



Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Escola de Minas - EM
Departamento de Engenharia Civil - DECIV
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DO BLOCO DE SALAS DO CURSO DE MEDICINA NO CAMPUS DA UFOP

Outubro 2011



Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Escola de Minas - EM
Departamento de Engenharia Civil - DECIV
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DO BLOCO DE SALAS DO CURSO DE MEDICINA NO CAMPUS DA UFOP

AUTOR: NEYMAR CAMÕES DE MOURA

ORIENTADOR: PROF. DR. HENOR ARTUR DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Outubro 2011

M929a Moura, Neymar Camões de.
Avaliação do desempenho acústico do bloco de salas do curso de medicina no campus da UFOP [manuscrito] / Neymar Camões de Moura - 2011.

xvii, 101f.: il. color.,; graf.; tabs.; mapas.

Orientadores: Prof. Dr. Henor Artur de Souza.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Metálica.

1. Estruturas metálicas - Teses. 2. Acústica arquitetônica - Teses. 3. Ruído - Medição - Teses. 4. Acústica - Reverberação - Teses. 5. Conforto acústico - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

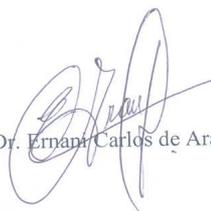
**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DO BLOCO DE SALAS
DO CURSO DE MEDICINA NO CAMPUS DA UFOP**

AUTOR: NEYMAR CAMÕES DE MOURA

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 21 de outubro de 2011, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Henor Artur de Souza (Orientador / UFOP)



Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo (UFOP)



Prof. Dr. Arlindo Tribess (USP)

AGRADECIMENTOS

À fé em Deus, dando-me força e coragem para superar os obstáculos e dedicar-me à realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Henor Artur de Souza, pela assistência e dedicação à realização desse trabalho, pelo conhecimento e experiências transmitidas ao longo da pesquisa, e pela agradável convivência.

A minha esposa Roberta, e minhas filhas Fernanda e Renata, pelo amor, conselhos e apoio incessante aos meus estudos. Razão de tudo, sempre com paciência e carinho.

Aos meus pais, Aloysio e Luíza, por sempre incentivar o meu crescimento pessoal.

A todos do mestrado, pela amizade.

Às companheiras da mesma área de pesquisa: Luciana e Róvia, pela amizade e ajuda à concretização deste trabalho.

A Prefeitura do Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, pela compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus amigos João e Paulo Victor P. Calipo, pela ajuda durante a coleta de dados no prédio do curso de medicina.

Aos funcionários da marcenaria da UFOP que me ajudaram na confecção dos elementos necessários para a intervenção da sala.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica, pelos ensinamentos.

À Róvia, pela disponibilidade e atenção na solução de problemas de ordem burocrática.

Ao Departamento do Curso Técnico de Segurança do Trabalho, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Ouro Preto, pelo empréstimo do decibelímetro, frequencímetro, necessário para a realização deste trabalho.

Ao CNPq e à FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

RESUMO

Toda edificação tem como função o atendimento às necessidades humanas de conforto, ultrapassando o caráter de abrigo e constituindo-se como uma extensão do cotidiano. Com o desenvolvimento da construção industrializada em aço, novos elementos construtivos de fechamento têm sido introduzidos no cotidiano das edificações e, assim, sua eficiência vem sendo questionada por profissionais e por usuários. Uma das principais características questionada dos fechamentos industrializados é a capacidade de isolamento acústico, já que o uso de estruturas mais leves exige fechamentos também mais leves e conseqüentemente com menor massa, resultando numa menor capacidade de isolamento sonoro. No caso das salas de aula, para garantir a nitidez dos sons pronunciados, com suficiente intensidade e sem distorções é necessário que o ambiente tenha um bom desempenho acústico. Neste contexto o tempo de reverberação e o ruído em excesso interferem na comunicação prejudicando a inteligibilidade do que é falado e, portanto, prejudicando na aprendizagem dos alunos. Em conseqüência de um desconforto acústico ocorre também a elevação da intensidade da voz do professor e dos alunos, impondo desta forma, um esforço adicional por parte de quem ouve e de quem fala, gerando até mesmo um *stress* para o professor como também para o aluno. Neste trabalho faz-se uma avaliação do desempenho acústico do bloco de sala de aulas e laboratórios onde funciona o curso de Medicina da Universidade Federal de Ouro Preto, no Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG. O desenvolvimento do trabalho foi realizado em duas etapas: uma avaliação exploratória *in loco* com os alunos por meio de questionários, focando as condições físico-funcionais, ambientais e de infra-estrutura da edificação e medições avaliando os parâmetros acústicos das salas em momentos diferentes. Os resultados obtidos referentes aos aspectos técnicos específicos do projeto executado mostraram uma aprovação explícita do espaço físico e que o problema de maior impacto é o isolamento inadequado em relação ao ruído interno e/ou externo. As medições realizadas também confirmaram que as salas apresentam níveis de pressão sonora acima do estabelecido por norma. Uma sala de aula foi definida como elemento de estudo e uma intervenção para a melhoria do isolamento acústico foi realizada. Após a intervenção nesta sala, várias medições foram realizadas e os resultados demonstraram uma melhora no isolamento do ruído, reduzindo em torno de 22%, e uma redução de 31% no tempo de reverberação. Este trabalho pretende contribuir na transformação das concepções dos profissionais envolvidos em projetos de edificações escolares.

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

ABSTRACT

Every building has the function of meeting the needs of human comfort, surpassing the character of shelter and establishing itself as an extension of everyday life. With the development of industrialized steel construction, new constructive closure elements have been introduced to the everyday of buildings and thus both professionals and users have questioned its effectiveness. One of the main features of industrialized closures being questioned is the ability to soundproof, since the use of lighter structures requires lighter closures and therefore less mass, resulting in worse acoustic isolation. In the case of classrooms, to ensure the sharpness of the sounds pronounced with sufficient intensity and absence of distortions, it is necessary for the environment to have a good acoustic performance. In this context, the reverberation time and excessive noise interfere with communication, impacting in the intelligibility of what is spoken and thus disrupting the students' learning process. One of the results of acoustic discomfort is an increase in the intensity of the voices of the teacher and students, thereby imposing an additional effort for both the listener and the speaker, which may create a stressful situation. This work makes an assessment of the acoustic performance of the classrooms and laboratories of the Medical School of the Federal University of Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG. The development of this work was conducted in two stages: (i) an exploratory on-site survey with students through questionnaires, focusing on the physical-functional, environmental and infrastructure of the building and (ii) measurements evaluating the acoustic of the rooms at different times. The results concerning specific technical aspects of the project showed an explicit approval of the physical space and that the greatest problem is the inadequate isolation of the internal/external noise. The measurements performed also confirmed that the rooms have sound pressure levels above the acceptable ones. A classroom was defined as the element of the study and an intervention to improve the acoustic isolation was performed. After the intervention in this classroom, several measurements were made and the results showed an improvement in noise isolation, reducing by around 22%, and a 31% reduction in reverberation time. This work aims to contribute in the transformation of conceptions of the professionals involved in the design of school buildings.

Keywords: classroom acoustics, acoustic comfort, noise, reverberation time, acoustic isolation.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Iniciais.....	1
1.2- Revisão Bibliográfica.....	3
1.3- Objetivo.....	7
1.4- Justificativa	8
1.5– Metodologia.....	10
1.6– Escopo do Trabalho	10

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO: AVALIAÇÃO SONORA, DESEMPENHO ACÚSTICO E NORMALIZAÇÃO

2.1 – Fundamentos de Avaliação Sonora	12
2.1.1- Tempo de Reverberação.....	13
2.1.2 - Absorção sonora.....	14
2.1.3– Perda na Transmissão Sonora.....	17
2.2 – Desempenho Acústico	20
2.3 – Normas acústicas e legislação	21

CAPÍTULO 3 - MÉTODO

3.1 – Metodologia adotada	23
3.2 – Estudo de Caso: O Prédio do Curso de Medicina- UFOP.....	23
3.3 – Avaliação Pós-Ocupação	32
3.3.1 - Caracterização da amostra.....	33
3.4 – Medições do nível sonoro in loco.....	34
3.4.1 – Instrumentação utilizada.....	34
3.5 – Etapas da avaliação do desempenho acústico	37

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 – Avaliação exploratória com os usuários discentes	41
4.1.1 – O conforto térmico e visual no espaço físico	41
4.1.2 – A acústica do espaço físico.....	43
4.2 – Avaliação experimental in loco	46
4.3 – Avaliação após intervenção	55
4.3.1 – Medições após intervenção.....	55
4.3.2 – Avaliação exploratória após intervenção.....	61
4.4 – Tempo de reverberação (TR) da sala 104.....	63

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO

5.1 -Conclusões	68
5.2 - Considerações finais.....	69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
----------------------------------	----

ANEXO A - QUESTIONÁRIO	76
------------------------------	----

ANEXO B - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FISICO – FUNCIONAIS.....	81
--	----

ANEXO C - HISTOGRAMA DAS MEDIÇÕES REALIZADAS	86
--	----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Figura 1.1 - Sensação em relação ao ruído externo	9
Figura 1.2 - Sensação em relação ao ruído interno.....	9
Figura 1.3 – Patologias mais identificadas.	10

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO: AVALIAÇÃO SONORA, DESEMPENHO ACÚSTICO E NORMALIZAÇÃO

Figura 2.1– Comportamento do som dentro de uma sala.	13
Figura 2.2– Curvas de tempo de reverberação.	15
Figura 2.3 – Reflexão, Absorção e Transmissão.	18
Figura 2.4 – Curva típica de perda na transmissão sonora, onde f_r é a frequência de ressonância e f_c é a frequência crítica do painel	19

CAPÍTULO 3 - MÉTODO

Figura 3.1 – Vista externa da edificação.	24
Figura 3.2 – Passarela de ligação dos blocos.	25
Figura 3.3 – Estrutura metálica do prédio com a laje calha ao centro.....	25
Figura 3.4 – Vista dos exaustores.....	26
Figura 3.5 – Vista do corredor interno (a) primeiro e (b) segundo pavimentos.....	26
Figura 3.6 – Planta de implantação do prédio.	27
Figura 3.8 – Planta baixa segundo pavimento.....	29
Figura 3.9 – Cortes transversais do prédio do curso de medicina.	30
Figura 3.10 – Corte longitudinal do prédio do curso de medicina.	31
Figura 3.11 – Tempo de uso da edificação.....	33
Figura 3.12– Média diária de permanência no prédio.....	34
Figura 3.13 – Instrumentos de medição utilizados	35
Figura 3.14– Vista do interior da Sala de Aula 104	38
Figura 3.16– Painéis de isolamento proposto para as aberturas.....	39
Figura 3.17– Painéis de isolamento proposto para os elementos metálicos aparentes... ..	39

Figura 3.18– Porta com isolamento interno proposta.....	39
Figura 3.18– Vista interior da Sala de Aula 104 após a intervenção.....	40
Figura 3.19 – Vista interior da Sala de Aula 104 após a intervenção.....	40

CAPÍTULO 4 - CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E ANÁLISES

Figura 4.1 – Sensação térmica na sala de aula.	41
Figura 4.2 – Tipo de roupas utilizadas.	42
Figura 4.3 – Sensação em relação à ventilação.	42
Figura 4.4 – Qualidade da iluminação da sala de aula.	43
Figura 4.5 – O ruído Externo.....	43
Figura 4.6 – O ruído Interno.....	44
Figura 4.7 – Interferência do ruído de uma sala de aula para outra	44
Figura 4.8 – Problemas de saúde gerados pela exposição ao ruído.....	45
Figura 4. 9 – Ruído na sala onde se encontram os alunos no momento que respondem ao questionário.	45
Figura 4.10–Mapeamento dos instrumentos na área das salas 104 e 106.	49
Figura 4.11 - Medição realizada na sala 104 (ponto A – Figura 4.10) em 25/04/2011 no intervalo entre 10:47:38 h às 17:07:50 h.	50
Figura 4.12 - Medição realizada no corredor em frente à sala 104 (ponto B - Figura 4.10) em 25/04/2011.....	51
Figura 4.13 - Medição realizada na sala 106 (ponto C - Figura 4.10) em 25/04/2011...	51
Figura 4.14 - Medição realizada na sala 106 (ponto D – Figura 4.10) em 25/04/2011..	52
Figura 4.15- Medição realizada no passeio externo em frente ao prédio direcionado para a avenida principal (ponto E – Figura 4.10) em 25/04/2011.....	52
Figura 4.16 - Medição realizada na sala 104 próxima a mesa do professor, aparelho direcionado para a classe (ponto G - Figura 4.10) em 20/05/2011.....	53
Figura 4.17 - Medição realizada no fundo da sala 104, aparelho direcionado para a classe. (ponto H - Figura 4.10) em 20/05/2011	53
Figura 4.18- Medição realizada na sala 106, aparelho localizado nos fundos da sala (ponto I - Figura 4.10) em 20/05/2011.	54
Figura 4.20 - Medição realizada na sala 104 (ponto M –Figura 4.10) em 14/06/2011 no período de 13:41:27 à 17:31:40.....	56

Figura 4.22- Medição realizada no corredor em frente à sala 106 (ponto N – Figura 4.10) em 14/06/2011.....	57
Figura 4.23 - Medição realizada na sala 104 vazia e janelas fechadas (ponto O – Figura 4.10) com exaustores ligados em 22/06/2011.	58
Figura 4.24 - Medição realizada no corredor em frente à sala 104 com os exaustores localizados na cobertura ligados (ponto P – Figura 4.10) em 22/06/2011.	58
Figura 4.25 - Medição realizada na sala 106 (ponto Q – Figura 4.10) em 22/06/2011..	59
Figura 4.26 - Medição realizada na sala 104 (ponto R – Figura 4.10) em 22/06/2011..	59
Figura 4.27 - Medição realizada na sala 106 (ponto S – Figura 4.10) em 22/06/2011. .	60
Figura 4.28- Gráfico comparativo das medições realizadas com o instrumento Delta Ohm modelo 2010.	61
Figura 4.29 – O ruído externo (após a intervenção).	62
Figura 4.30– O ruído interno após a intervenção.	62
Figura 4.31– Interferência do ruído de uma sala de aula para outra após a intervenção.	63
Figura 4.32–Tempo de Reverberação (TR) da sala 104.....	66

ANEXO B - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICO – FUNCIONAIS

Figura B.1 – Relação Espaço x Número de Alunos por Turma	82
Figura B.2 – O espaço físico estimula a permanência no prédio?.....	83
Figura B.3 –Afirmativas sobre condições físicas, interação entre alunos, ambiente de estudo.....	84
Figura B.4 – Percepção do Aluno em Relação à Edificação.	84
Figura B.5 – Percepção de Patologias Construtivas	85

ANEXO C - HISTOGRAMA DAS MEDIÇÕES REALIZADAS

Figura C.1 – Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da sala 104 próximo à cantina, medidor DEC 490 02, em 02/12/2010.	87
Figura C.2 - Histograma do aparelho instalado na cantina pav. 1 direcionado para o corredor, medidor DEC 490, em 09/12/2010	87
Figura C.3- Histograma do aparelho instalado no Lab. Práticas Simuladas (divisórias internas são em drywall espessura de 10 mm) medidor DEC 490, em 10/12/2010.....	87

Figura C.4 - Histograma do aparelho instalado ao lado da escada pav.1, medidor DEC 490, em 10/12/2010.....	88
Figura C.5 - Histograma do aparelho instalado na enfermaria, medidor DEC 490, em 09/12/2010.....	88
Figura C.6 - Histograma do aparelho instalado na sala de computação pav. 1, medidor DEC 490, em 06/12/2010	88
Figura C.7 - Histograma do aparelho instalado na sala de aula pav. 1, medidor DEC 490, em 06/12/2010	89
Figura C.8 - Histograma do aparelho instalado no Lab. de Rickettsiose pav. 2, medidor DEC 490, em 07/12/2010.....	89
Figura C.9 - Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da escada pav. 2, medidor DEC 490, em 17/12/2010.....	89
Figura C.10 - Histograma do aparelho instalado no Lab. Patologia Molecular ao lado da escada pav. 2, medidor DEC 490, em 17/12/2010	90
Figura C.11 - Histograma do aparelho instalado na sala Saúde Coletiva pav. 2, medidor DEC 490, em 18/12/2010	90
Figura C.12 - Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da secretaria pav 1, medidor DEC 490, em 13/12/2010.....	90
Figura C.13 - Histograma do aparelho instalado na secretaria nível 01, medidor DEC 490, em 13/12/2010	91
Figura C.14 - Histograma do aparelho instalado na cobertura pav. 2, medidor DEC 490, em 13/12/2010. Neste período estava chovendo	91
Figura C.15 - Histograma do aparelho instalado no corredor pav. 2, abaixo da laje calha, medidor DEC 490, em 13/12/2010. Neste período estava chovendo.....	91
Figura C.16 - Histograma do aparelho instalado no passeio externo próximo a entrada lateral, medidor DEC 490, em 03/03/2011	92
Figura C.17 - Histograma do aparelho instalado na sala de reuniões de professores nível 01, medidor DEC 490, em 03/03/2010.....	92
Figura C.18 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1, medidor DEC 490, em 14/03/2010. Sala ocupada.....	92
Figura C.19 - Histograma do aparelho instalado na sala 106 pav. 1, medidor DEC 490, em 14/03/2010	93
Figura C.20 - Histograma do aparelho instalado na sala de reunião pav. 1, medidor DEC 490, em 25/04/2011	93

Figura C.21 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1, medidor DEC 490, em 25/04/2010	93
Figura C.22 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 nível 01, medidor DEC 490, em 04/07/2011. Medição realizada após intervenção.....	94
Figura C.23 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1, medidor DEC 490, em 14/06/2011. Medição realizada após intervenção.....	94
Figura C.24 - Histograma do aparelho instalado na sala 106 (sem intervenção)pav. 1, medidor DEC 490, em 14/06/2011	94
Figura C.25 - Histograma do aparelho instalado na sala 106 nível 01, medidor DEC 490, em 14/06/2011	95
Figura C.26 - Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da sala 106 nível 01, medidor DEC 490, em 14/06/2011	95
Figura C.27- Histograma do aparelho instalado na sala 106 nível 1, medidor DEC 490, em 20/05/2011.	95
Figura C.28 - Histograma do aparelho instalado no fundo da sala 104, pav. 1, medidor DEC 490, em 20/05/2011	96
Figura C.29 - Histograma do aparelho instalado na frente da sala 104, pav. 1, medidor DEC 490, em 20/05/2011	96
Figura C.30 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1 (vazia e vidros fechados), medidor DEC 490, em 22/06/2011	96
Figura C.31 - Histograma do aparelho instalado corredor próximo a porta da sala 104 pav. 01, medidor DEC 490, em 22/06/2	97
Figura C.32 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 nível 01, medidor DEC 490, em 04/07/2011	97
Figura C.33 - Histograma do aparelho instalado na Biblioteca, pav. 1, medidor DEC 490, em 26/04/2011	97
Figura C.34 - Histograma do aparelho instalado na Biblioteca pav. 1, medidor DEC 490, em 26/04/2011	98
Figura C.35 - Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da Biblioteca nível 01, medidor DEC 490, em 26/04/2011	98
Figura C.36 - Histograma do aparelho instalado na sala de aula 107 pav. 1, medidor DEC 490, em 26/04/2011.	98
Figura C.37 - Histograma do aparelho instalado na Secretaria pav.1, medidor DEC 490, em 26/04/2011.	99

Figura C.38- Histograma do aparelho instalado no corredor em frente a sala de Macropatologia pav.2, medidor DEC 490, em 27/04/2011.....	99
Figura C.39 - Histograma do aparelho instalado no Laboratório de RICKETSIOSE nível 02, medidor DEC 490, em 27/04/2011.....	99
Figura C.40 - Histograma do aparelho instalado no Laboratório de APOIO nível 02, medidor DEC 490, em 27/04/2011.....	100
Figura C.41 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1 (ocupada e com os vidros fechados), medidor DEC 490, em 04/07/2011.	100
Figura C.42 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 nível 01, medidor DEC 490, em 14/06/2011	100
Figura C.43 - Histograma do aparelho instalado no corredor (vazio) ao lado da sala 104 nível 01, medidor DEC 490, em 20/07/2011	101
Figura C.44 - Histograma do aparelho instalado no laboratório Patologia Molecular pav. 2, medidor DEC 490, em 17/12/2010.....	101

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO: AVALIAÇÃO SONORA, DESEMPENHO ACÚSTICO E NORMALIZAÇÃO

Tabela 2.1 – Níveis de ruído para conforto acústico em ambientes internos	21
---	----

CAPÍTULO 3 - MÉTODO

Tabela 3.1 – Características do decibelímetro modelo DEC - 5000	35
Tabela 3.2 – Características do decibelímetro modelo DEC - 490	36
Tabela 3.3 – Características do decibelímetroHD 2010	36

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E ANÁLISES

Tabela 4.1 – Medições em ambientes do primeiro pavimento	46
Tabela 4.2 – Medições em ambientes do segundo pavimento	47
Tabela 4.3 – Medições realizadas nas salas 104 e 106, corredor e passeio externo.....	55
Tabela 4.4 – Medições realizadas nas salas 104 e 106 e corredor após a intervenção....	60
Tabela 4.5 – Coeficientes de absorção	64
Tabela 4.6 – Área de absorção e coeficientes - sala 104 (configuração inicial).....	64
Tabela 4.7 – Cálculo do $\sum A*\alpha$ para a sala 104 (configuração inicial).....	65
Tabela 4.8 – Área de absorção e coeficientes – sala 104 (com intervenção)	65
Tabela 4.9 – Cálculo do $\sum A*\alpha$ – sala 104 (configuração inicial)	66

INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Iniciais

Desde os primórdios da civilização, o som é um elemento fundamental para a sobrevivência do ser humano. A acústica vem mostrando seu valor projetual desde os primórdios da antiguidade, com os teatros ao ar livre dos gregos e romanos. Algumas destas características foram resgatadas em plantas pelos teatros renascentistas, porém estes se desenvolveram em espaços fechados e, por isso, refletiram um importante momento para a acústica arquitetônica (Souza, Almeida e Bragança, 2003). À medida que o homem foi evoluindo, a diversidade e quantidade de sons foram se ampliando e os efeitos não desejados crescendo, causando desconforto e merecendo atenção. Segundo estudos da Organização Mundial da Saúde, OMS, na Europa medieval, não se permitia utilizar carruagens à noite para assegurar o sono da população (OMS, 1999).

