooms**. Disponível em: www.mbinet.org. Acesso em: 16 de junho 2004.
- ROY, K. Architectural acoustics and noise: design of offices to enhance speech privacy and work performance. **The Journal of the Acoustical Society of America**, USA, v. 112, n. 5, p. 2199, 2002.
- SEEP, B.; GLOSEMEYER, R.; HULCE, E.; LINN, M.; AYTAR, P. Acústica de salas de aula. **Revista de Acústica e Vibrações**, n. 29, 2002.
- SEEP, B.; GLOSEMEYER, R.; HULCE, E.; LINN, M.; AYTAR, P.; COFFEEN, R. Classroom acoustics: a resource for creating learning environments with desirable listening conditions. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 2000.
- SILVA, D. T. da. **Estudo da isolamento sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas**. Rio Grande do Sul, 2000. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2000.
- SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 3 ed. Belo Horizonte: Edital, 1997.
- STRUMPF, M.F. **Acoustic in schools**. The Institute for the Development of Education & Welfare Buildings. Telaviv, 1984.
- VALLET, M. Some european standards on noise in educational buildings. In: **Proc. of the Int. Symposium on Noise Control for Educational Buildings**. Istanbul, 2000, p. 13-20.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (UNITED KINGDOM). **Noise in schools**. London, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (UNITED KINGDOM). **Noise and health**. London, 2000.

YEBRA, M.; BLEDA, S.; VERA, J. Necesidad de pautas y normativa acústica específicas em lãs construcciones escolares: La Universidad de Alicante, um ejemplo. In: **Proc. of the Int. Forum Acusticum Sevilla**, Sevilla, 2003.

ZANNIN, P. H. T.; FERREIRA, A. M. C.; ZWIRTES, D. P.; STUMM, S. B.; NUNES, E. L. S.; TÖWS, M. Comparison between reverberation times calculated and measured. In: **Proc. of the Int. Internoise**, Rio de Janeiro, 2005.

ZANNIN, P. H. T.; LORO, C. P. Acoustical quality of educational buildings – the acoustic of modular classrooms. In: **Proc. of the Int. Internoise**, Rio de Janeiro, 2005.

ZANNIN, P.H.T.; FERREIRA, J.A.C.; SCHULLI, R.B.; DINIZ, F.B. Acústica em edificações – predição comutacional e medição *in situ* de parâmetros acústicos. **Engenharia e Construção**, Curitiba, n. 72, p. 49, 2003.

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

APÊNDICE 1- MEDIÇÕES DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM CADA PONTO DAS SALAS DO CENTRO POLITÉCNICO, COM AS JANELAS ABERTAS E FECHADAS.

Neste apêndice podem ser verificados os valores dos níveis de pressão sonora medidos nos seis pontos de cada sala do Bloco Didático no Centro Politécnico. Três pontos foram medidos com as janelas abertas e outros três com as janelas fechadas.

SALA A (PG – 01)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	45,3 dB(A)	38,5 dB(A)
P2	43,7 dB(A)	39,3 dB(A)
P3	42,4 dB(A)	39,6 dB(A)
Leq	44,0 dB(A)	39,2 dB(A)
Curva NC	35	30
AVALIAÇÃO	CONFORTO	CONFORTO

SALA B (PG – 03)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	37,2 dB(A)	37,6 dB(A)
P2	38,4 dB(A)	34,8 dB(A)
P3	37,6 dB(A)	32,9 dB(A)
Leq	37,8 dB(A)	35,5 dB(A)
Curva NC	30	30
AVALIAÇÃO	CONFORTO	CONFORTO

SALA C (PG – 04)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	35,7 dB(A)	32,0 dB(A)
P2	35,0 dB(A)	33,7 dB(A)
P3	37,5 dB(A)	32,8 dB(A)
Leq	36,2 dB(A)	32,9 dB(A)
Curva NC	30	25
AVALIAÇÃO	CONFORTO	CONFORTO

SALA D (PG – 06)

	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	43,2 dB(A)	35,3 dB(A)
P2	44,5 dB(A)	35,8 dB(A)
P3	43,6 dB(A)	36,5 dB(A)
Leq	43,8 dB(A)	35,9 dB(A)
Curva NC	40	30
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	CONFORTO

SALA E (PG – 07)

	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	44,2 dB(A)	40,7 dB(A)
P2	49,3 dB(A)	39,0 dB(A)
P3	44,9 dB(A)	39,9 dB(A)
Leq médio	46,7 dB(A)	39,9 dB(A)
Curva NC	40	35
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	CONFORTO