O advento da revolução industrial trouxe muitos benefícios para a humanidade, juntamente com efeitos não desejados, como a poluição, nas diversas formas e diferentes níveis de destruição. O ruído é um poluidor invisível, que cessa ao se desligar a fonte, mas aumenta juntamente com o crescimento das cidades e seu trânsito. Os altos níveis de ruído urbano têm se transformado, nas últimas décadas, em uma das formas de poluição que mais tem preocupado os urbanistas e arquitetos. Os valores registrados acusam níveis de desconforto tão altos que a poluição sonora urbana passou a ser considerada como a forma de poluição que atinge o maior número de pessoas.

Desde o congresso mundial sobre poluição sonora em 1989, na Suécia, o assunto passou a ser considerado como questão de saúde pública. Entretanto, a preocupação com os níveis de ruído ambiental já existia desde 1981, pois, no Congresso Mundial de Acústica, na Austrália, as cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro passaram a ser

consideradas as de maiores níveis de ruído do mundo. Nas cidades médias brasileiras, onde a qualidade de vida ainda é preservada, o ruído já tem apresentado níveis preocupantes, fazendo com que várias delas possuam leis que disciplinem a emissão de sons urbanos (FERNANDES, 2009).

Numa visão mais ampla, o silêncio não deve ser encarado apenas como um fator determinante no conforto ambiental, mas deve ser visto como um direito do cidadão. O bem-estar da população não deve ser tratado apenas com projetos de isolamento acústicos tecnicamente perfeitos, mas, além disso, exige uma visão crítica de todo o ambiente que vai receber a nova edificação, inclusive o urbano. Outro conceito importante a ser discutido se refere às comunidades já assentadas ameaçadas pela poluição sonora de novas obras públicas. A transformação de uma rua ou avenida tranquila, a construção de um aeroporto ou de uma auto-estrada, ou uma via elevada, podem elevar o ruído a níveis insuportáveis.

A construção é uma barreira entre o ambiente natural e\ou urbano e a gama de ambientes construídos requeridos pelas diferentes atividades humanas. O projeto de uma edificação seja para fins residenciais, industriais, comerciais, ensino e etc., é um processo extremamente importante e complexo. Nesta fase a interação da equipe de projetistas, engenheiros, construtores e futuros usuários são de fundamental importância para assegurar um produto final com qualidade, desempenho e sem patologias.

Com o desenvolvimento da construção de edificações e o uso da estrutura em aço, novos elementos construtivos de fechamento tem sido introduzidos no mercado nacional e no cotidiano das edificações. Em decorrência, cada vez mais sua eficiência vem sendo questionada por profissionais e usuários. No caso de fechamento de prédios em estrutura metálica, uma das principais características questionadas é a capacidade de isolamento acústico, já que o uso de estruturas mais leves exige fechamento também mais leves e conseqüentemente com menor massa, resultando numa menor capacidade de isolamento acústico.

As soluções acústicas têm um grau de complexidade elevado, pois envolvem os diversos parâmetros do som (frequência, comprimento de onda, intensidade sonora, etc.), o espaço físico de propagação (dimensões, volume, característica dos materiais que o compõem), as atividades desenvolvidas e as pessoas.

Toda edificação tem como função o atendimento às necessidades humanas, ultrapassando o caráter de abrigo, segurança e constituindo-se como uma extensão do

cotidiano. Dessa forma, é imprescindível garantir condições mínimas de conforto ambiental aos usuários, seja térmico, acústico ou lumínico.

1.2- Revisão Bibliográfica

A sala de aula é um local na qual as atividades principais são baseadas na comunicação verbal e isto exige um alto nível de concentração por parte de alunos e professores. O desenvolvimento de qualquer tarefa pode ser influenciado pelas condições ambientais deficientes do recinto, com efeito colateral a principal causa de sintomas desagradáveis: cansaço, desânimo, saídas frequentes das salas, dentre outros, que culminam na perda de concentração e conseqüentemente prejudica o processo de ensino e aprendizagem. 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, o que infelizmente na maioria dos projetos o estudo do conforto acústico não é levado em consideração.

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.

A nível mundial tem-se o Instituto Internacional de Engenharia de Controle de Ruído, fundado em 1974, que é um consórcio mundial de organizações preocupadas com o controle de ruído, acústica e vibração. Além desse, tem o comitê internacional (Noise and Reverberation Control for Schoolrooms) habilitado a investigar acústica de escolas e realiza estudos para balizar os critérios e condições mínimas aceitáveis para eficiência acústica das edificações escolares (GONZÁLES; PÉREZ, 2002; FRANGOS, 2003).

No Brasil, não há claramente diretrizes a respeito de como uma escola deva ser projetada, levando-se em conta os parâmetros acústicos para conforto, como: tempo de reverberação e isolamento acústico. A norma NBR10152 (ABNT, 1992) estabelece uma diretriz, ou seja, um valor mínimo e um valor máximo aceitável para o ruído ambiente dentro de uma sala de aula desocupada. A norma NBR15575 (ABNT, 2008) propõe diretrizes para avaliar o desempenho acústico de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Essa norma estabelece parâmetros de desempenho que tem por finalidade a

avaliação final do produto para que uma edificação seja entregue aos seus usuários com as condições mínimas de conforto, habitabilidade e uso. Um dos itens dessa norma está associado ao desempenho acústico, estabelecendo métodos e critérios em partições internas, bem como em pisos e fachadas de edifícios residenciais.

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. Na última década, o tema conforto acústico de salas de aula tem sido analisado e discutido nos principais eventos da área (ENGEL; KRÜGER; ZANNIN, 2001; 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; GAREVELLA, 2005; ZANNIN; LORO, 2005; FERRERIA, 2008; FRANÇA, et al, 2011; ARAÚJO; BISTAFA,2011).

Segundo Bentler, (2000) o que mais interfere em uma sala de aula é a relação sinal/ruído (S/R). Quanto mais positiva ela se apresentar, melhor situação de escuta será oferecida aos alunos. Quanto mais próxima ao zero ou negativa, pior a situação para que os alunos possam entender a fala do professor.

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. Pesquisas têm apresentado a influência da acústica no aprendizado e desempenho, como também no comportamento social e na compreensão.

Engel; Krüger e Zannin, 2001 apresentam uma análise das características acústicas das salas de aula do bloco de engenharia do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR. Para se fazer uma avaliação acústica do ambiente das salas de aula, buscou-se os valores críticos de níveis de ruído e frequência de ruído urbano nas situações mais problemáticas, ou seja, no primeiro pavimento e no horário de maior fluxo de trânsito ao redor da edificação. Os valores críticos foram obtidos por meio de medições realizadas, considerando as situações de janela aberta e fechada. A proposta de um estudo de avaliação do desempenho acústico das salas de aula do bloco de engenharia do CEFET-PR foi comprovada por meio da avaliação do comportamento dos usuários quanto ao nível de ruído existente e pelo desconforto por ele gerado, e pelas leituras de níveis de ruído executadas nas salas de aula. Verifica-se que o CEFET-

PR está localizado em local de intenso ruído urbano. As salas analisadas situam-se no bloco de engenharia, que tem suas faces voltadas para avenidas de grande tráfego. Em função disso os autores realizaram medições dos níveis de ruído externo dentro dos ambientes, nos horários de pico do dia, que avaliaram o desempenho acústico da edificação na situação com maior intensidade de ruído externo. O horário de maior intensidade de ruído, das dezoito às dezenove horas durante os dias úteis da semana, foi determinado por meio de observações do fluxo de veículos das vias externas à edificação. As medições foram realizadas nas salas de aula do primeiro pavimento do bloco sem a presença de alunos, pois se pretendia avaliar apenas o ruído externo presente no pavimento com intensidade de ruído. Foram, assim, consideradas duas situações nas salas para leitura de medidas: (1) com todas as janelas abertas, para se obter o nível real de ruído externo; (2) com todas as janelas fechadas, para verificar a redução de ruído proporcionado pelas esquadrias e vidros existentes. Para a avaliação das salas de aula, foram determinados 5 (cinco) pontos de medição, um ponto central e os outros em cada extremo da sala, obtendo-se assim uma avaliação do ambiente por completo. Esta metodologia foi aplicada em todas as salas, seguindo as especificações da norma NBR 10151 (ABNT, 1987).

Nas salas de aula, alunos e professores precisam de altos níveis de concentração. A sala de aula é o local onde os estudantes passam mais tempo ouvindo, do que falando, lendo ou escrevendo (LORO, 2003). Hagen et al. (2002) comentam 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. Condições acústicas desfavoráveis tornam o aprendizado e o ensino desnecessariamente exaustivos.

O papel dos arquitetos, engenheiros, técnicos e projetistas é muito importante no desenvolvimento das cidades e também na adequação do edifício à dinâmica das transformações contemporâneas. No caso de escolas estes profissionais devem considerar que o ambiente, 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.

Eniza e Garevilla (2003) mencionam uma pesquisa desenvolvida em duas

escolas da rede privada do Distrito Federal, onde os Níveis de Pressão Sonora (NPS) nas salas de aulas variavam de 81,8 a 84,7 dB(A), mostrando como os ambientes são inadequados para a finalidade a que se destinam. Os autores consideram que os altos índices medidos são preocupantes.

Segundo Melo (2004), uma das principais causas do problema é a falta de planejamento arquitetônico das salas. Estudar o projeto, levando-se em consideração o fator acústico evita que os gastos sejam maiores no futuro, considerando que corresponde a 1% do valor total da obra o custo econômico para se resolver de modo preventivo os problemas de acústica em uma sala de aula antes de ser projetada, comparando com um percentual de 15% do valor quando a intervenção para correção acústica se dá após a edificação.

Dreossi e Santos (2005) apresentam um estudo que busca demonstrar as inúmeras variáveis que podem interferir na percepção da fala dentro de uma sala de aula e conseqüentemente, o aprendizado dos alunos em uma escola. Ferreira Neto e Bertoli (2008) apresentam estudo sobre o conforto acústico entre unidades habitacionais em edifícios residenciais de São Paulo, Brasil. De uma forma ou de outra, o conforto acústico tem sido cada vez mais exigido por proprietários ou usuários de edificações. Talvez a maioria da população não saiba como avaliar esse conforto, mas a sua ausência está cada vez mais perceptível e, por isso, a exigência de morar ou trabalhar em ambientes acusticamente confortáveis está se tornando cada vez mais freqüente.

Durante o projeto da edificação normalmente as questões de conforto ficam em segundo plano. Muitas vezes, somente depois do edifício pronto e entregue, é que esse item passa a ser mencionado e geralmente, pelo usuário. Porém, depois de prontas as edificações, estudos realizados, concluiu ser mais difícil, dispendioso ou impossível de se realizar as devidas adequações para atingir as condições mínimas de conforto respeitando as exigências normativas. Normalmente as pessoas focam as dezenas de itens de lazer que as construtoras oferecem em um único condomínio. Muitas vezes, o conforto acústico só é lembrado quando, ao se mudar para esse espaço, os moradores passam a escutar, por exemplo, a conversação dos vizinhos do lado ou o impacto do vizinho de cima, excesso de ruído das vias próximas ao prédio, isto é, quando o ruído começa a atrapalhar seu sossego.

Os países com o clima mais frio, de certa forma, são privilegiados com a questão do isolamento acústico, porque, devido às baixas temperaturas, os ambientes necessitam de fechamento com bom isolamento térmico, favorecendo deste modo também o

isolamento acústico. Observa-se, também nesses países, que como as noites são mais longas no inverno, a exigência dos moradores quanto ao isolamento acústico é maior, o que se reflete nos valores dos níveis de ruído de fundo são também menores. Já em países como o Brasil, onde o clima é quente e úmido, em grande parte do território, a adequação térmica muitas vezes exige que as janelas se mantenham abertas, o que dificulta a obtenção de alto valor de isolamento acústico.

Na atualidade buscam-se alternativas de projeto eficientes energeticamente. Em locais de climas quentes e úmidos, a ventilação natural é uma das estratégias de projeto; inseridos nesta visão, os elementos vazados agem como componentes arquitetônicos que proporcionam permanente ventilação natural, proteção solar e iluminação natural, além de facilidade de fabricação. Apesar do uso secular dos elementos vazados, são raras as pesquisas com vistas a determinar seu uso ambiental. Uma alternativa é o uso de elementos que permitam a passagem da ventilação, controle a insolação e a iluminação e que parcialmente bloqueiem o ruído para se conseguir um bom resultado.

Araújo e Bistafa (2009) apresentam um trabalho que trata da análise das variáveis envolvidas no estudo do desenvolvimento do desempenho acústico de elementos vazados, assim como o estudo geométrico e suas justificativas, procurando equilibrar variáveis acústicas dos materiais, como absorção e isolamento, e a questão da promoção da ventilação e iluminação natural. Os resultados do estudo e ensaios realizados revelaram o quão susceptível é a passagem de ruído em áreas abertas, e quanto mais fechado maior o isolamento acústico, porém menor é a iluminação e a ventilação.

1.3- Objetivo

O objetivo fundamental deste trabalho consiste na avaliação do comportamento acústico das salas de aulas e laboratórios do prédio onde funciona o Curso de Medicina da Universidade Federal de Ouro Preto, localizado no Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, analisando a influência da tipologia da estrutura metálica empregada e dos elementos de fechamento utilizados na qualidade do conforto acústico.

1.4- Justificativa

Em relação à acústica numa sala de aula, o tempo de reverberação e o ruído externo e/ou interno em excesso interferem na comunicação prejudicando a inteligibilidade do que é falado e, portanto, comprometendo a aprendizagem. Em consequência de um desconforto acústico ocorre também a elevação da intensidade da voz do professor e dos alunos, impondo desta forma, um esforço adicional por parte de quem ouve e de quem fala, gerando até mesmo um *stress* para o professor como também para o aluno.

Quando duas pessoas conversam próximas uma da outra, a influência da qualidade acústica do ambiente na comunicação é pequena, pois cada uma recebe o som direto de seu interlocutor. No entanto, quando um professor está falando para uma classe, a situação é diferente, o ruído do ambiente aliado às condições acústicas inadequadas torna a comunicação mais difícil.

Em muitas salas de aula nos Estados Unidos, a inteligibilidade da fala é de 75% ou menos. Isto significa que em testes de inteligibilidade da fala, ouvintes com audição normal podem ouvir apenas 75% das palavras lidas de uma lista (SEEP et al., 2002). Desse modo esta avaliação como outras séries estudadas e publicadas mostra claramente a necessidade de um ambiente com boa qualidade de conforto acústico para ouvir e aprender.

Veloso, Moura e Souza (2010) desenvolveram um trabalho com o intuito de avaliar o desempenho do edifício onde funciona o Curso de Graduação de Medicina, da Universidade Federal de Ouro Preto-MG, considerando sua função específica de ambiente de ensino e de aprendizagem. O trabalho desenvolvido teve foco no conforto e na experiência vivenciada do ambiente físico pelos usuários: docentes, técnicos administrativos e discentes. Dos resultados obtidos pela avaliação exploratória o quesito ruído, tanto externo quanto interno, foi percebido pelos três segmentos de usuários (alunos, professores, e técnicos administrativos), como muito prejudicial para as atividades em sala de aula (Figura 1.1 e 1.2).

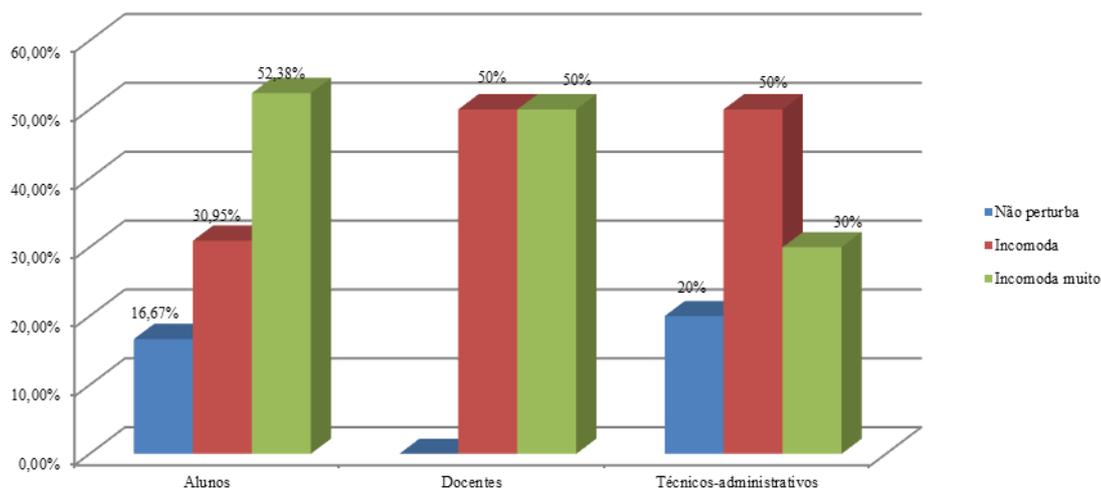


Figura 1.1 – Sensação em relação ao ruído externo.

Fonte: VELOSO, MOURA, SOUZA, 2010.

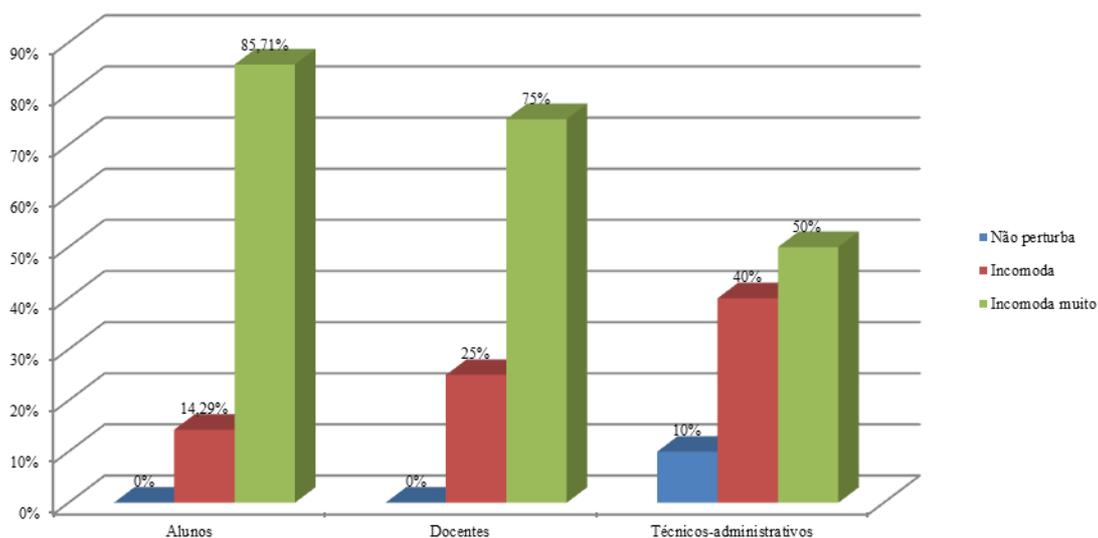


Figura 1.2 – Sensação em relação ao ruído interno.

Fonte: VELOSO, MOURA, SOUZA, 2010.

Dada a natureza das patologias mais frequentes, apontados na avaliação dos três segmentos (Figura 1.3), tem-se que os mesmos não poderão ser tomados apenas como portadores de maior atenção em projetos futuros, mas, como fatores que precisam de uma atenção diferenciada na manutenção e conservação da atual edificação.

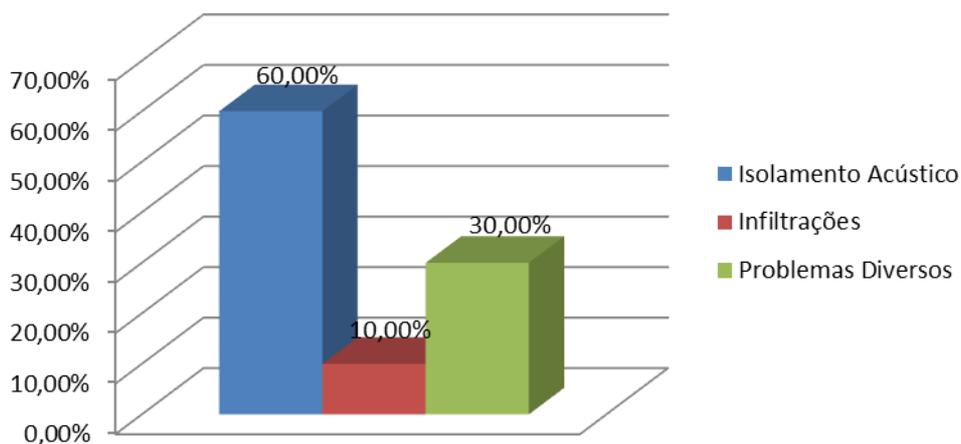


Figura 1.3 – Patologias mais identificadas.

Fonte: VELOSO, MOURA, SOUZA, 2010.

Espera-se ainda que os resultados obtidos pelo presente trabalho possam contribuir na elaboração de novos projetos e dimensionamentos de prédios de salas de aula e laboratórios mais adequados e eficientes, nos Campi da UFOP e em outras edificações de ensino.

1.5– Metodologia

A metodologia utilizada no desenvolvimento do presente trabalho engloba duas etapas. Uma primeira etapa constituída da aplicação de um questionário para os alunos, usuários do prédio, com questões elaboradas com objetivo de avaliar as condições físicas do prédio e a qualidade na sua utilização. Uma segunda etapa constituída por medições com equipamentos específicos para avaliação do nível de pressão sonora (NPS) *in loco*, buscando mapear todo o prédio.

1.6– Escopo do Trabalho

Os capítulos que compõem este trabalho estão dispostos de maneira a esclarecer aspectos relativos ao comportamento acústico das salas de aulas e laboratórios do prédio do curso de medicina da Universidade Federal de Ouro Preto, localizado no Campus Morro do Cruzeiro.

No capítulo 1 apresenta-se as informações preliminares, o objetivo e um resumo

do trabalho.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica, cujo objetivo é mostrar os diversos trabalhos já desenvolvidos sobre o assunto de acústica, assim como esclarecer alguns conceitos básicos que serão utilizados no desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 3 descreve-se a metodologia realizada na avaliação acústica das salas de aula e laboratórios do prédio do curso de medicina da UFOP, assim como os equipamentos utilizados para realizar as medições.

No capítulo 4 apresenta-se os resultados referentes às medições obtidas pelos equipamentos e em seguida uma discussão sobre os resultados. Ainda neste capítulo, é definida a sala de aula a sofrer interferência mínima necessária, explicando-se qual o tipo de interferência e ainda apresentar os resultados das medições posteriores à intervenção.

No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais e conclusões do trabalho e relacionadas algumas sugestões para o prosseguimento dos estudos relativos ao conforto acústico de salas de aulas e laboratórios.

Ao final, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

FUNDAMENTAÇÃO: AVALIAÇÃO SONORA, DESEMPENHO ACÚSTICO E NORMALIZAÇÃO

2.1 – Fundamentos de Avaliação Sonora

A variação da pressão ou da velocidade das moléculas em um meio compressível, resultando em uma transmissão de energia, gera o som. Este pode ser representado por uma série de compressões e rarefações do meio no qual se propaga. Cada rarefação e compressão juntas formam a onda acústica e a taxa de ocorrência da onda é a frequência (f), que é dada em ciclos por segundo ou Hertz (Hz). Na faixa de frequências entre 20 e 20.000 Hz, as ondas de pressão no meio podem ser audíveis (GERGES, 1992; BIES, HANSEN, 2003).

Ruído ou barulho é o som desagradável ao ouvido humano. Geralmente o som pode ser agradável ou irritante para determinadas pessoas, o que faz do som um fator subjetivo e dependente do contexto. Gerges (1991) afirma que som e ruído são o mesmo fenômeno físico, porém não são sinônimos. Um ruído é apenas um tipo de som, mas um som não é necessariamente um ruído. Sob o ponto de vista psico-acústico, o ruído seria uma sensação desagradável desencadeada pela recepção da energia acústica.

A qualidade do som em um recinto está diretamente relacionada ao conforto de seus usuários. O tempo de reverberação e a perda na transmissão sonora das paredes são parâmetros que podem indicar essa qualidade.

O controle do Nível de Ruído de Fundo e do Tempo de Reverberação depende de uma variedade de fatores entre os quais se destacam a localização da sala de aula, da construção do prédio e a escolha dos materiais (RAMAN, 2002).

2.1.1- Tempo de Reverberação

O som gerado de uma fonte viaja através do ar por ondas concêntricas, sendo que parte deste sinal chega a um ouvinte sem qualquer reflexão, denominado de som direto. É o primeiro som percebido pelo ouvinte, pois viaja diretamente da fonte ao ouvinte pelo caminho mais curto (HARRIS, 1994). Esse som é então seguido por reflexões das paredes, teto, piso e objetos dentro da sala (Figura 2.1).

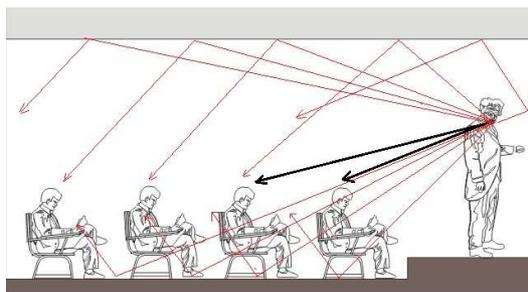


Figura 2.1– Comportamento do som dentro de uma sala.

Em geral, as ondas refletidas chegam em uma sucessão tão rápida que não são ouvidas como repetições distintas do som original. Isto ocorre pelo fato do ouvido humano não conseguir distinguir dois sons se estiver espaçados em um intervalo de tempo aproximadamente de 0,06s. Como resultado, uma série de reflexões é ouvida como um prolongamento original. Esse prolongamento, após a interrupção do sinal gerado pela fonte, denomina-se reverberação. O tempo de reverberação (TR) refere-se ao intervalo de tempo, em segundos, requerido para que a intensidade do som reduza em 60 dB após ser cessada a fonte de emissão (HARRIS, 1994). Wallace C. Sabine (1868-1919), Físico Norte Americano, instado a tentar resolver os problemas de acústica de um grande anfiteatro da Universidade de Harvard, em Cambridge, EUA, estudou várias salas, realizando diversos ensaios, formulando o conceito de reverberação e concebendo uma relação simples entre o tempo de decaimento de uma sala como função de seu volume e sua absorção (TENENBAUM, 2000). Este físico criou um dos principais e antigos índices objetivos de qualidade sonora, o Tempo de Reverberação, que marca o início da acústica arquitetônica. Diferentemente dos outros índices, o tempo de reverberação tende a ser uniforme na sala, isto é, o seu valor independe da posição do

ouvinte. É o tempo necessário para que a curva de decaimento energético caia 60 dB (BISTAFA, 2003).

Em outras palavras, o tempo de reverberação refere-se ao atraso do som refletido em relação ao som direto, podendo enriquecer ou prejudicar a inteligibilidade quando chega com um atraso muito grande, por isso é um dos índices mais utilizados para determinar a qualidade acústica de um ambiente. O tempo de reverberação está associado à qualidade acústica de uma sala (HAGEN et al., 2002). Este parâmetro é fortemente dependente do volume da sala, frequência sonora e absorção sonora total da sala, (CARVALHO, 1967; HARRIS, 1994; BRUEL; KJAER, 2003), Figura 2.2.

Em ambientes fechados, existem dois campos sonoros: da fonte e o refletido. Estes campos chegando juntos reforçam o som, chegando separados, em pequeno intervalo, atrapalham o entendimento, caracterizando a reverberação. O tempo de reverberação é o tempo necessário para que a densidade média da energia contida num volume dado caia a 10^{-16} (W/cm^2) do seu valor inicial, isto é, de 60 dB, a partir do instante em que a fonte de excitação for extinta. Se 60 dB equivalem a 10^{-10} W/cm^2 mais a queda de 10^{-6} W/cm^2 , tem-se $10^{-10}+10^{-6}=10^{-16}$ $\text{W}/\text{cm}^2=60$ dB. Qualquer som produzido em um ambiente fechado persiste, sempre, nos nossos ouvidos devido às múltiplas reflexões produzidas nas suas paredes e superfícies internas. Quando mais rijas e polidas forem estas superfícies, maior será a persistência sonora de tempo de reverberação local.

2.1.2 - Absorção sonora

A absorção sonora é uma característica inerente a cada material e representa sua capacidade de absorver a energia sonora, ocorrendo em graus variados. É determinada por meio de seu coeficiente de absorção sonora, α_i (adimensional) e caracteriza seu desempenho acústico. O coeficiente de absorção sonora é dado pela razão entre a energia sonora absorvida (W_a) e a energia sonora incidente (W_i),

$$\alpha_i = \frac{W_a}{W_i} \quad (2.1)$$

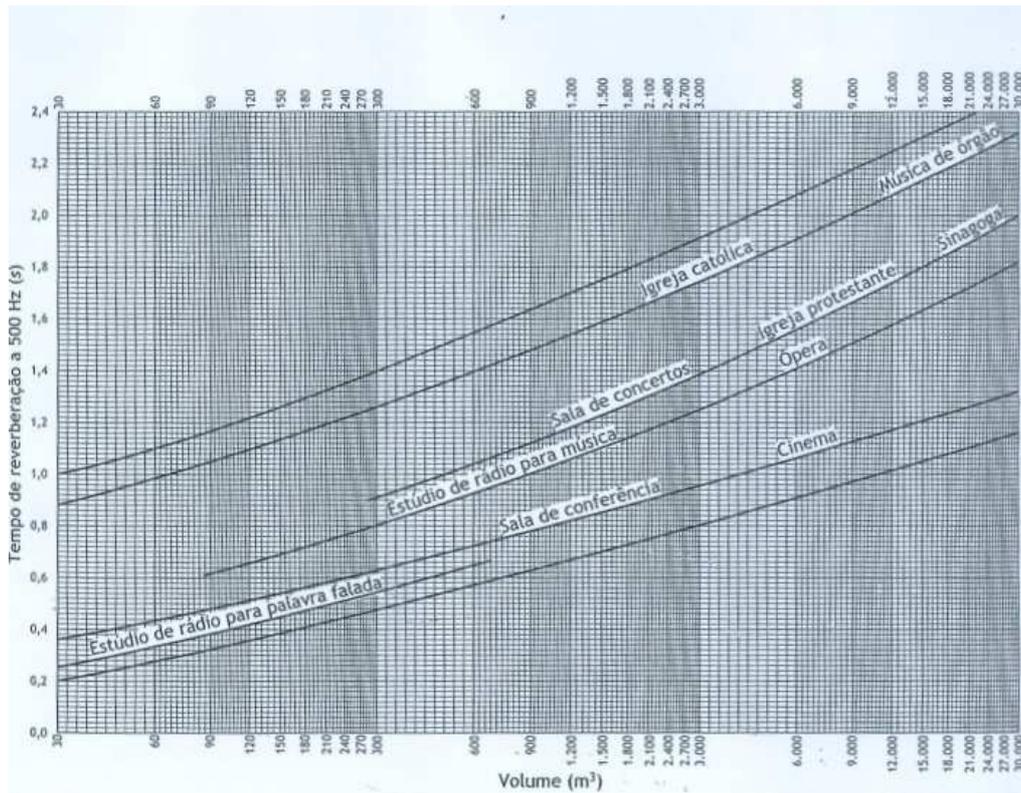


Figura 2.2– Curvas de tempo de reverberação.

Fonte: NBR 12179 (ABNT, 1992)

O valor de α_i varia entre 0 e 1 (um absorvedor ideal possui $\alpha_i=1$) e depende principalmente da frequência, que pode ser tomada em bandas de oitava ou terços de oitava, do ângulo de incidência do som, do tipo de campo sonoro (difuso, ondas planas, etc.), assim como da massa específica, espessura e estrutura interna do material. A representação de α variando com a frequência forma a curva de absorção sonora do material.

O controle do ruído pode ser feito atuando-se diretamente na fonte emissora e, quando isso não é possível, um recurso alternativo é a utilização de materiais de absorção sonora para o revestimento interno de paredes e dutos. Esses materiais devem ser permeáveis ao fluxo de ar e podem ser porosos ou fibrosos. Em materiais porosos a energia acústica incidente entra pelos poros e é dissipada devido às reflexões e atrito viscoso, transformando-se em energia térmica que é dispersa por convecção natural. Nos materiais fibrosos a energia acústica penetra nos interstícios das fibras, fazendo com que elas vibrem com o ar, sendo dissipadas após transformar-se em energia térmica por atrito entre as fibras excitadas (GERGES, 1992).

Pode-se escolher a espessura (l) do material de absorção em função da componente mais baixa da frequência do ruído, de modo a se conter o primeiro comprimento de onda, em que a velocidade da partida é máxima (GERGES, 1992),

$$l \geq \frac{c}{2f} \quad (\text{m}) \quad (2.2)$$

sendo l a espessura do material de absorção (m); c a velocidade de propagação da onda sonora no ar, dada por 343 m/s e f a componente mais baixa da frequência do ruído (Hz).

Para valores muito baixos de frequências, obtêm-se valores de l elevados e impraticáveis. Para se obter valores mais práticos de l , recomenda-se afastar o material da parede de uma distância d em torno de um quarto de comprimento de onda,

$$l = d = \frac{c}{4f} \quad (\text{m}) \quad (2.3)$$

onde d é uma distância em torno de um quarto de comprimento de onda (m).

A frequência, a espessura e a massa específica dos materiais absorvedores influenciam no valor do coeficiente de absorção, que tende a aumentar nas baixas frequências para materiais mais espessos e densos. O conhecimento do coeficiente de absorção sonora é necessário para a determinação da área de absorção equivalente do fechamento, ocupantes, objetos e ar no interior de um recinto. Essa área de absorção é item preponderante no cálculo do tempo de reverberação do som no ambiente fechado.

Existem muitas fórmulas para o cálculo, conforme apresentadas nos estudos realizados por Bistafa e Bradley (2000), Neubauer (2001) e Bradley (2002). No entanto, a mais difundida é a fórmula de Wallace Clement Sabine, Professor de Física da Universidade de Harvard, que desenvolveu a primeira fórmula para o tempo de reverberação, dada por:

$$TR = \frac{0,163V}{A}, \quad (\text{s}) \quad (2.4)$$

onde TR é o tempo de reverberação (s), V é o volume do compartimento em estudo (m³).

Dentre as expressões propostas para o cálculo da área de absorção equivalente do fechamento no interior de um recinto (A_f^{fech}), encontram-se a Equação de Sabine para o cálculo da área de absorção equivalente do fechamento no interior de um ambiente fechado é dada por:

$$A_f^{fech} = S \cdot \alpha_f^{-sab} = \sum_i^{fech} (S_i \cdot \alpha_{i,f}^{sab}) \quad (\text{m}^2 \text{Sabine}) \quad (2.5)$$

onde $S \equiv \sum_i S_i$ é a soma das áreas das superfícies internas do recinto (m²); S_i é a área

da superfície interna i do recinto; $S \cdot \alpha_f^{-sab} \equiv \frac{\sum_i^{fech} (S_i \cdot \alpha_{i,f}^{sab})}{S}$ é a média dos coeficientes de absorção de Sabine das várias superfícies na frequência f ; α_f^{-sab} é o coeficiente de absorção de Sabine da superfície i na frequência f .

A equação de Sabine significa que a cada vez que a onda sonora encontra o fechamento do recinto, uma fração da energia é absorvida (α_f^{sab}) e uma fração é refletida ($1 - \alpha_f^{sab}$). Mesmo parecendo simples, há limitações para a aplicação dessa equação e uma delas é quando, para o cálculo do tempo de reverberação, tem-se α_f^{sab} maior que a unidade para materiais muito absorvedores, mostrando que o material absorve mais energia do que a energia incidente (CITHERLET, 2001).

Assim, a equação de Sabine não deve ser aplicada para o cálculo do tempo de reverberação para fechamentos com materiais altamente absorvedores. Quando se considera um material que absorve perfeitamente o som, com α_f^{sab} tendendo à unidade, não há som refletido e o tempo de reverberação (T_f) tende a zero.

2.1.3– Perda na Transmissão Sonora

A energia sonora incidente na parede de um recinto depende da potência sonora da fonte e da absorção sonora total da sala. Dessa energia incidente (E_i), uma parcela é

refletida (E_r), outra parcela é absorvida (E_a) pela parede, dependendo do coeficiente de absorção do material constituinte. Da energia absorvida, parte transforma-se em forma de calor e o restante propaga-se para o outro lado irradiando energia acústica para a sala adjacente (E_t). Assim ocorre uma atenuação do som que chega ao outro lado com uma intensidade sonora menor do que a original e também com um espectro sonoro diferente, uma vez que ocorre atenuação das altas frequências principalmente (SALES, 2001). Na figura 2.3 mostra-se um esquema de reflexão, absorção e transmissão de som numa parede simples.

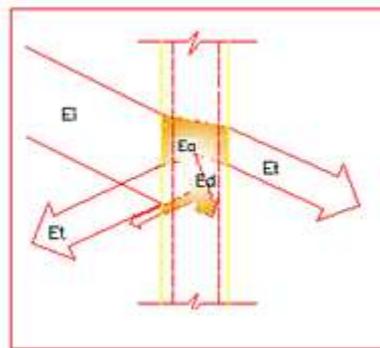


Figura 2.3 – Reflexão, Absorção e Transmissão.
Fonte: DE MARCO, 1990

A perda na transmissão sonora (TL) é a efetividade de uma barreira em prevenir a passagem de som de um ambiente a outro. Ela é medida em decibéis (dB), da mesma forma que a amplitude. Para determinar a perda na transmissão sonora, mede-se o nível sonoro na sala da fonte emissora, bem como da fonte receptora, assim como a reverberação.

Para se avaliar a capacidade de isolamento sonoro de fechamentos é necessário, então, o estudo teórico da transmissão sonora através de partições simples (Figura 2.4). Uma parede apresenta diferentes comportamentos, de acordo com suas características de massa, rigidez e amortecimento. O comportamento da parede será de ressonância e a quantidade de energia transmitida dependerá exclusivamente do amortecimento do componente. Nas frequências em torno do dobro da frequência de ressonância, inicia-se a chamada Lei da Massa.

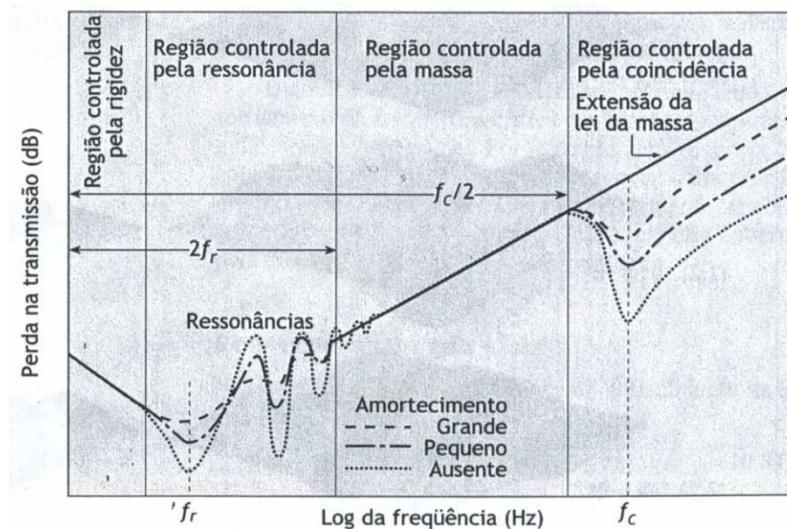


Figura 2.4 – Curva típica de perda na transmissão sonora, onde f_r é a frequência de ressonância e f_c é a frequência crítica do painel
 Fonte: BISTAFA, 2006

Dentro dessa região, controlada pela massa, a perda na transmissão cresce numa razão de 6dB por oitava, ou seja, com o dobro da frequência, até o limite superior determinado pela frequência crítica, onde ocorre uma acentuada queda na perda de transmissão (REYNOLDS, 1981). Para cada uma dessas regiões de frequência existem diferentes equações para descrever o comportamento da transmissão sonora (GERGES, 1992; BIES; HANSEN, 2003; BISTAFA, 2006). Conceitualmente, a perda na transmissão relaciona logarithmicamente as potências sonoras incidente (W_i) e transmitida (W_t), sendo expressa por:

$$PT = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \text{ dB} \quad (2.6)$$

Considerando-se a relação entre potências sonoras incidentes e transmitida, a expressão da perda de transmissão pode ser descrita matematicamente por:

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \text{ dB} \quad (2.7)$$

A transmissão tem comportamento distinto para diferentes regiões de frequência.