SALA F (PG – 11)

	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	50,3 dB(A)	43,3 dB(A)
P2	46,1 dB(A)	43,8 dB(A)
P3	45,9 dB(A)	43,7 dB(A)
Leq	47,9 dB(A)	43,6 dB(A)
Curva NC	40	40
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL

SALA G (PG – 12)

	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	45,3 dB(A)	42,2 dB(A)
P2	48,2 dB(A)	41,9 dB(A)
P3	49,8 dB(A)	41,7 dB(A)
P4	47,7 dB(A)	42,7 dB(A)
P5	48,2 dB(A)	40,8 dB(A)
Leq	48,1 dB(A)	41,9 dB(A)
Curva NC	40	35
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	CONFORTO

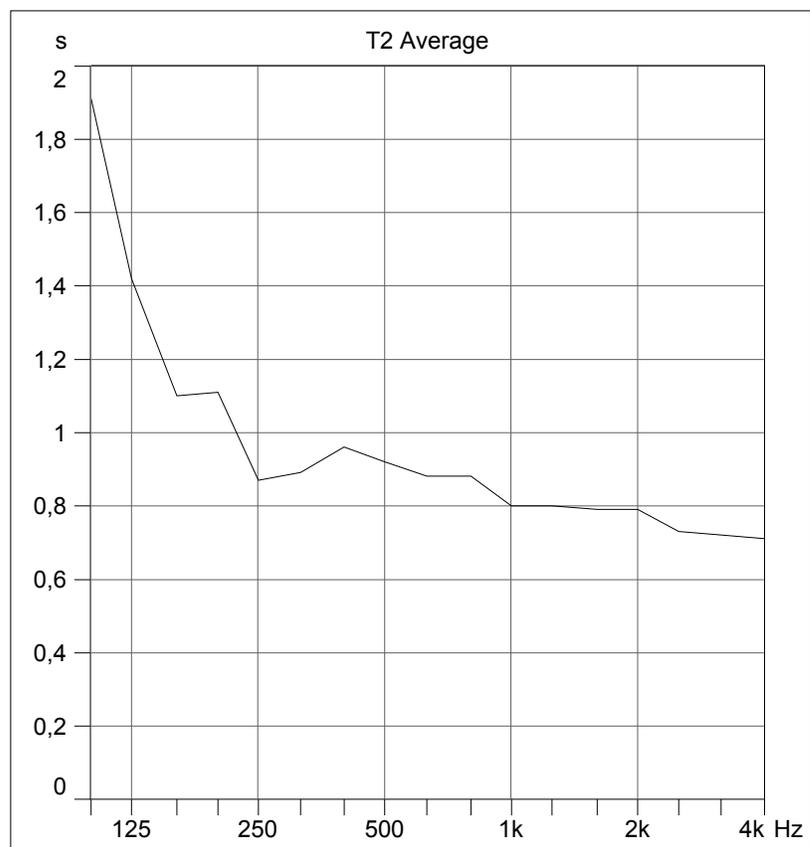
SALA H (PG – 15)

	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	44,0 dB(A)	40,7 dB(A)
P2	43,5 dB(A)	37,4 dB(A)
P3	44,5 dB(A)	39,7 dB(A)
Leq	44,0 dB(A)	39,5 dB(A)
Curva NC	40	35
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	CONFORTO

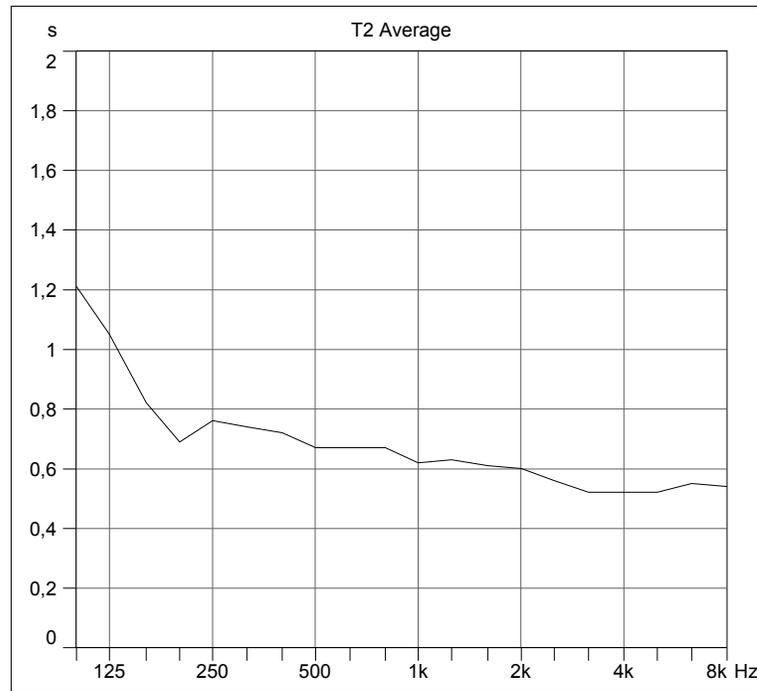
APÊNDICE 2 - GRÁFICOS DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS EM CADA SALA DO CENTRO POLITÉCNICO.

Os gráficos abaixo apresentam as curvas dos tempos de reverberação, medidos nas salas de aula do Bloco Didático no Centro Politécnico, com as salas mobiliadas e sem ocupantes. Estes gráficos são fornecidos pelo software Qualifier 7830 da Brüel & Kjaer.

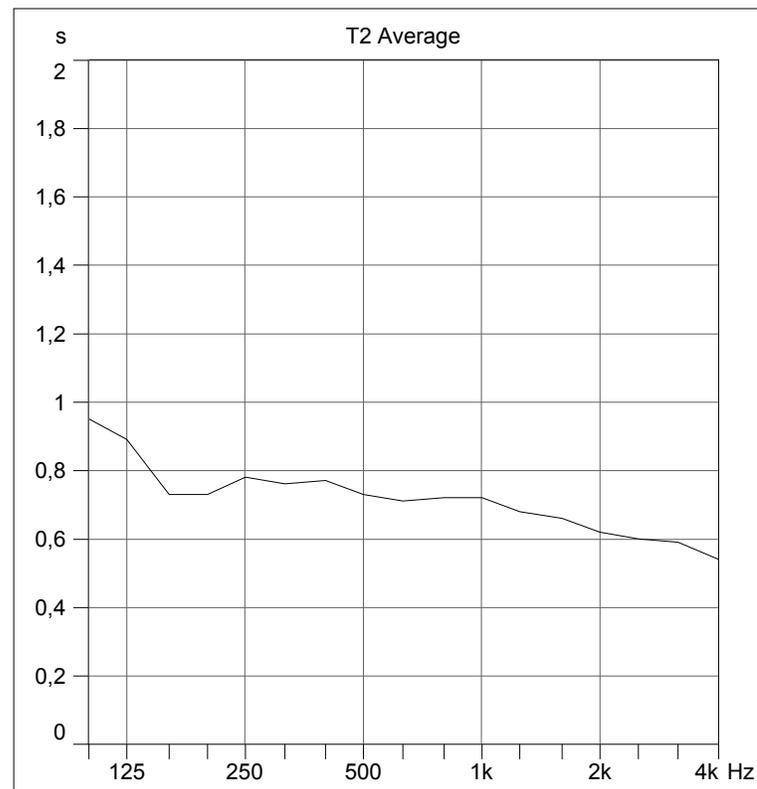
SALA A



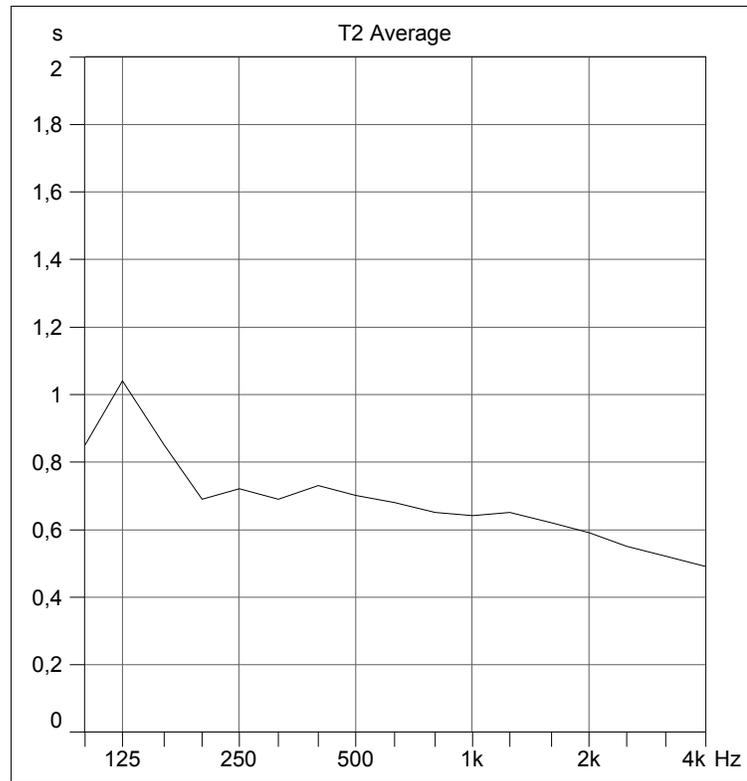
SALA B



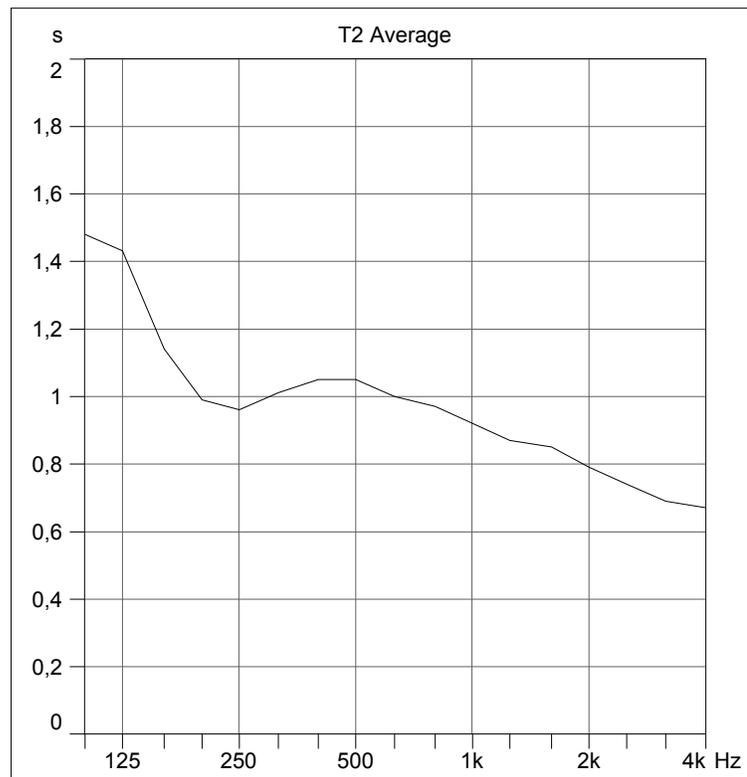
SALA C



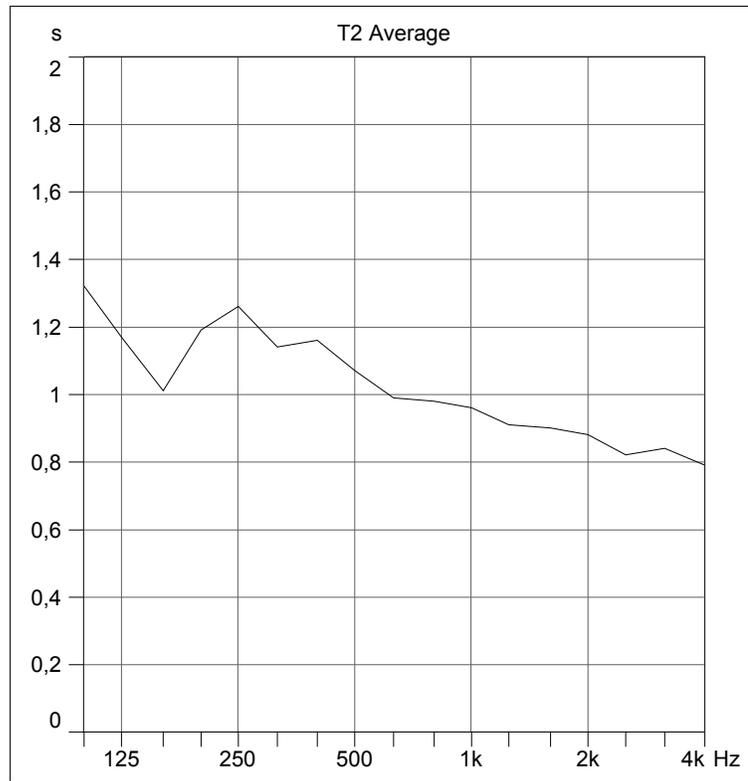
SALA D



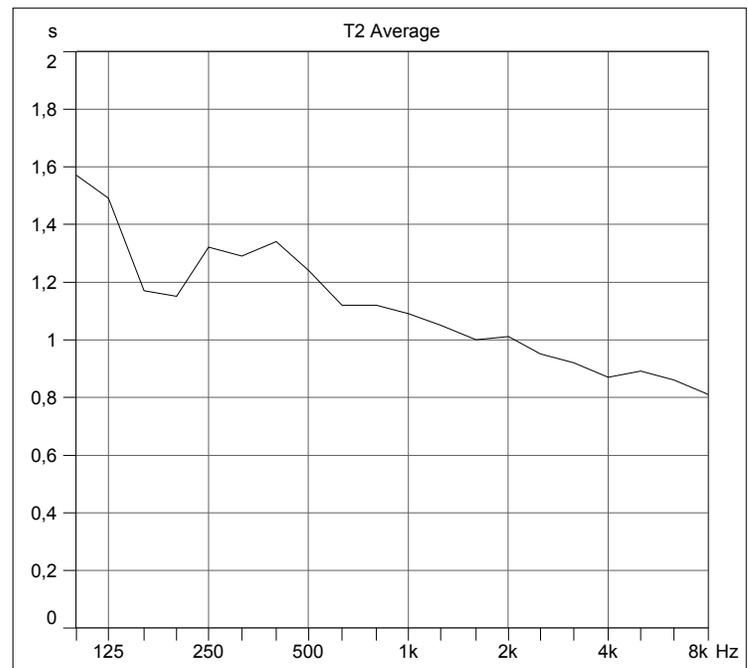