2.2 – Desempenho Acústico

Todo som desagradável aos ouvidos humanos é denominado de ruído, o qual se torna um problema quando interfere nas atividades humanas. Essa interferência depende do tipo de atividade que está sendo exercida e a reação das pessoas frente ao ruído depende de fatores tais como audibilidade, tonalidade, características espectrais, hora de ocorrência, duração, dentre outros. É mais fácil implementar estratégias de controle de ruído em novos prédios, no caso de construções, do que em prédios existentes (BIES, HANSEN, 2003). Dessa forma, métodos de avaliação de ruídos, associados a critérios de aceitabilidade que refletem o grau de incômodo e interferência com as atividades humanas, vêm sendo desenvolvidos, considerando fatores físicos e comportamentais que sejam significativos para situações específicas. Esse procedimento torna a avaliação de ruído objetiva permitindo classificações e comparações que formam a base de normas e legislações. Avaliar problemas de ruído é complexo devido a sua natureza ser bastante variável (BISTAFA, 2006).

Quando se reduz o ruído de uma edificação em níveis aceitáveis, obtém-se o conforto dos usuários. A partir do estabelecimento dos valores de referência determina-se ou não a necessidade da redução do ruído, no intuito de proporcionar a um ambiente um isolamento sonoro adequado à atividade ali desenvolvida. O conforto alcançado com este isolamento evita ruídos aéreos vindos do exterior, entre ambientes, além de ruídos causados por impacto e equipamentos.

A transmissão de ruídos pode ocorrer tanto pela passagem direta pela parede ou painel, quanto pela passagem indireta via flanqueamento (pilares, lajes e/ou paredes confluentes e via aérea), ou pode ocorrer por meio de elementos ou componentes que integram a parede ou painel, tais como janelas, aberturas, portas, dutos, eletrodutos, tubos, entre forros e entre pisos (IPT, 1998).

A norma NBR 15575 (ABNT, 2008) sugere alguns procedimentos de ensaios de parâmetros para a avaliação do desempenho acústico, recomendados pela série de normas internacionais ISO 140, partes 1 a 14 (1997). Conforme a norma o nível de desempenho acústico deve ser compatível com o nível de ruído do local de implantação da construção, observando os limites de estímulos sonoros externos, ou, os níveis de critérios de avaliação (NCA), especificados na norma NBR 10151 (ABNT, 1992). Deve

atender ainda aos limites especificados pela norma NBR 10152 (ABNT, 1992), quanto aos níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em seus ambientes internos, conforme mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Níveis de ruído para conforto acústico em ambientes internos, em dB(A)

Locais	dB(A)
Escolas	
Bibliotecas, salas de música, salas de desenho	35 - 45
Salas de aula, laboratórios	40 - 50
Circulação	45 - 55
Residências	
Dormitórios	35 - 45
Salas de estar	40 - 50

Fonte: NBR 10152(ABNT, 1992)

Quanto à isolamento acústica entre ambientes, os sistemas de pisos, fechamentos verticais e coberturas da edificação devem atender aos requisitos apresentados na norma NBR 15575(ABNT, 2008). Os sistemas de fechamento, seus materiais, componentes e elementos, devem proporcionar isolamento acústico entre unidades distintas e entre recintos de uma mesma unidade, quando destinadas ao trabalho intelectual, assegurando conforto acústico, em termos de níveis de ruído de fundo transmitido via aérea e estrutural, e privacidade acústica, em termos de não inteligibilidade da fala. Os ruídos contínuos e variáveis, causados por impacto e vibrações de equipamentos, também devem atender aos requisitos e critérios apresentados por essa mesma norma.

2.3 – Normas acústicas e legislação

Os níveis excessivos de ruído, principalmente proveniente do tráfego veicular, estão incluídos entre os sujeitos ao controle da poluição ambiental. A normalização geral e o estabelecimento de padrões para o meio ambiente equilibrado são feitos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Estados e municípios podem complementar essas normas, com leis específicas e estabelecendo novos padrões. Isso diz respeito não só ao nível de pressão sonora considerado suportável em uma vizinhança, mas à obrigatoriedade de construtoras usarem técnicas de isolamento acústico em novas edificações (CARNEIRO, 2001).

As legislações ambientais brasileiras, nos níveis federal, estadual e municipal, vêm enfatizando, nas últimas décadas, a necessidade da conservação do meio ambiente e, conseqüentemente, a melhora da qualidade de vida da população, ao estabelecerem normas, leis e regulamentações que buscam controlar as intervenções humanas (NAGEM, 2004). Para o conforto acústico das edificações é muito importante na fase de projeto que os profissionais da área realizem uma pesquisa sobre as exigências das legislações e normas vigentes, como zoneamento, planos de desenvolvimento urbano da região, níveis de pressão sonora aceitáveis, além de um levantamento local.

No Brasil, a maioria das normas existentes, relacionadas à acústica, se refere à poluição sonora, ao ruído ambiental. Quanto à qualidade acústica de recintos fechados, normas e legislações não abrangem muitos parâmetros. As duas normas de maior interesse para avaliação sonora são as normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas, a norma NBR 10151 (ABNT, 2000) que trata da avaliação do nível de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade e a norma NBR 10152 (ABNT, 1987) que trata dos níveis de ruído para o conforto acústico e estabelecem níveis aceitáveis de ruído em comunidades e em ambientes fechados, respectivamente. Em particular, a norma NBR 10152 (ABNT, 1987) fixa as condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído ambiente num determinado recinto de uma edificação, especificando os níveis máximos de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos.

Outra norma importante é a norma NBR 12179 (ABNT, 1992) que se refere ao tratamento acústico em recintos fechados e fixa critérios fundamentais para execução de tratamentos acústicos. Esta norma fornece tabelas com valores de isolamento acústico e coeficientes de absorção de diversos materiais, além de um gráfico com o tempo ótimo de reverberação para diversos usos (Figura 2.2). Existem normas mais técnicas que prescrevem métodos de medição, como a norma NBR 1187 (ABNT, 1988), que trata da avaliação de projetos e instalações de salas de projeção cinematográfica, onde no item 7.3 desta norma, refere-se à análise do tempo de reverberação. Outra norma importante é a norma NBR 15575 (ABNT, 2008) que se refere ao desempenho de edificações habitacionais até 05 pavimentos e tem como foco principal a funcionalidade da construção, principalmente em relação ao conforto acústico, abordando aspectos que faltam nas normas NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 1987).

MÉTODO

3.1 – Metodologia adotada

O desenvolvimento do trabalho abrange, inicialmente, uma avaliação exploratória por meio de visitas nas salas de aula e nos laboratórios da edificação e entrevistas com os usuários discentes e medições dos níveis de pressão sonora *in loco*, interna e externamente, por um período de seis meses.

As medições internas foram realizadas em diferentes salas buscando-se mapear o ruído interno e o nível de interferência do ambiente externo, principalmente na fachada frontal oeste devido a existência da rua dois, como mostrado na planta de implantação do prédio (Figura 3.6).

3.2 – Estudo de Caso: O Prédio do Curso de Medicina- UFOP

Para desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o prédio de salas de aulas, secretarias, salas de professores e laboratórios onde funciona o curso de medicina da Universidade Federal de Ouro Preto, localizado no Campus do Morro do Cruzeiro em Ouro Preto, MG (Figura 3.1).

A edificação é composta por dois blocos interligados por uma passarela e tem partido retangular com dois andares, ocupando uma área de, aproximadamente, 2.724 m² em cada pavimento (Figura 3.2). Trata-se de um prédio projetado e construído em estrutura metálica, sendo constituído de pilares em perfil tubular de aço sem costura VMB 300 e vigas de perfil laminado aço A 572 grau 50 (Figura 3.3). A cobertura é constituída de uma estrutura em perfil conformado a frio tipo “C” e telha trapezoidal metálica dupla com preenchimento de lã de rocha. Os exaustores destinados ao sistema

de filtragem de ar do laboratório de anatomia se encontram instalados na parte central do prédio ao longo de uma laje calha. (Figura 3.4).

O fechamento externo é em bloco de concreto 0,15 m de espessura e esquadrias em alumínio com vidro comum de 4 mm de espessura. O prédio possui dois corredores internos, um no nível inferior e outro no nível superior. Ao longo dos corredores existem várias aberturas no piso até a laje calha na cobertura (Figura 3.5).



(a) Fachada frontal oeste



(b) Fachada Lateral sul



(c) Fachada frontal oeste

Figura 3.1 – Vista externa da edificação.

As divisórias internas são constituídas de diferentes materiais, em geral entre salas o sistema de divisória é constituído de bloco de concreto e tijolo cerâmico, como nos demais prédios existentes no campus. Nos laboratórios e secretarias as divisórias são constituídas de painéis em *drywall* espessura de 10 cm e eucatex com miolo tipo colmeia de papelão. As portas das salas são do tipo prancheta, espessura 3 cm e núcleo tipo colmeia de papelão, visor em vidro liso transparente de espessura 3 mm. Todas as

salas possuem um quadro de veneziana ventilada em alumínio, nas dimensões 2,50 m x 0,50 m. O primeiro bloco dispõe de salas de aula, laboratórios, biblioteca, gabinetes de professores, administração, cantina e áreas comuns; o segundo, com salas de aula, auditório e banheiros masculino e feminino que atendem aos dois blocos (Figura 3.6 a 3.9).



Figura 3.2 – Passarela de ligação dos blocos.



(a) Vista da fachada lateral sul em construção



(b) Vista da fachada lateral norte em construção

Figura 3.3 – Estrutura metálica do prédio com a laje calha ao centro.



(a)



(b)

Figura 3.4 – Vista dos exaustores.



(a)



(b)

Figura 3.5 – Vista do corredor interno (a) primeiro e (b) segundo pavimentos.

A planta de implantação, planta baixa do primeiro e segundo pavimentos do prédio em estudo é apresentada nas figuras 3.6, 3.7 e 3.8.

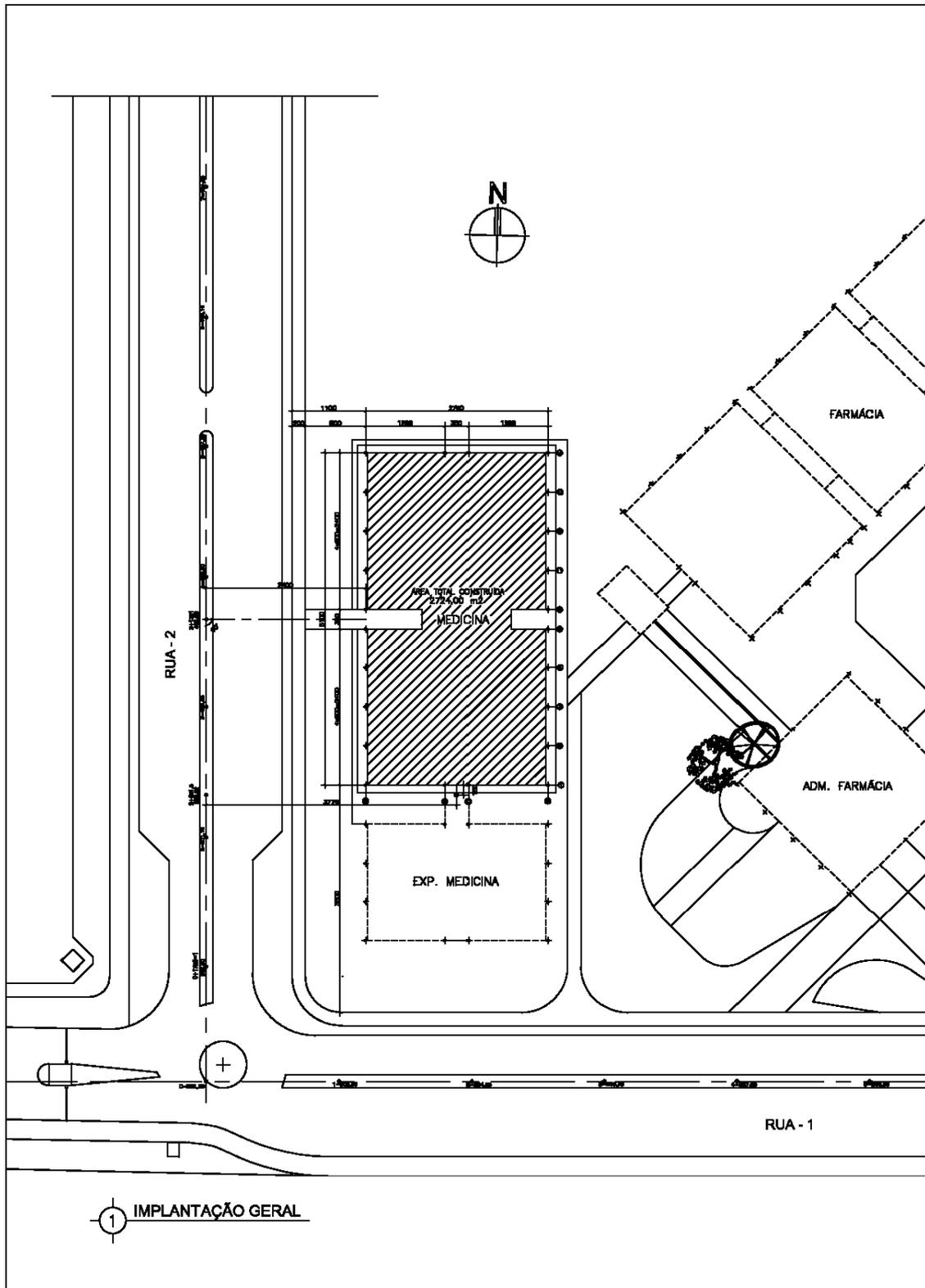
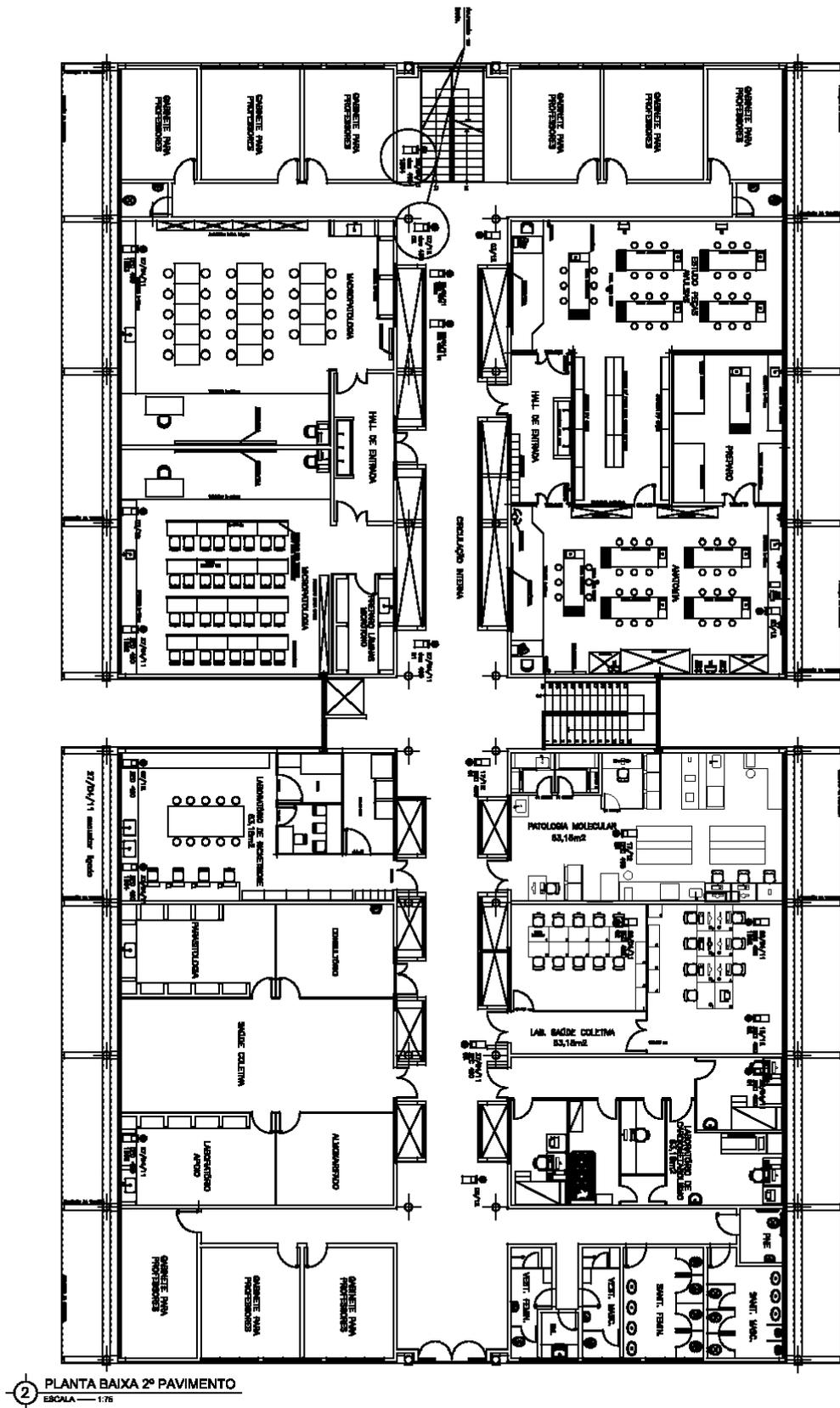
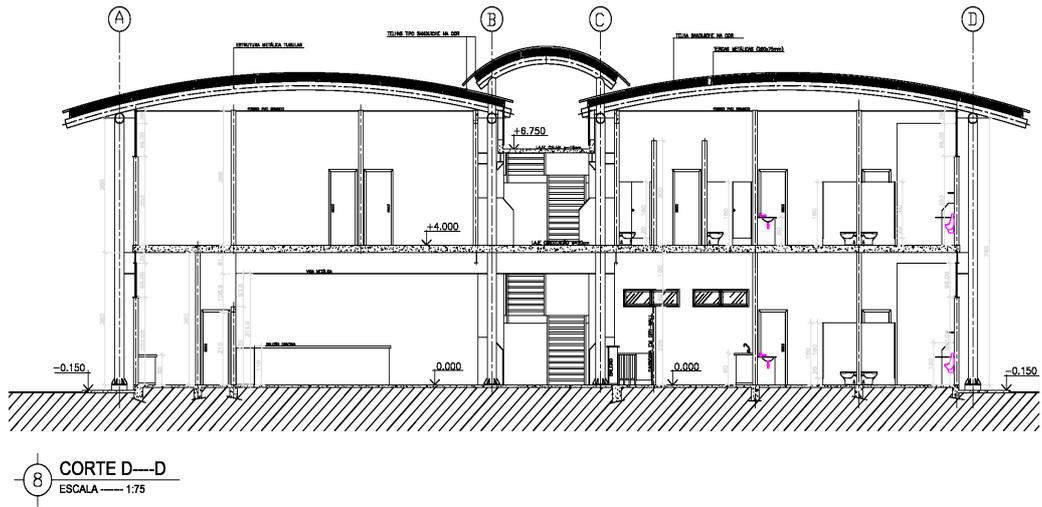


Figura 3.6 – Planta de implantação do prédio.

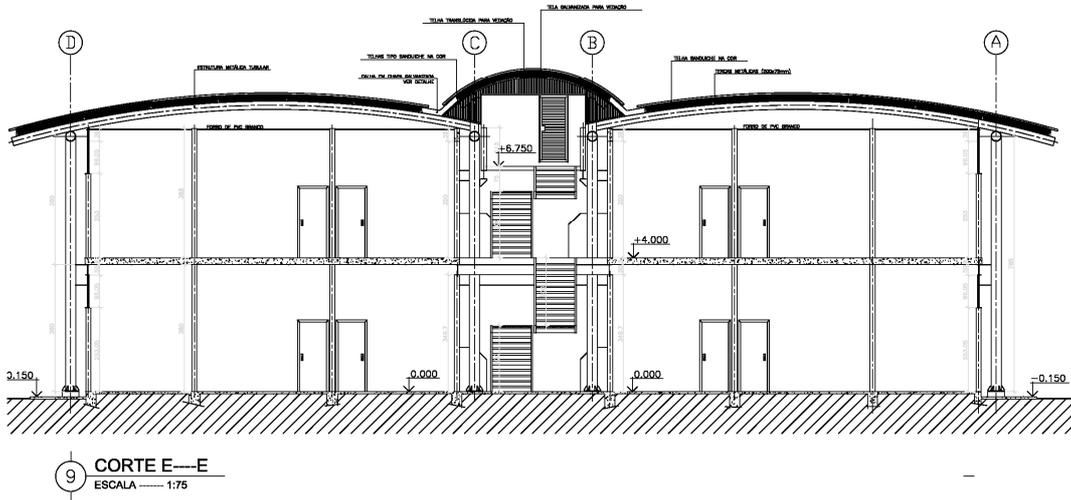


2 PLANTA BAIXA 2º PAVIMENTO
 ESCALA — 1:75

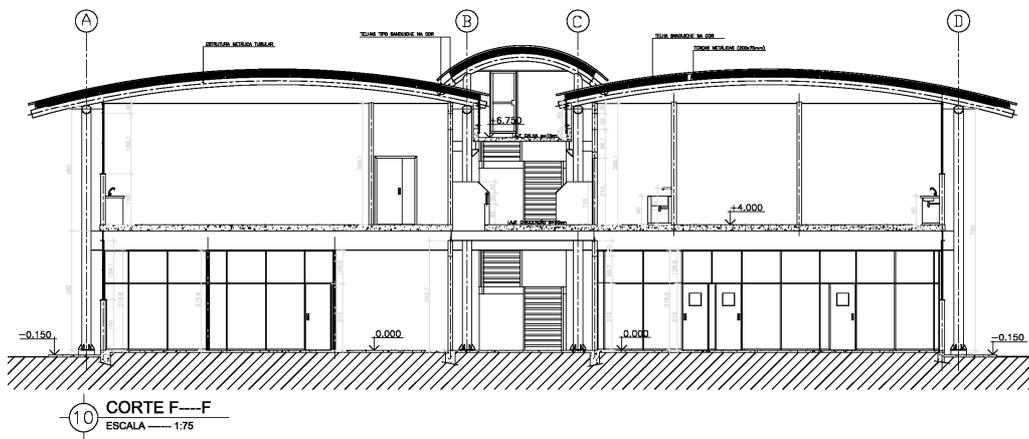
Figura 3.8 – Planta baixa do segundo pavimento.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.9 – Cortes transversais do prédio do curso de medicina.