SALA E



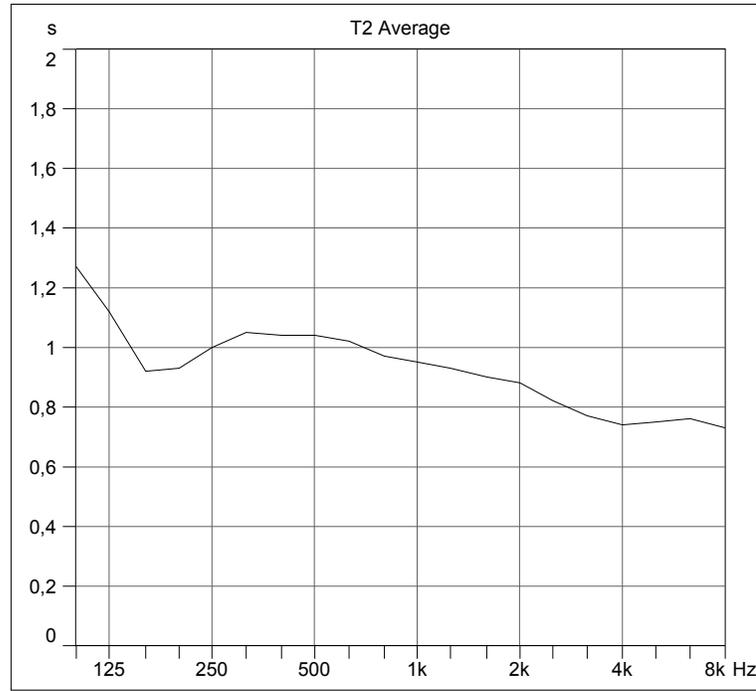
SALA F



SALA G



SALA H



APÊNDICE 3 - MEDIÇÕES DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM CADA PONTO DAS SALAS DO JARDIM BOTÂNICO, COM AS JANELAS ABERTAS E FECHADAS.

Neste apêndice podem ser verificados os valores dos níveis de pressão sonora medidos nos seis pontos de cada sala do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas no Jardim Botânico. Três pontos foram medidos com as janelas abertas e outros três com as janelas fechadas.

SALA A (SA01 – C04)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	52,6 dB(A)	49,0 dB(A)
P2	51,3 dB(A)	47,0 dB(A)
P3	51,8 dB(A)	46,6 dB(A)
Leq	51,9 dB(A)	47,6 dB(A)
Curva NC	45	40
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL

SALA B (SA01 – C11)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	43,3 dB(A)	36,9 dB(A)
P2	45,2 dB(A)	37,8 dB(A)
P3	45,0 dB(A)	41,4 dB(A)
Leq	44,6 dB(A)	39,2 dB(A)
Curva NC	35	30
AVALIAÇÃO	CONFORTO	CONFORTO

SALA C (SA01 – C24)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	49,3 dB(A)	44,5 dB(A)
P2	48,4 dB(A)	44,0 dB(A)
P3	46,9 dB(A)	46,0 dB(A)
Leq	48,4 dB(A)	44,9 dB(A)
Curva NC	40	35
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	CONFORTO

SALA D (SATE – C03)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	51,8 dB(A)	46,8 dB(A)
P2	51,4 dB(A)	50,5 dB(A)
P3	51,4 dB(A)	46,7 dB(A)
Leq	51,5 dB(A)	48,4 dB(A)
Curva NC	40	40
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL

SALA E (SATE – C11)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	46,7 dB(A)	48,2 dB(A)
P2	48,1 dB(A)	46,4 dB(A)
P3	47,4 dB(A)	47,1 dB(A)
Leq	47,4 dB(A)	47,3 dB(A)
Curva NC	40	40
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL

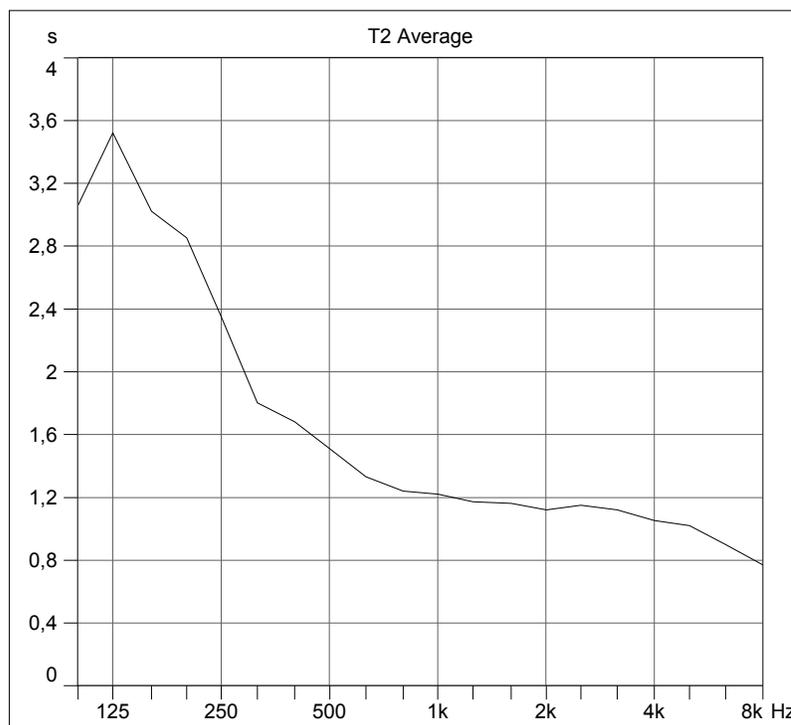
SALA F (SATE – C23)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	51,1 dB(A)	45,0 dB(A)
P2	43,8 dB(A)	40,4 dB(A)
P3	43,8 dB(A)	41,6 dB(A)
Leq	47,7 dB(A)	42,8 dB(A)
Curva NC	40	35
AVALIAÇÃO	ACEITÁVEL	CONFORTO