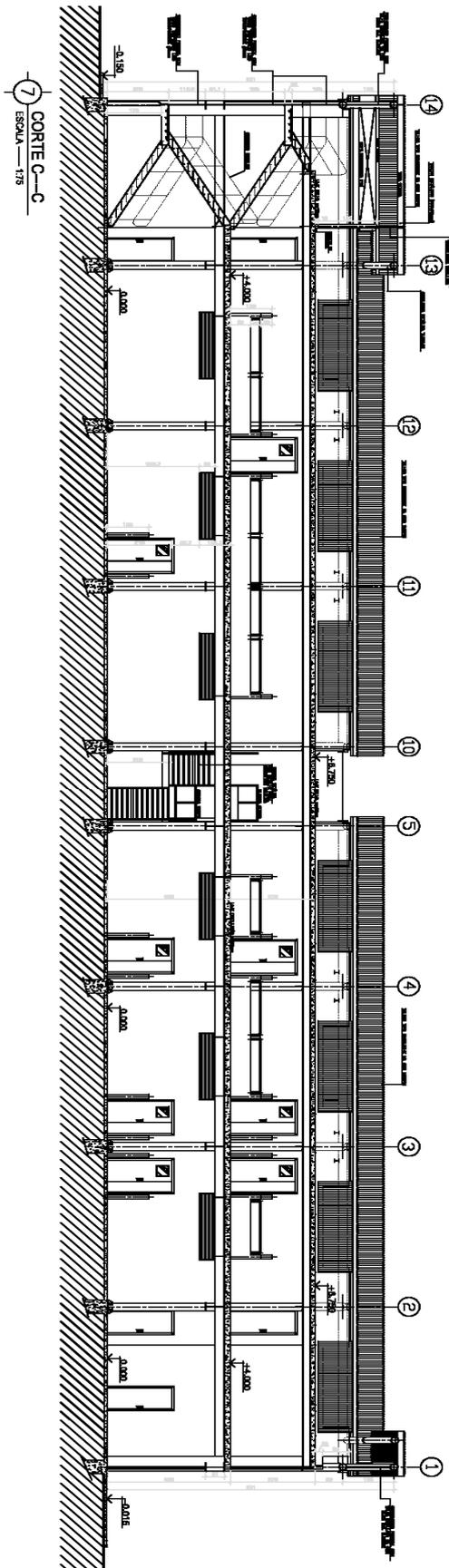


Figura 3.10 – Corte longitudinal do prédio do curso de medicina.

3.3 – Avaliação Pós-Ocupação

No estudo da interação pessoa-ambiente Günther (2008) considera a entrevista um procedimento de pesquisa de grande valia quando se tem o propósito de compreender a interação pessoa-ambiente. No caso da pesquisa ora relatada, utilizou-se a entrevista estruturada, instrumento que se caracteriza pelo uso de questões fechadas, por meio de questionários, tendo-se como idéia central controlar o estímulo apresentado a todos os sujeitos com o objetivo de comparar sua validade.

Como todo instrumento de pesquisa, a entrevista estruturada sob a forma de um questionário, apresenta possibilidades e limitações. Possibilidades, sob o ponto de vista da facilidade de codificação, da produção mais rápida de material para análise, de seu menor custo em termos de tempo de execução do levantamento de dados e informações; limitações, quando se constata que sua objetividade pode limitar posicionamentos do respondente, por exemplo. Daí, a opção dos pesquisadores de abrir as questões por meio de solicitação de justificativa e/ou esclarecimento sobre respostas emitidas pelos respondentes (VELOSO, MOURA, SOUZA, 2010).

Esta etapa de investigação constou de uma ida a campo para realização de entrevistas estruturadas sob a forma de questionários. Buscou-se conhecer o edifício, tendo-se como recorte a dimensão de aspectos mínimos de sua funcionalidade com base nas percepções vivenciadas e experimentadas por estes usuários. O questionário proposto (ANEXO A) englobou três fatores: condições físico-funcionais, ambientais e acústicas da edificação, com ênfase para a infraestrutura física, na sua articulação com as atividades que cada usuário já vivenciou nestas dependências. Teve-se como foco central avaliar a edificação em relação ao seu desempenho acústico.

Os fatores selecionados como aspectos mínimos de funcionalidade são relevantes em relação à função do edifício, pois, interferem, facilitando ou dificultando, os processos de ensino e de aprendizagem. Com base nas percepções já vivenciadas e experimentadas pelo usuário procurou-se também conhecer as condições gerais, específicas e os aspectos mínimos de funcionalidade da edificação.

3.3.1 - Caracterização da amostra

A aplicação da entrevista estruturada sob a forma de questionário, nesta etapa do estudo, atingiu uma amostra de 85usuários, correspondente aos alunos dos 3^o e 5^o períodos do curso de medicina, de um total de 125 alunos do período diurno.

Do total de alunos questionados, 49,4 % frequentam aulas na edificação há um ano e meio (Figura 3.11), uma minoria, 2,4 % ali estudam há apenas três meses e o restante já utilizam a edificação por um período de 6 meses a um ano. Este período de tempo é, aqui, considerado satisfatório para se ter condições de participar da avaliação desenvolvida. Em relação ao tempo de permanência diária na edificação, 56,5 % permanecem na escola, em média, até 8 horas por dia, contra, apenas 5,9 %, que permanecem até 4 horas diárias (Figura 3.12). Estes dados iniciais, no seu conjunto, permitem reconhecer que estes usuários têm o perfil de quem vivencia o ambiente por um período de tempo que lhes permite avaliar o ambiente construído.

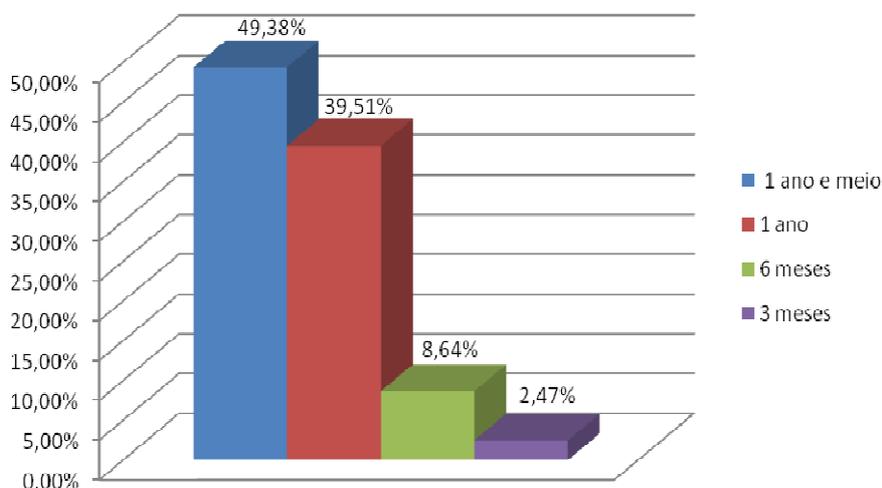


Figura 3.11 – Tempo de uso da edificação.

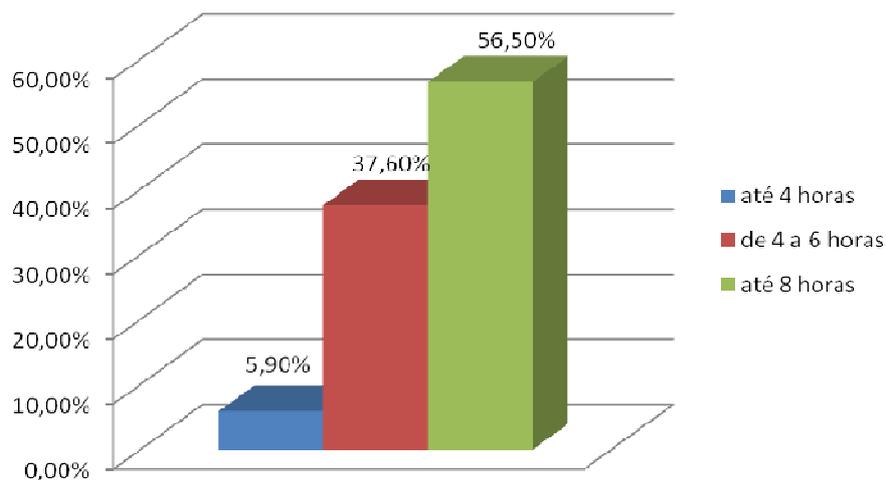


Figura 3.12– Média diária de permanência no prédio.

3.4 – Medições do nível sonoro in loco

A avaliação do nível de ruído dos ambientes internos do prédio foi realizada por meio da instalação de medidores do nível de ruído (Figura 3.13), instalados no corredor interno, salas de aula, laboratórios e área externa, com coleta simultânea dos dados.

As medições foram realizadas de acordo com as normas internacionais, como sendo tipo 1, que é destinado para operações em campo externo e/ou laboratórios com precisão de +/- 0,41 dB. A metodologia aplicada para avaliação dos ambientes internos segue as especificações da norma NBR 10151 (ABNT, 2000) e a norma NBR10252 (ABNT, 1992). Nas Figuras 3.7 e 3.8 apresenta-se a planta baixa dos dois pavimentos da edificação com a localização dos instrumentos de medição.

3.4.1 – Instrumentação utilizada

Para medir o nível de ruído das salas e laboratórios do prédio foram utilizados 06 (seis) decibelímetros digitais Modelo DEC-490, 01 (um) decibelímetro digital Modelo DEC-5000, calibrados com o calibrador acústico CAL-3000 e 1 (um) medidor sonoro DELTA OHM HD 2010 com certificado de calibração nº: RCB2- 7217-576 realizado pela CALILAB. (Figura 3.13).



(a) Modelo DEC – 5000



(b) Modelo DEC-490



(c) Modelo HD 2010 delta
ohm



(d) DEC-490 e datalogger -2890-9

Figura 3.13 – Instrumentos de medição utilizados.

Nas tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 apresenta-se as características dos instrumentos de medição utilizados.

Tabela 3.1 – Características do decibelímetro modelo DEC - 5000

Decibelímetro modelo DEC – 5000	
Display de cristal líquido (LCD)	4 dígitos
Fabricado conf. norma ANSI S1.4	Tipo 2 e IEC-651
Escala	30 a 130 dB
Precisão	$\pm 1,5$ dB
Resolução	0,1 dB
Microfone de eletreto condensado destacável	
Ponderação	A e C
Resposta	Rápida e lenta
Memória de valor máximo (pico)	
Frequência	31,5 Hz a 8 kHz
Coletor de dados	4048 registros

Tabela 3.2 – Características do decibelímetro modelo DEC - 490

Decibelímetro modelo DEC – 490	
Atualização do Display	2 vezes por segundo
Fabricado conf. norma ANSI S1.4	Tipo 2 e IEC-61672
Escala	30 a 130 dB
Precisão	± 1,5 dB
Resolução	0,1 dB
Microfone capacitivo com 12,5mm de diâmetro removível	
Ponderação	A e C
Resposta	Rápida e lenta
Memória de valor máximo (pico)	
Frequência	31,5 Hz a 8 kHz
Coletor de dados	32600 registros

Tabela 3.3 – Características do decibelímetro HD 2010

Medidor de nível sonoro HD 2010	
Fabricação	Tipo 1 grupo X, IEC 61672:2002 e Tipo 1, IEC 60651:2001 e IEC 60804:2000
Escala	21 dBA ÷ 143 dB Peak
Precisão	± 1,5 dB
Resolução	0,1 dB
Microfones	MK221 Microfone de condensador pré polarizado (200V), alta estabilidade, tipo WS2F, IEC 61094-4.
Ponderação	A, C, Z (somente C e Z para Lpk)
Resposta	Rápida, Lenta, Impulso
Frequência	31,5 Hz a 8 kHz

Para as medições *in loco* foram definidos previamente critérios referenciais de desempenho acústico por meio de valores mínimos aceitáveis pelos usuários, sugeridos pelas normas específicas. Para tanto, coletaram-se os dados dos níveis de ruídos no interior das salas de aula, laboratórios, corredores, em situações adversas em períodos da parte da manhã e parte da tarde.

Após os resultados das medições realizadas no interior e exterior do prédio, nas condições atuais, pode-se avaliar a qualidade do ambiente interno das salas e identificou-se uma sala de aula, com maior impacto acústico. Assim propõe-se um projeto de intervenção para o melhoramento acústico da sala, aplicando-se materiais absorventes e isolantes, com o objetivo de baixar os níveis de ruído a padrões aceitáveis normativos.

3.5 – Etapas da avaliação do desempenho acústico

Para realização de tarefas que requerem concentração, como no caso do processo de aprendizado, os níveis de ruído externos ao objeto de interesse (ruído de fundo) devem ser os mínimos possíveis. A norma NBR 10152 (ABNT, 1992) estabelece os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos. Para escolas, a norma estabelece entre 40 a 50 dB(A) para salas de aula e para bibliotecas entre 35 a 45 dB(A). Níveis superiores aos estabelecidos pela norma são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde, que nesta situação são estudadas em normas específicas.

A avaliação do desempenho acústico nas salas de aula e laboratórios do prédio foi desenvolvida em duas etapas:

- (i) avaliação do conforto acústico da situação atual geral do prédio (janelas abertas e fechadas aleatoriamente), uso normal, com coleta de dados dos níveis de ruído externo e internos dentro dos ambientes, simultaneamente. Nesta etapa de coleta de dados identificou-se a sala de aula 104 (Figura 3.14), como um dos ambientes internos com níveis de pressão sonora equivalentes, fora daquele recomendado pela norma.
- (ii) avaliação dos níveis de ruído no interior da sala 104 após intervenção. Nesta intervenção faz-se: (a) isolamento da abertura (2,55m x 0,50m), localizada na parte superior da parede vizinha ao corredor interno principal, com um painel constituído de uma estrutura de madeira totalmente preenchida por placas de lã de vidro com espessura total de 40 mm (Figura 3.15); (b) colocação de painéis constituídos por placas de lã de vidro com película de acabamento em PVC, com espessura total de 40 mm ao longo de todos os elementos metálicos aparentes (Figura 3.16);

(c) substituição da porta de madeira, de 30 mm de espessura, por uma porta de 40 mm de espessura com núcleo preenchido de lã de vidro (Figura 3.17). Este trabalho foi realizado em junho de 2011, com custo relativamente baixo uma vez que parte do material utilizado foi de reaproveitamento já existente da própria construção do prédio, como por exemplo, as placas de lã de vidro. Nas figuras 3.18 e 3.19 mostra-se a sala de aula 104 após a intervenção.



Figura 3.14– Vista do interior da Sala de Aula 104.



(a) Painéis com lã de vidro +PVC



(b) Colocação dos painéis

Figura 3.16– Painéis de isolamento proposto para as aberturas.



(a) Painéis de lã de vidro + PVC



(b) Colocação dos painéis

Figura 3.17– Painéis de isolamento proposto para os elementos metálicos aparentes.



(a)



(b)

Figura 3.18– Porta com isolamento interno proposta.



Figura 3.18– Vista interior da Sala de Aula 104 após a intervenção.



Figura 3.19 – Vista interior da Sala de Aula 104 após a intervenção.

RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 – Avaliação exploratória com os usuários discentes

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos por meio da percepção de cada usuário discente em relação aos fatores avaliados: condições físico-funcionais, ambientais e acústicas da edificação, na sua articulação com as atividades por ele desenvolvida dentro da edificação, estes dados foram transformados em valores percentuais. Os resultados relativos às condições físico-funcionais estão apresentados no Anexo B.

4.1.1 – O conforto térmico e visual no espaço físico

Em relação à sensação térmica com o ambiente da sala, no momento em que os alunos respondiam o questionário, 37,21% deles sentiam-se confortáveis enquanto 34,88% a sensação térmica de frio (Figura 4.1), embora a maioria deles estivesse usando no momento, roupas de frio (Figura 4.2).

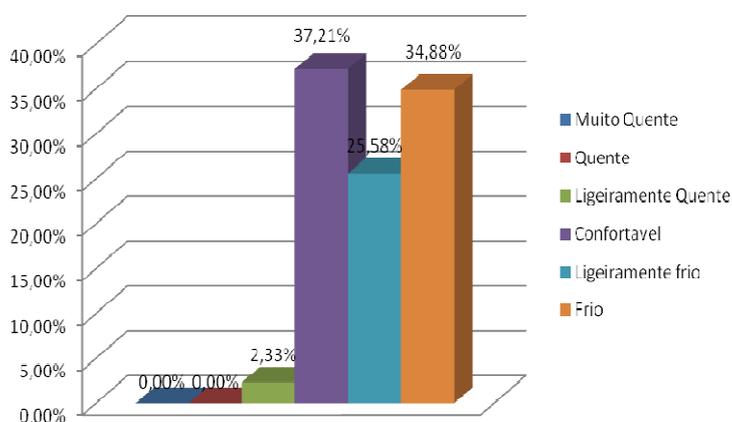


Figura 4.1 – Sensação térmica na sala de aula.

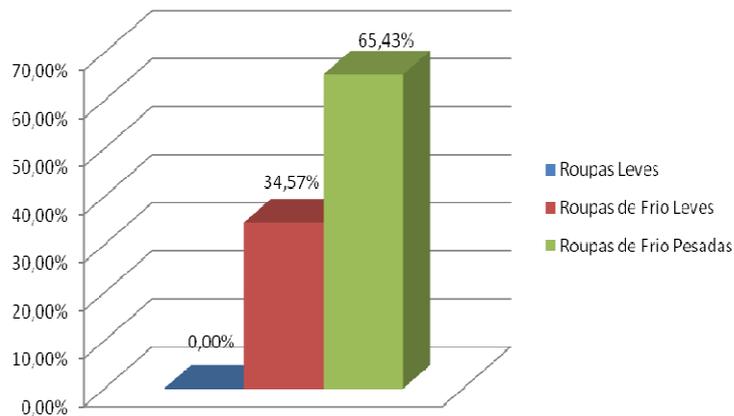


Figura 4.2 – Tipo de roupas utilizadas.

Durante o período da avaliação com os discentes, a temperatura externa média variou entre 14,5^oC à 20,4^oC no período diurno e a temperatura interna média, variou de 20,4^oC à 22,9^oC.

Já com relação à ventilação natural na sala onde se encontravam, uma pequena maioria, 30,56% deles, percebeu o ar um pouco parado (Figura 4.3). Questionados sobre a necessidade da utilização de ventiladores, naquele momento, para melhorar o conforto, 86,05% dos alunos responderam que “sim”, o que mostrou a insatisfação dos mesmos com relação à temperatura do ambiente.

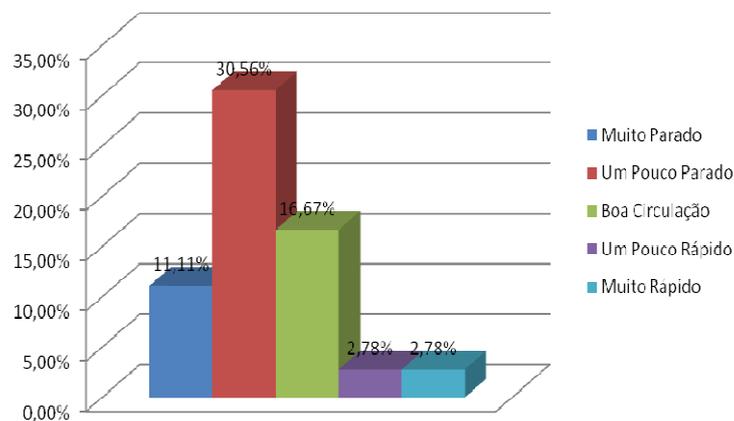


Figura 4.3 – Sensação em relação à ventilação.