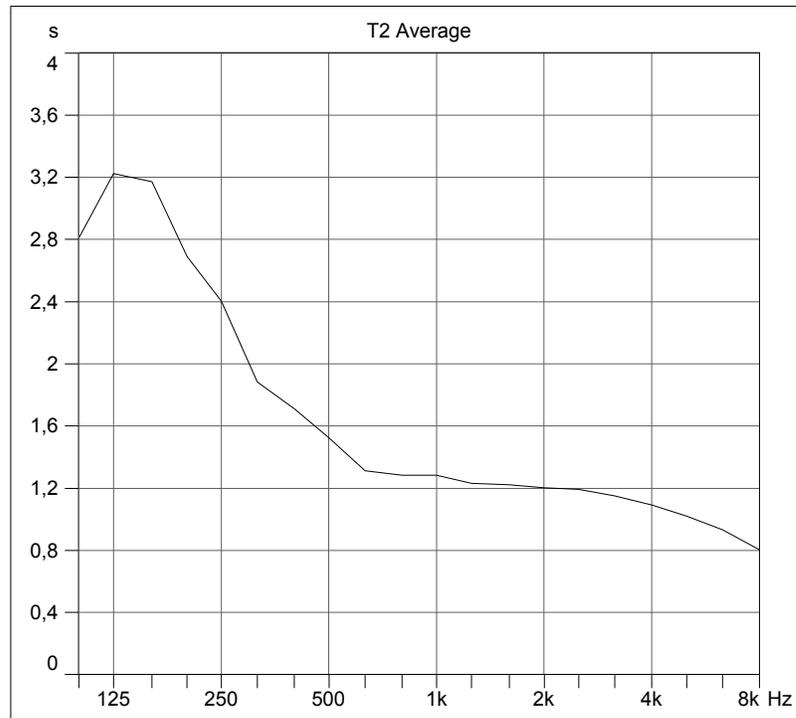
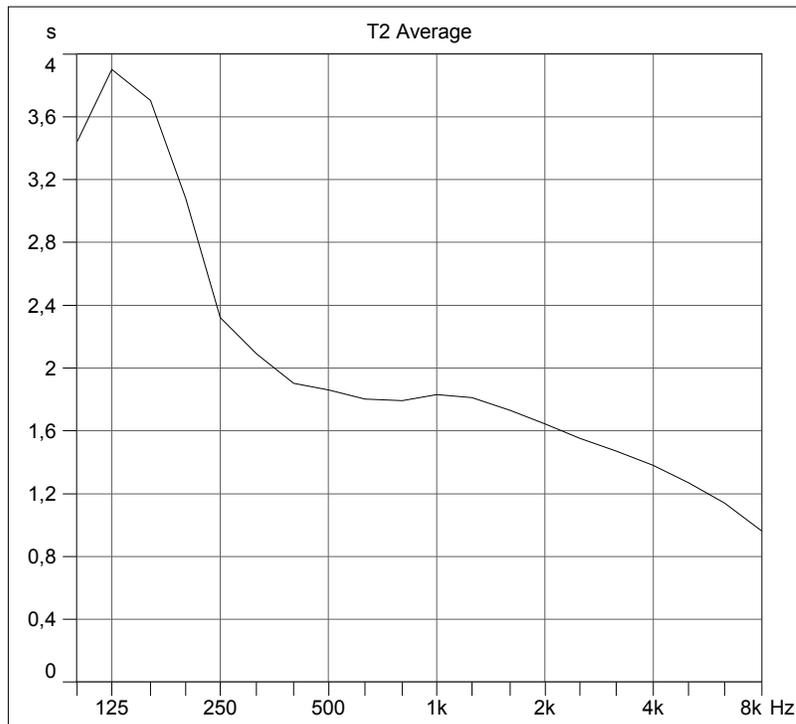
SALA G (SATE – C49)		
	Janelas Abertas	Janelas Fechadas
P1	56,3 dB(A)	51,1 dB(A)
P2	58,8 dB(A)	49,0 dB(A)
P3	55,6 dB(A)	48,8 dB(A)
Leq	57,1 dB(A)	49,6 dB(A)
Curva NC	50	40
AVALIAÇÃO	DESCONFORTO	ACEITÁVEL

APÊNDICE 4 - GRÁFICOS DOS TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS EM CADA SALA DO JARDIM BOTÂNICO.

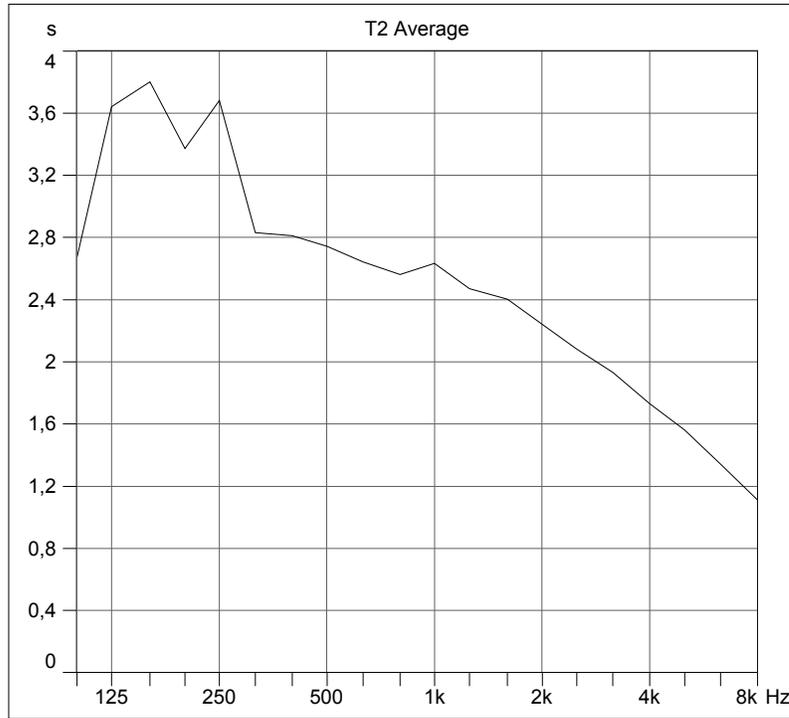
Os gráficos abaixo apresentam as curvas dos tempos de reverberação, medidos nas salas de aula do Bloco das Ciências Sociais e Aplicadas no Jardim Botânico, com as salas mobiliadas e sem ocupantes. Estes gráficos são fornecidos pelo software Qualifier 7830 da Brüel & Kjaer.

SALA A

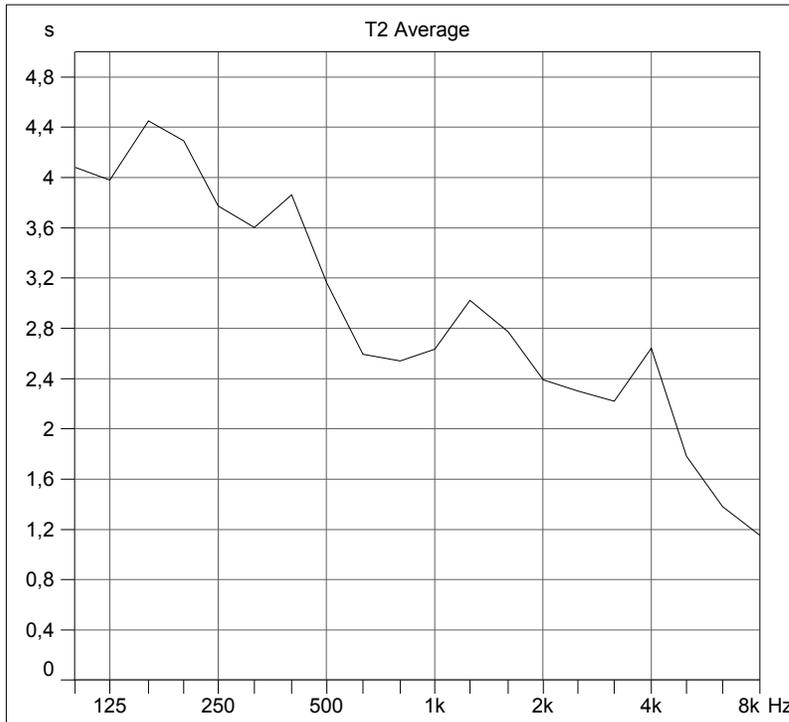


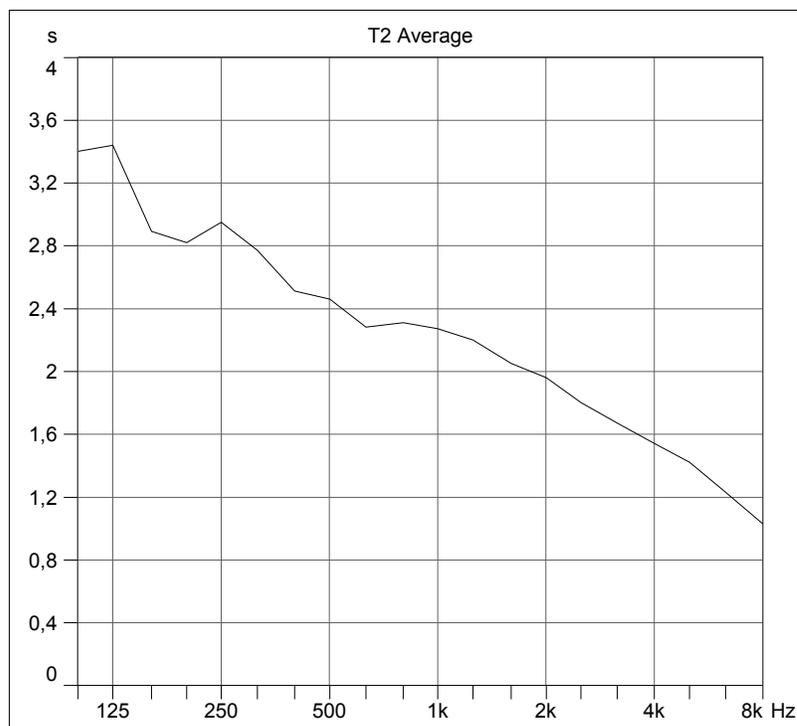
SALA B**SALA C**

SALA D



SALA E



SALA F**SALA G**