Para se desenvolver qualquer atividade em uma sala de aula é de fundamental importância que esta esteja bem iluminada. Em relação à qualidade de iluminação das salas a maioria a define como um índice de iluminação da sala é satisfatório (Figura 4.4). No entanto, com relação à necessidade de iluminação artificial nas salas de aula,

grande maioria dos respondentes, 93,0 % faz uso desta para desenvolver suas atividades nestas dependências.

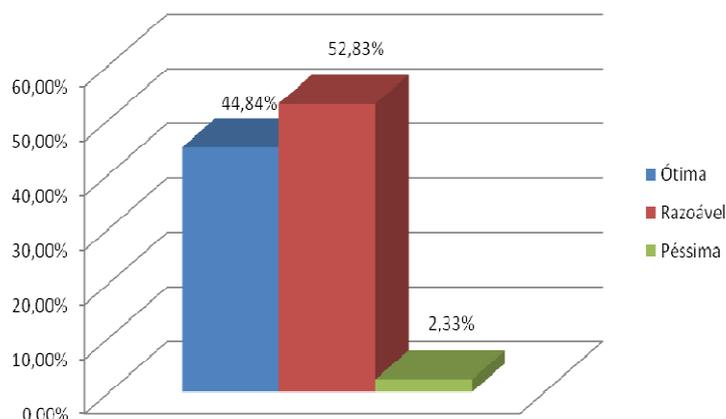


Figura 4.4 – Qualidade da iluminação da sala de aula.

4.1.2 – A acústica do espaço físico

O foco principal deste trabalho se refere à acústica dos ambientes internos do prédio estudado. Desta forma, avaliou-se a experiência do usuário docente em relação ao ruído proveniente do exterior da edificação e também com o ruído interno. Constatou-se, pelos resultados da avaliação (Figuras 4.5 e 4.6) que o ruído, tanto externo quanto interno, prejudica e interfere no desenvolvimento das atividades em sala de aula. Estes resultados só reforçam a necessidade que, em projetos futuros, este aspecto precisa ser aperfeiçoado, tendo em vista a indispensável adequação do espaço físico às necessidades da situação de ensino e aprendizagem.

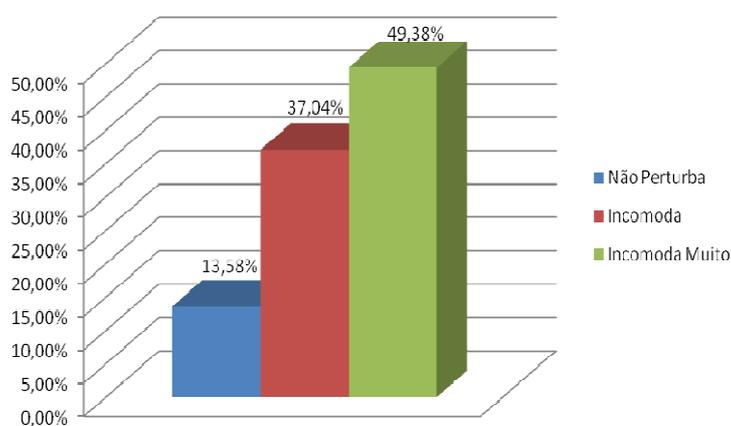


Figura 4.5 – O ruído Externo.

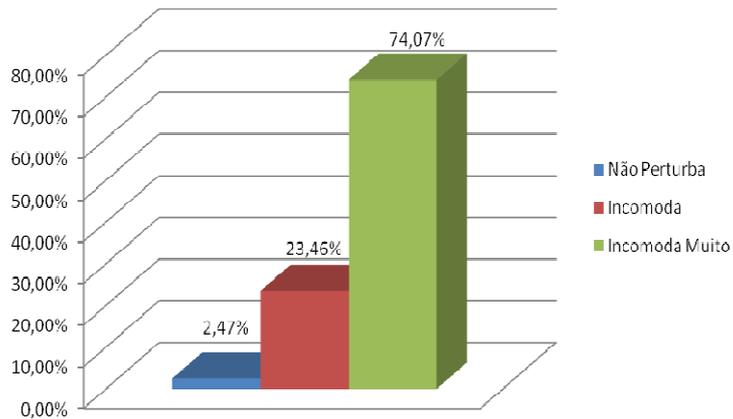


Figura 4.6 – O ruído Interno.

Quando questionados sobre a interferência do som de uma sala para a outra, os alunos usuários apontaram que esta interferência prejudica muito as atividades em sala de aula, como apontam os resultados mostrados na Figura 4.7. Ao analisar os possíveis problemas de saúde, que uma exposição aos ruídos pode causar, a maioria deles afirmou que o “estresse” e a irritabilidade são os problemas mais frequentes neste caso (Figura 4.8).

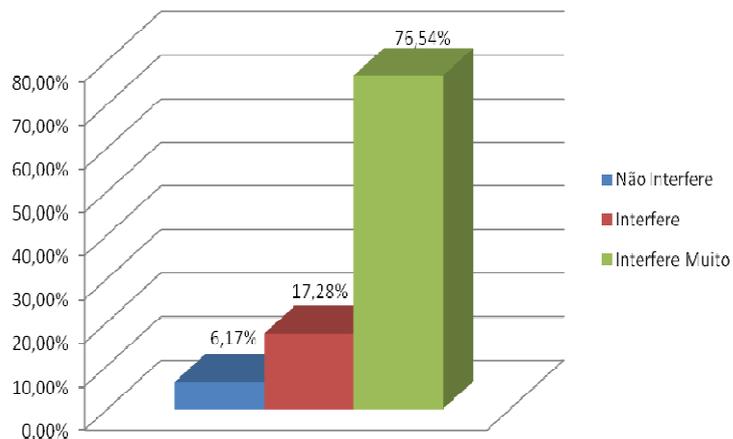


Figura 4.7 – Interferência do ruído de uma sala de aula para outra.

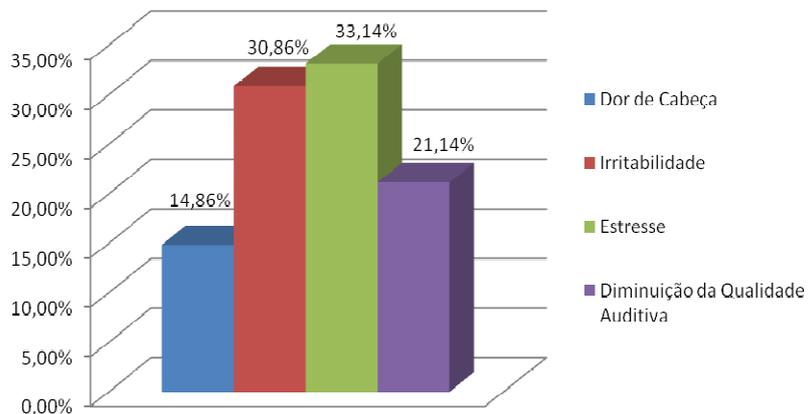


Figura 4.8 – Problemas de saúde gerados pela exposição ao ruído.

No momento da avaliação foi questionado se o ruído, na sala onde se encontravam, estava interferindo nas atividades desenvolvidas, constatou-se que para a maioria deles, o ruído presente naquela sala era prejudicial ao desenvolvimento de suas atividades, como mostrado na Figura 4.9.

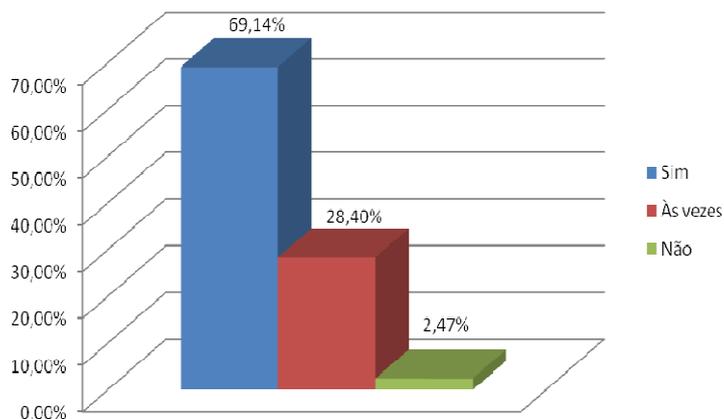


Figura 4.9 – Ruído na sala onde se encontram os alunos no momento que respondem ao questionário.

Pellerin e Candas (2002) apresentam um estudo analisando os efeitos da combinação da temperatura e do ruído no desconforto humano. O trabalho investigou os efeitos combinados de ruído e temperatura, sob a perspectiva dos usuários, homens e mulheres de mesma idade e estatura, em condições térmicas de frio e calor, associadas com intensidade de mais ou menos ruído. Durante o experimento os indivíduos utilizaram vestimenta com resistência térmica de 0,6 clo. Numa temperatura ambiente média de 24,5°C não houve interferência do ambiente térmico na condição acústica. Os resultados mostraram que 33% dos indivíduos se queixaram da temperatura elevada

num ambiente silencioso (35 dBA). No ambiente ruidoso (85 dBA) apenas 9,25% perceberam a temperatura elevada. Este estudo demonstrou que em temperaturas mais elevadas a sensação do desconforto acústico é maior. Os autores concluíram que para cada elevação da temperatura em 1°C, acima de uma temperatura média de 24,5°C, a sensação acústica se eleva em média em torno de 4 dBA.

4.2 – Avaliação experimental in loco

O período de medições *in loco* ocorreu durante o período de 6 meses resultando em 80 medições com os instrumentos instalados em vários pontos da edificação. No entanto, são apresentadas somente 61 medições, eliminando-se aquelas medições repetidas ou de menor impacto neste estudo. Com as medições procurou-se realizar uma varredura de grande parte dos ambientes na edificação (Figuras 3.7 e 3.8). Nas tabelas 4.1 e 4.2 apresentam-se os as medições realizadas, explicitando-se o nível de pressão sonora equivalente em cada medição, no primeiro e segundo pavimentos, respectivamente. Na última coluna de cada tabela destacam-se os valores que estão acima daquele recomendado pela norma NBR 10152 (ABNT, 1992), apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Medições em ambientes do primeiro pavimento

Medição	LOCAL	data	início (h)	final (h)	NPS _{min}	NPS _{max}	NPS _{eq}
1	corredor ao lado da sala 104 (pav. 1)	2/12/10	9:21:38	13:08:30	56,20	99,50	66,82
2	sala de computação (pav. 01)	6/12/10	9:46:21	15:58:27	59,70	88,00	65,86
3	sala de aula (pav. 1)	6/12/10	10:56:00	14:10:48	39,30	81,00	52,80
4	sala de aula (pav 1)	6/12/10	10:55:23	16:17:37	39,3	81,1	52,9
5	sala de computação (pav. 1)	6/12/10	9:45:38	15:59:10	59,7	88	65,85
6	cantina (pav. 1)	9/12/10	10:22:35	16:46:47	43,60	84,90	71,35
7	enfermaria (pav 1)	9/12/10	15:09:06	17:58:39	37,40	87,40	45,66
8	laboratório de praticas medicas (pav.1)	10/12/10	12:01:15	16:45:05	32,50	63,50	37,60
9	escada nível (pav. 1)	10/12/10	12:05:09	17:05:02	54,60	83,40	60,80
10	sala UTI (pav. 1)	10/12/10	11:52:55	17:04:07	32,50	63,50	37,46
11	corredor ao lado da secretaria (pav. 1)	13/12/10	13:47:32	18:45:28	35,00	73,60	48,68
12	secretaria (pav. 1)	13/12/10	13:51:39	18:45:44	38,40	81,60	47,44
13	biblioteca (pav. 1)	3/3/11	13:17:40	17:57:19	47,40	86,20	54,79
14	passeio ext. próximo a entrada lateral (pav. 1)	3/3/11	15:17:03	17:57:38	47,40	86,20	55,03
15	sala de reuniões de professores (pav. 1)	3/3/11	15:13:49	17:56:33	45,20	76,80	50,69
16	sala 104 (pav. 1)	14/3/11	11:38:27	14:43:22	43,20	107,30	55,97
17	sala 106 (pav. 1)	14/3/11	10:43:33	14:43:45	38,10	78,30	47,84
18	passeio externo em frente da enfermaria (pav.1)	25/4/11	12:06:08	16:29:39	39,40	82,70	50,89
19	enfermaria (pav. 1)	25/4/11	10:54:26	17:04:45	40,30	87,40	49,79
20	sala de reunião (pav.1)	25/4/11	10:56:19	17:03:13	37,10	81,80	49,16
21	sala 104 (pav. 1)	25/4/11	10:47:38	17:07:50	45,20	108,40	53,31
22	sala de computação (pav. 1)	26/4/11	10:49:48	17:56:04	44,70	74,00	52,95
23	biblioteca (pav. 1)	26/4/11	10:46:03	17:56:21	42,70	76,20	51,68

24	biblioteca (pav. 1)	26/4/11	10:46:30	17:56:53	44,70	74,20	52,94
25	corredor ao lado da biblioteca (pav. 1)	26/4/11	11:51:36	18:54:44	42,90	104,80	62,92
26	sala de aula 107 (pav. 1)	26/4/11	10:56:36	17:52:50	45,50	80,40	52,49
27	secretaria chefia (pav. 1)	26/4/11	10:55:30	18:04:41	35,80	104,60	46,23
28	corredor em frente a sala 106 (pav. 1)	20/5/11	8:51:24	16:35:12	58,50	81,60	63,71
29	corredor ao lado da sala 104 (pav. 1)	20/5/11	8:50:59	16:32:19	56,90	92,10	65,47
30	sala 106 (pav. 1)	20/5/11	8:46:00	15:12:01	47,20	87,40	60,16
31	sala 104 (pav. 1)	20/5/11	8:56:34	16:39:20	47,40	94,10	61,67
32	sala de aula 104 (pav. 1)	20/5/11	8:58:47	16:38:13	47,40	92,70	64,05
33	sala de aula (pav. 1)	14/6/11	13:49:16	17:28:22	40,80	89,00	50,50
34	sala 106 (pav. 1)	14/6/11	13:45:07	17:30:28	43,40	79,90	54,52
35	sala 106 (pav. 1)	14/6/11	13:42:20	17:20:47	43,30	81,00	55,30
36	corredor ao lado da sala 106 (pav. 1)	14/6/11	13:46:01	17:27:46	60,80	83,70	64,30
37	sala de aula 104 (pav. 1)	14/6/11	13:49:16	17:28:48	40,80	89,10	50,50
38	corredor (pav. 1)	22/6/11	16:31:44	17:07:35	56,80	84,30	59,79
39	sala 104 vazia (pav. 1)	22/6/11	16:29:38	17:09:30	35,10	52,60	37,54
40	sala de aula 104 (pav. 1)	22/6/11	16:29:29	17:09:35	35,10	52,60	37,59
41	corredor ao lado da sala 104 (pav. 1)	22/6/11	16:31:31	17:07:35	56,80	84,30	59,79
42	sala 104 (pav. 1)	4/7/11	9:10:30	11:43:35	35,20	83,30	46,93
43	sala de aula 104 (pav. 1)	4/7/11	9:10:30	11:43:52	35,20	83,30	46,91
44	sala de aula 104 (pav. 1)	4/7/11	9:11:05	11:42:42	35,20	83,30	46,94
45	corredor ao lado da sala 104 (pav. 1)	20/7/11	17:21:42	18:08:20	49,90	69,40	53,80

Tabela 4.2 – Medições em ambientes do segundo pavimento

Medição	AMBIENTE	data	início (h)	final (h)	NPS _{min}	NPS _{max}	NPS _{eq}
1	Cobertura	13/12/10	18:46:49	18:59:50	71,30	76,10	72,88
2	corredor (pav. 2)	13/12/10	18:57:00	18:59:41	71,30	76,10	72,84
3	corredor ao lado da escada (pav. 2)	17/12/10	13:59:28	17:03:35	61,00	80,30	62,68
4	sala 207 - laboratório Rickettsiose (pav. 2)	7/12/10	10:27:58	16:42:08	52,80	80,70	57,75
5	laboratório de patologia (pav. 2)	17/12/10	14:01:14	17:03:11	60,60	80,30	62,66
6	laboratório Patologia Molecular (pav. 2)	17/12/10	14:00:53	17:04:36	60,9	80,3	62,65
7	sala saúde coletiva (pav. 2)	18/12/10	13:56:21	17:03:18	43,90	62,60	46,59
8	corredor (pav. 2) em frente a sala Macropatologia	27/4/11	11:27:49	16:27:42	62,00	107,90	69,21
9	laboratório de apoio (pav. 2)	27/4/11	11:54:10	16:30:00	49,50	77,70	53,96
10	laboratório de Micrppatologia (pav. 2)	27/4/11	11:40:31	16:28:22	53,80	83,70	57,70
11	laboratório de Macropatologia (pav. 2)	27/4/11	10:47:20	17:56:53	44,70	74,00	52,95
12	corredor em frente ao lab. Macropatologia (pav. 2)	27/4/11	11:26:06	16:27:08	62,00	107,90	69,20
13	corredor em frente ao lab. Micropatologia (pav. 2)	27/4/11	11:42:51	16:25:37	62,50	86,60	68,74
14	laboratório de RICKETSIOSE (pav. 2)	27/4/11	11:46:56	16:32:14	57,40	76,00	59,41
15	laboratório de Cardiometabolismo (pav. 2)	28/4/11	14:01:11	17:43:53	42,00	82,30	50,94
16	laboratório saúde coletiva (pav. 2)	28/4/11	13:57:51	17:43:06	48,10	73,80	52,94

Analisando-se os resultados obtidos constata-se que os problemas de conforto acústico são evidenciados em praticamente todas as salas. De um modo geral observa-se que o prédio apresenta problema de ruído interno, salvo algumas salas cujas divisórias são constituídas Drywall, ou seja, sistema de montagem construtiva que consiste de uma

estrutura metálica em perfis conformado a frio galvanizados, com duas placas de gesso aparafusadas de ambos os lados e ainda com núcleo preenchido de lã de vidro com espessura em média de 10 cm. Estas salas apresentaram um resultado de Nível de pressão sonora dentro dos parâmetros normativos.

Neste estudo para viabilizar uma análise das condições sonoras das salas de aula do prédio do curso de medicina optou-se pelas salas de aula (104 e 106) para um estudo mais detalhado. Na Figura 4.10 mostra-se a localização dos medidores nas salas 104 e 106, localizadas no primeiro pavimento.

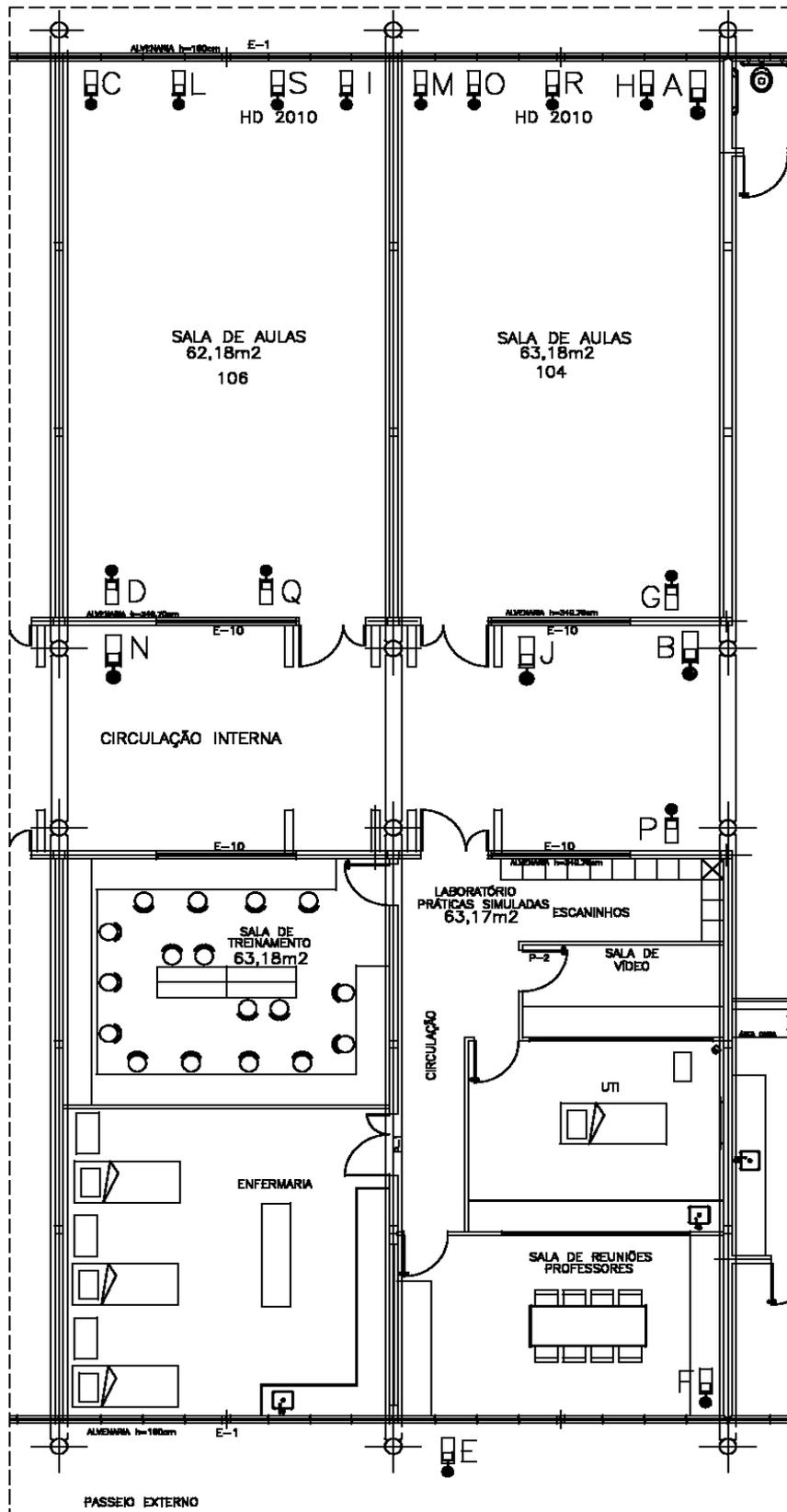


Figura 4.10–Mapeamento dos instrumentos na área das salas 104 e 106.

Na Figura 4.11 mostra-se o histograma da medição realizada na sala 104 em 25/04/2011 com o aparelho instalado no ponto A (Figura 4.10). No período de medição o nível de pressão sonora variou de 65,2dBA (valor inicial) a 54,9dBA (valor final). O nível de pressão sonora equivalente neste período foi de 53,31 dBA, valor acima do recomendado pela norma NBR 10152 (ABNT, 2000), que é de 40 a 50dBA.

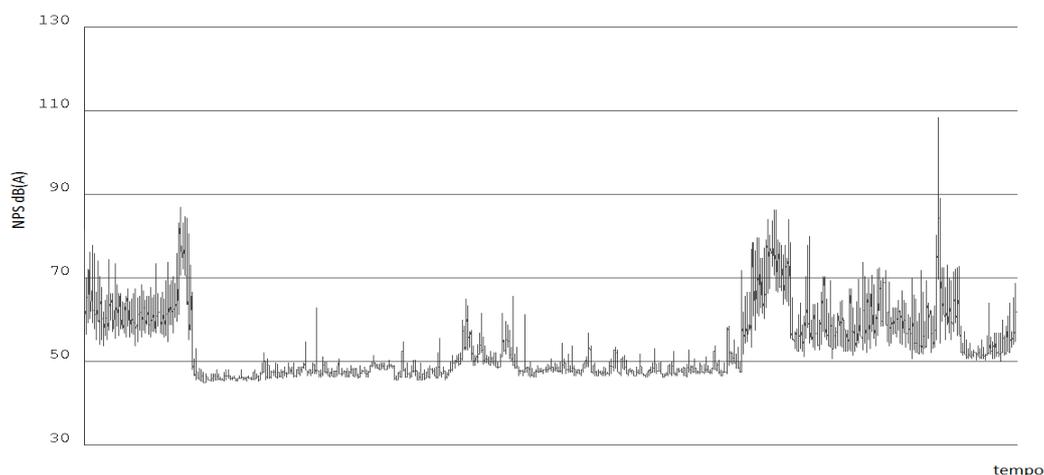


Figura 4.11 - Medição realizada na sala 104 (ponto A – Figura 4.10) em 25/04/2011 no intervalo entre 10:47:38 h às 17:07:50 h.

Foram também realizadas medições no corredor em frente à sala 104 (Figura 4.12), com o instrumento direcionado para o corredor, afastado de 1,0 m da parede da sala (ponto B - Figura 4.10). Observa-se que o nível de pressão sonora equivalente foi de 62,33dBA, valor 16,9% maior em relação ao valor medido dentro da sala 104. Este valor também está acima do valor permitido pela NBR 10152 (ABNT, 2000), que estabelece valores entre 45 a 55 dBA, para corredores.

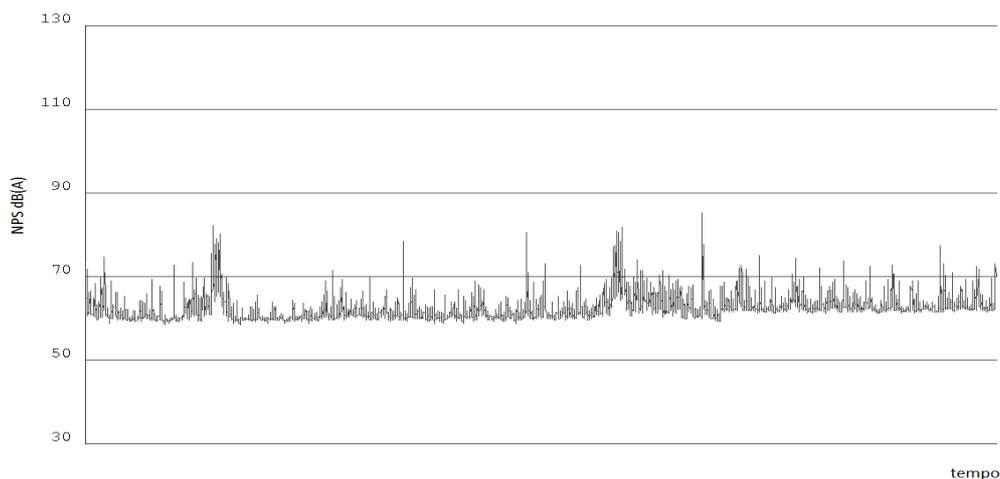


Figura 4.12 - Medição realizada no corredor em frente à sala 104 (ponto B - Figura 4.10) em 25/04/2011.

Medições foram também realizadas na sala 106, localizada ao lado da sala 104, com os aparelhos colocados nos pontos C e D ambos dentro da sala 106, sendo um instrumento instalado ao fundo da sala voltado, para frente, e um na entrada da sala, voltado para o fundo (Figura 4.10). Nas figuras 4.13 e 4.14 mostra-se os histogramas das medições realizadas nos pontos C e D, respectivamente. Observa-se pelos resultados mostrados uma diferença muito pequena no nível de pressão sonora no interior da sala e com um valor aceitável comparado aos valores normativos.

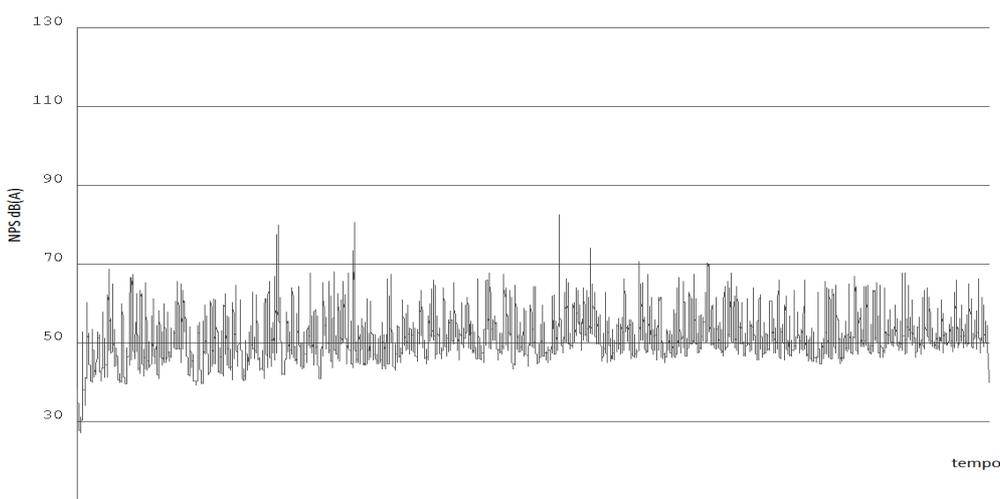


Figura 4.13 - Medição realizada na sala 106 (ponto C - Figura 4.10) em 25/04/2011.

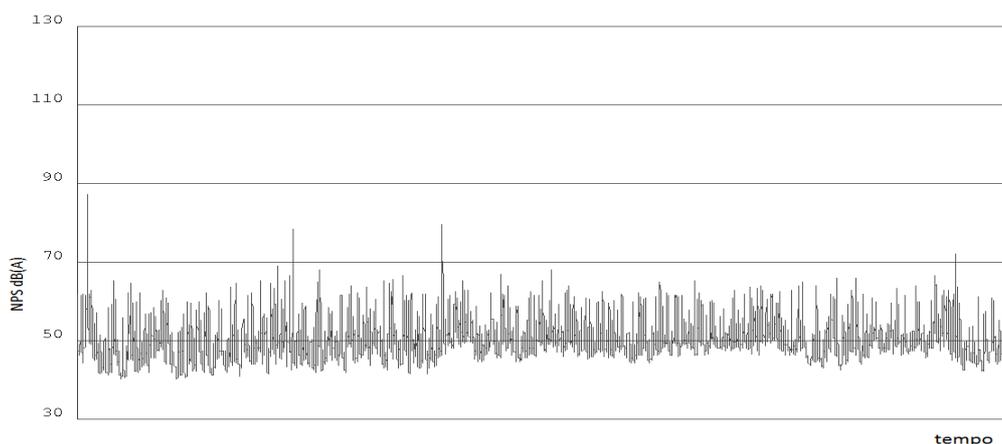


Figura 4.14 - Medição realizada na sala 106 (ponto D – Figura 4.10) em 25/04/2011.

Com o intuito de verificar a influência do ruído externo proveniente da avenida principal localizada em frente ao prédio em estudo, foram efetuadas medições no passeio externo, com o aparelho direcionado para a avenida (ponto E - Figura 4.10) conforme mostrado no histograma apresentado na figura 4.15. Os resultados mostraram que são pequenas as influências geradas pelo ruído externo. Outras medições foram realizadas em dias diferentes, observando-se o fluxo de veículos e o quadro em relação ao nível de pressão sonora revelou pouca alteração.

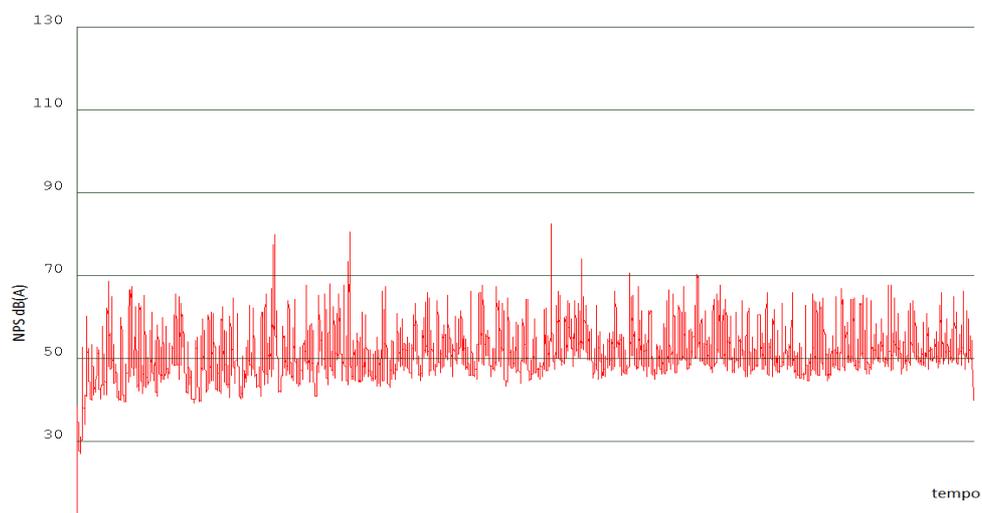


Figura 4.15- Medição realizada no passeio externo em frente ao prédio direcionado para a avenida principal (ponto E – Figura 4.10) em 25/04/2011.

Ao se realizar medições em outros pontos no interior da sala 104, próxima a mesa do professor (ponto G - Figura 4.10) e no fundo da sala (ponto H - Figura 4.10),

com o aparelho direcionado para a classe, foi possível observar que o histograma obtido(Figuras 4.16 e 4.17) foi muito similar. O nível de pressão sonora equivalente resultante foi de 63,95 dBA e 61,63 dBA, respectivamente, o que confirma valores acima dos valores permitidos pela norma NBR10152 (ABNT, 2000).

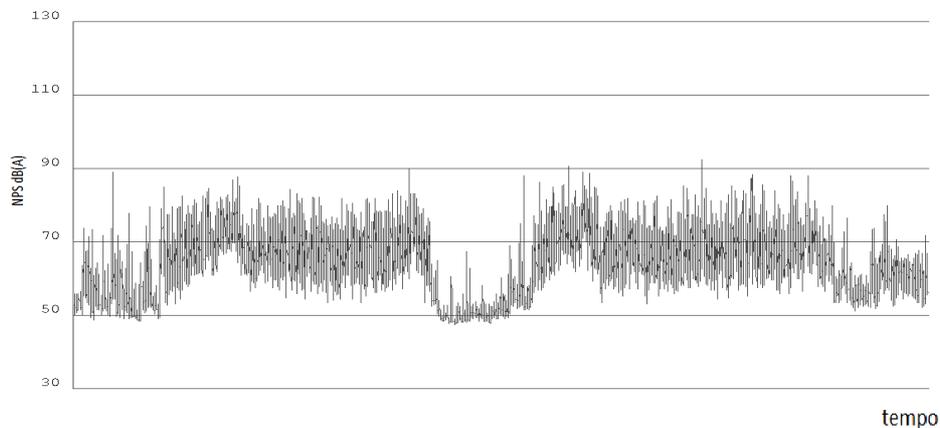


Figura 4.16 - Medição realizada na sala 104 próxima a mesa do professor, aparelho direcionado para a classe (ponto G - Figura 4.10) em 20/05/2011.

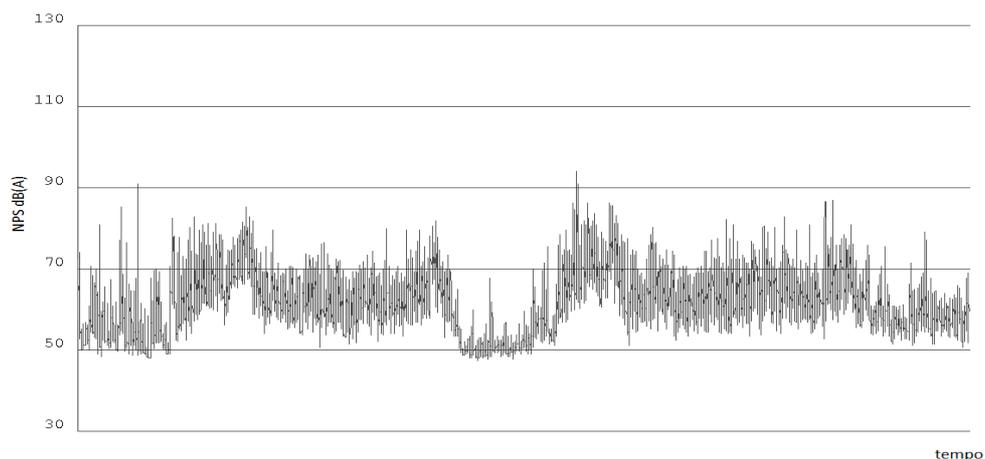


Figura 4.17 - Medição realizada no fundo da sala 104, aparelho direcionado para a classe. (ponto H - Figura 4.10) em 20/05/2011

Da mesma forma, com relação ao aparelho colocado nos fundos da sala de aula 106 (ponto I - Figura 4.10) obteve-se um nível de pressão sonora equivalente de 59,34dBA (Figura 4.18).

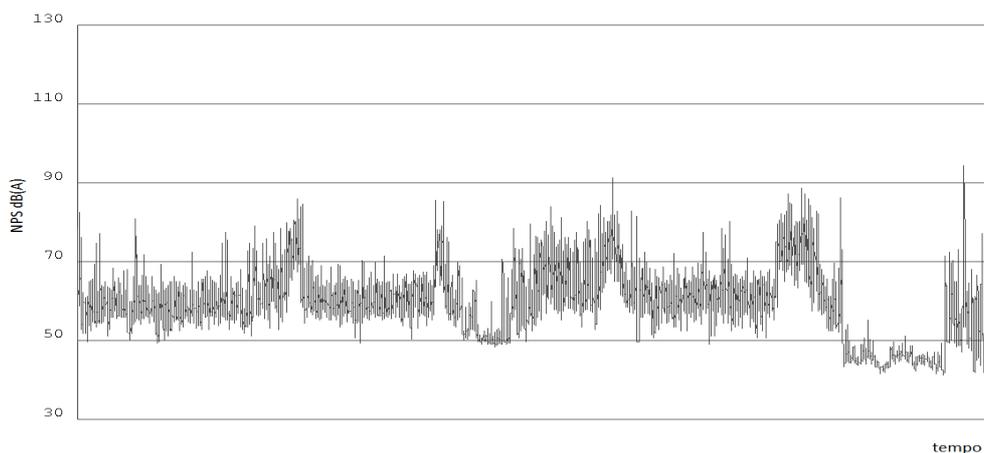


Figura 4.18- Medição realizada na sala 106, aparelho localizado nos fundos da sala (ponto I - Figura 4.10) em 20/05/2011.

Observando as medições realizadas com o aparelho colocado no corredor em frente à sala 104 (ponto J - Figura 4.10) o nível de pressão sonora equivalente (NPS_{eq}) resultou em 65,47 dBA, valor um pouco maior, como era de se esperar, do que os dois realizados simultaneamente no interior da sala 104 (Figura 4.19)

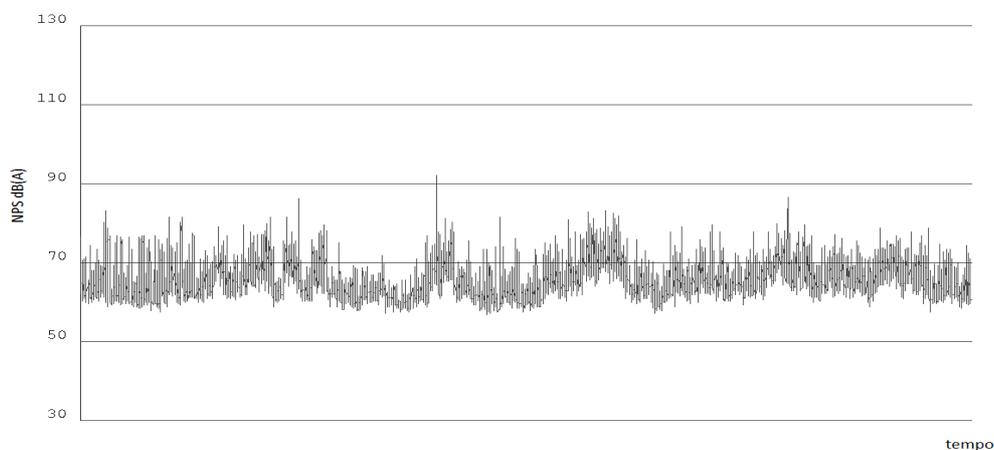


Figura 4.19 - Medição realizada no corredor em frente à sala 104 (ponto J - Figura 4.10) em 20/05/2011.

Na tabela 4.3 apresenta-se de forma sucinta os valores registrados pelos aparelhos em datas diferentes, nas salas 104, 106, corredores e passeio externo.

Tabela 4.3 – Medições realizadas nas salas 104, 106, corredor e passeio externo.

Data	Local	NPS _{Max.} dB (A)	NPS _{min.} dB (A)	NPS _{eq} dB (A)	Leitura inicial dB (A)	Leitura final dB (A)
25/04/2011	sala 104	108,0	45,2	53,34	64,0	52,6
	sala 106 (C)	87,0	39,7	47,93	46,3	70,7
	sala 106 (D)	87,4	40,3	47,78	46,3	70,7
	corredor	85,3	58,8	62,33	62,4	65,4
	Passeio ext.	82,7	39,4	50,88	59,0	50,0
20/05/2011	sala 104 (G)	92,7	47,4	63,95	53,2	54,9
	sala 104 (H)	94,1	47,4	61,63	56,1	59,5
	sala 106 (I)	94,5	41,4	59,34	58,5	48,9
	corredor	92,1	56,9	65,47	62,0	60,9

4.3 – Avaliação após intervenção

4.3.1 – Medições após intervenção

Após a intervenção da sala de aula 104, realizada no início de junho de 2011, foram executadas novas medições no interior e entorno da sala. Seguindo o mesmo procedimento anterior, foram determinados 4 (quatro) pontos de medição, dois no fundo próximos à janela e dois na parede adjacente ao corredor interno, em cada extremo da sala (Figura 4.10).

Na Figura 4.20 mostra-se uma medição realizada na sala 104, após a intervenção (ponto M - Figura 4.10). Observa-se que no período de medição, quase 4 h de leitura sem interrupção, os valores obtidos comparados com os valores obtidos anteriormente, sem intervenção, foram menores, resultando num NPS_{eq} de 50,5 dBA, mostrando uma melhoria nas condições acústicas da sala. Os resultados mostraram uma redução de 21,6% e uma redução de 13,5% em relação ao corredor interno.

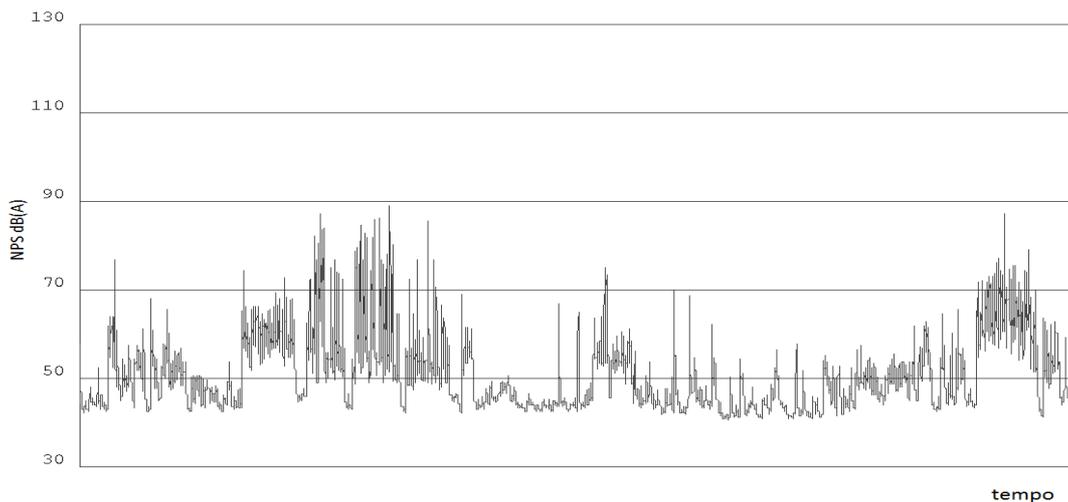


Figura 4.20 - Medição realizada na sala 104 (ponto M –Figura 4.10) em 14/06/2011 no período de 13:41:27 à 17:31:40.

Com o intuito de avaliar se após a intervenção na sala104 a interferência do ruído entre salas teve alguma melhoria, foi realizada uma medição também na sala 106 e no corredor em frente à sala 106. Nesta avaliação foi possível verificar, que no mesmo intervalo de tempo de medição, nas mesmas condições de uso das salas e fluxo de alunos pelo corredor principal, a sala 106 apresentou uma melhoria do ruído externo em relação à sala 104(Figura 4.21 e 4.22).

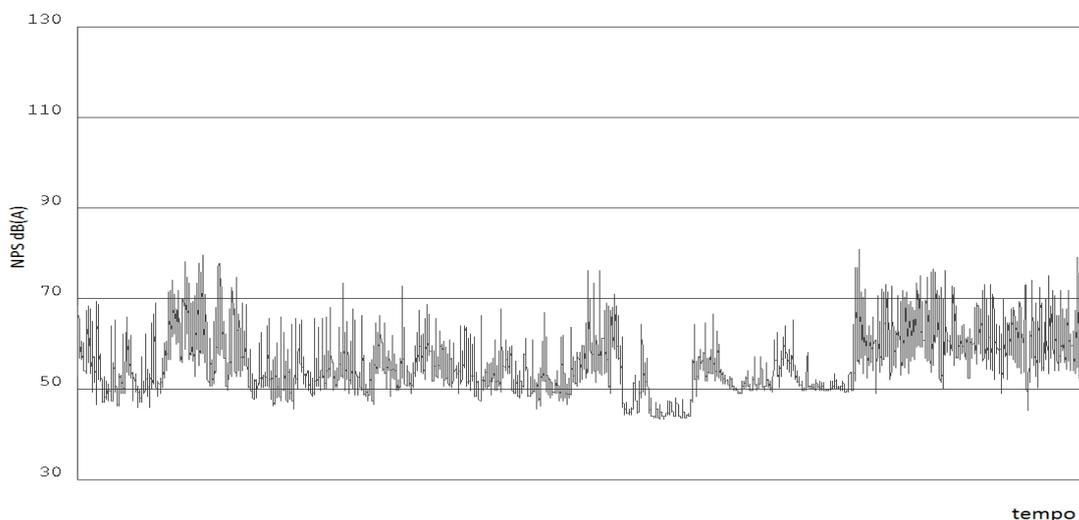


Figura 4.21 - Medição realizada na sala 106 (ponto L – Figura 4.10) em 14/06/2011.

Fi

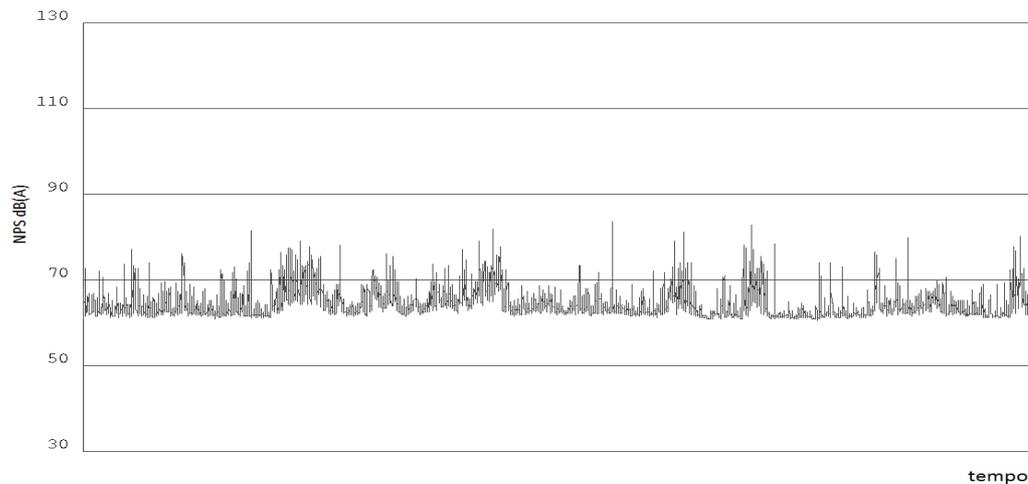


Figura 4.22- Medição realizada no corredor em frente à sala 106 (ponto N – Figura 4.10) em 14/06/2011.

Como objetivo de uma análise mais detalhada do comportamento do ruído externo à sala 104, foram realizadas medições em situações diferentes. Uma destas situações foi analisar o comportamento do som com a sala vazia e janelas da parede dos fundos fechada, exaustores ligados, com o aparelho instalado no ponto O (Figura 4.10). Com esta condição foi possível confirmar os resultados positivos da intervenção efetuada na sala 104 (Figura 4.23). Neste período de medição os exaustores permaneceram ligados e é importante destacar a existência de várias aberturas ao longo do corredor até a laje calha, no nível da cobertura onde se encontram os exaustores, e estas aberturas interferem muito no conforto acústico. Os resultados mostraram uma redução de 37,27% em relação ao corredor, destacando-se que neste período de medição o fluxo de usuários (alunos, professores e funcionários) estava menor, comparado às medições anteriores. A intervenção com o fechamento da abertura na parede que dá para o corredor principal não comprometeu no conforto térmico da sala de aula 104, comprovado pelo questionário após a intervenção.

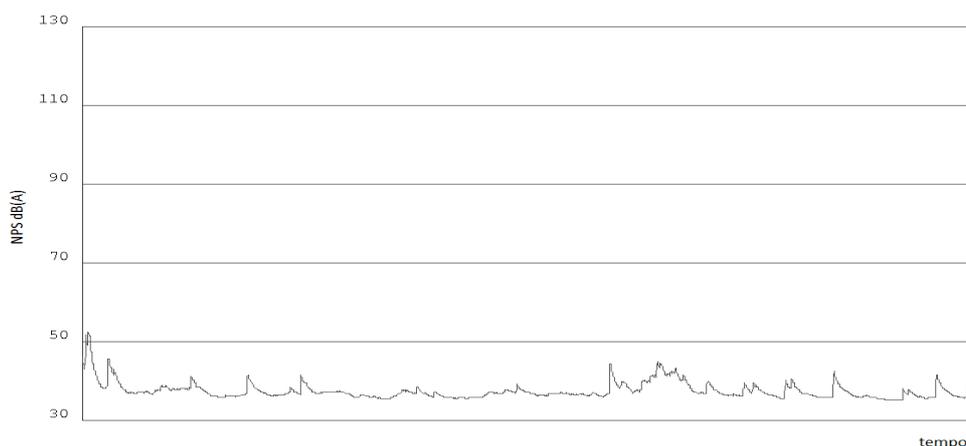


Figura 4.23 - Medição realizada na sala 104 vazia e janelas fechadas (ponto O – Figura 4.10) com exaustores ligados em 22/06/2011.

Já no corredor em frente à sala 104, medições com os exaustores ligados foram feitas, com os aparelhos instalados no ponto P (Figura 4.10), com o intuito de analisar a influência deste ruído na sala 104 após a intervenção. Na figura 4.24 mostra-seum histograma com poucos picos no período de leitura em torno de 1 (uma) hora contínua. Nesta avaliação procurou-se um período com pouco movimento de usuários com o objetivo de analisar o ruído gerado pelo grupo de exaustores destinados ao laboratório de Anatomia.

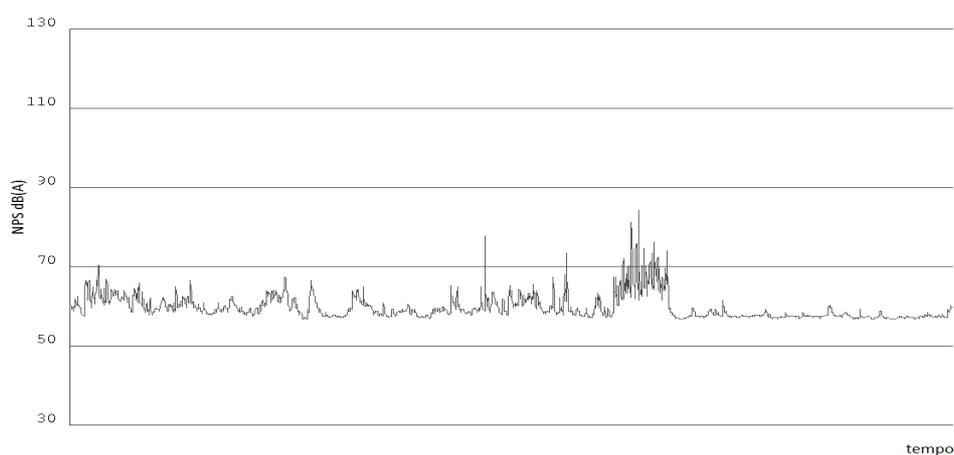


Figura 4.24 - Medição realizada no corredor em frente à sala 104 com os exaustores localizados na cobertura ligados (ponto P – Figura 4.10) em 22/06/2011.

Na Figura 4.25 mostra-se o resultado das medições realizadas na sala 106 (ponto Q – Figura 4.10), com os exaustores em funcionamento, onde se verifica que apesar da

intervenção ter sido efetuada na sala ao lado (104) houve uma redução do ruído externo em torno de 8%, comprovando a eficiência das intervenções realizadas.

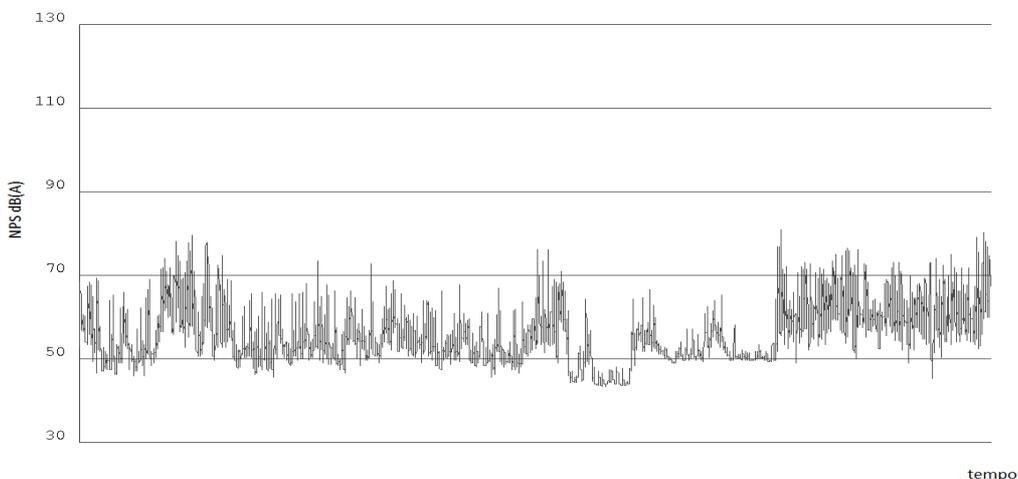


Figura 4.25 - Medição realizada na sala 106 (ponto Q – Figura 4.10) em 22/06/2011

Ao se instalar um frequencímetro HD 2010 no ponto R (Figura 4.10) da sala 104, pode-se observar que houve uma redução em todas as faixas de frequências em relação à sala 106 (Figura 4.26). Já na sala 106, ponto S (Figura 4.27), verificou-se que a maior parte dos valores foram acima de 50dB(A), o que indica a deficiência do conforto acústico no recinto, analisado agora em bandas de frequência.

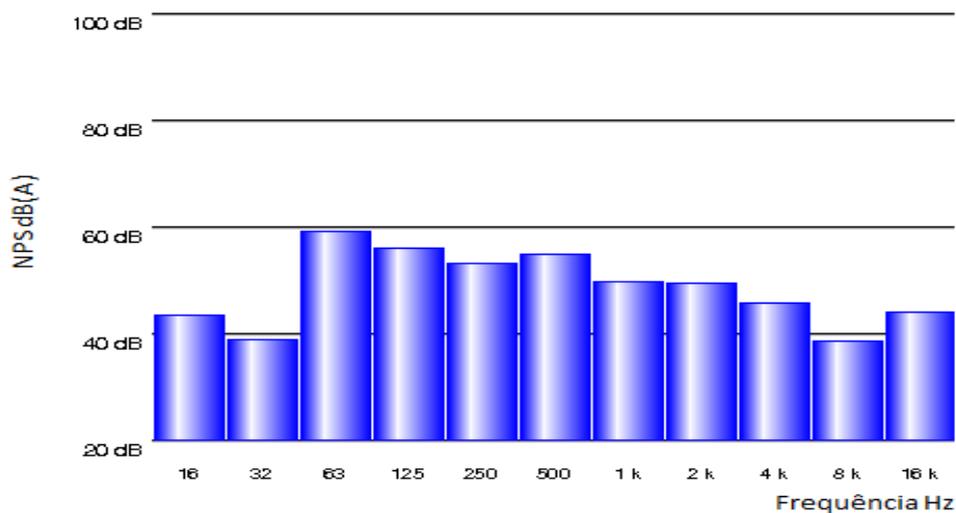


Figura 4.26 - Medição realizada na sala 104 (ponto R – Figura 4.10) em 22/06/2011.

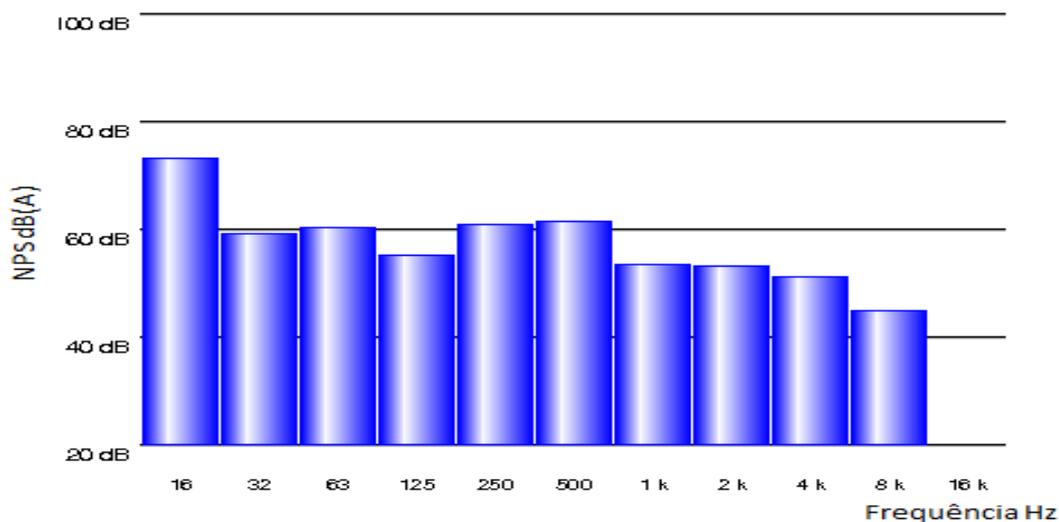


Figura 4.27 - Medição realizada na sala 106 (ponto S – Figura 4.10) em 22/06/2011.

Na Tabela 4.4 mostra-se de forma sucinta os resultados em datas diferentes de medição, nas salas 104, 106 e corredores após a sala 104 sofrer intervenção.

Tabela 4.4 – Medições realizadas nas salas 104 e 106 e corredor após a intervenção

Data	Local	NPS _{Max.} dB (A)	NPS _{min.} dB (A)	NPS _{eq.} dB (A)	Leitura inicial dB (A)	Leitura final dB (A)
14/06/2011	sala 104	89,0	40,8	50,4	43,0	45,6
	sala 106	81,0	43,7	55,3	58,2	63,0
	corredor	83,7	60,8	64,3	65,9	67,4
22/06/2011	sala 104 exaustores ligados	52,6	35,1	37,57	49,9	36,0
	sala 106 exaustores ligados	81,0	43,3	55,29	50,9	55,4
	corredor exaustores ligados	84,3	56,8	59,80	59,9	57,7

Na Figura 4.28 mostra-se as curvas comparativas das medições realizadas utilizando-se o frequencímetro Delta OHM modelo HD 2010 nas salas 104 e 106, após as intervenções. Observa-se pelos resultados uma melhoria significativa na acústica da sala 104 em relação à sala 106. Antes da intervenção na sala 104 o NPS_{eq.} nesta sala

apresentava valor igual ou maior que a sala 106 conforme os resultados mostrados na Tabela 4.1. Na faixa de 500Hz houve uma redução em torno de 10%.

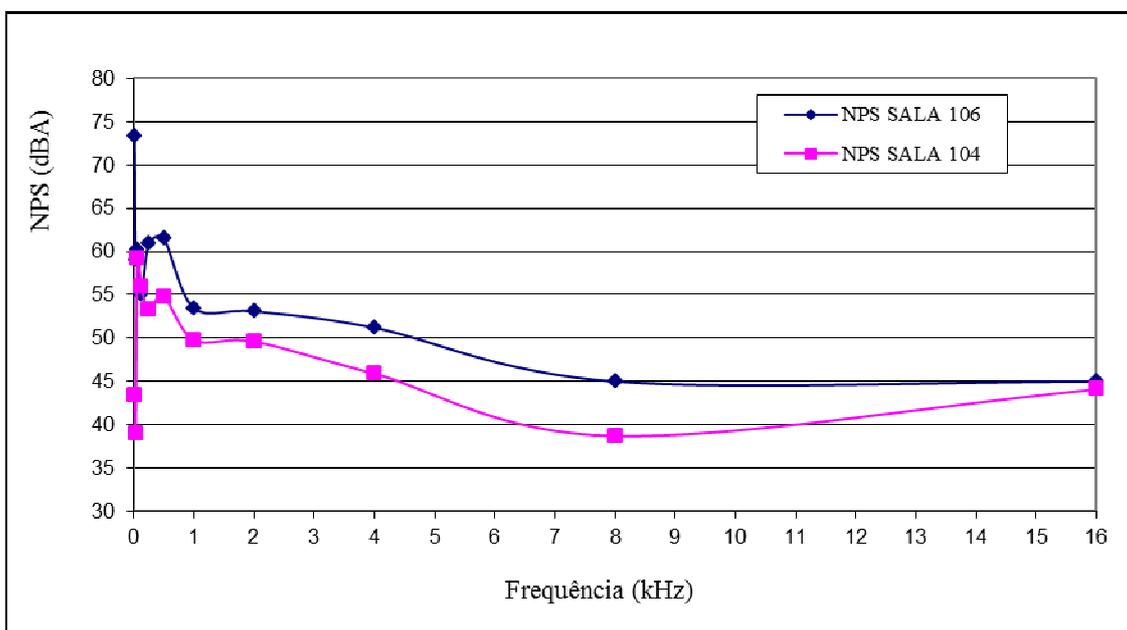


Figura 4.28- Gráfico comparativo das medições realizadas com o instrumento Delta Ohm modelo 2010.

4.3.2 – Avaliação exploratória após intervenção

Após as intervenções realizadas na sala 104 fez-se novamente uma avaliação exploratória com os alunos, com o intuito de se fazer um comparativo com a sala antes da intervenção. Avaliando-se a interferência do ruído externo na sala 104, antes da intervenção, 49,38% dos alunos responderam que o ruído externo incomodava muito o desenvolvimento das atividades escolares, e apenas 8,20% após a intervenção se sentiram muito incomodados pelo ruído externo, indicando uma redução de 41,18% de alunos (Figura 4.29). No entanto, observa-se que ainda 55,7 % dos alunos ainda reclamam do ruído externo.

É importante registrar que o objetivo deste trabalho foi alcançado, pois se mostrou que é possível buscar uma condição mais adequada no comportamento acústico de um ambiente, com alguns pequenos cuidados nos detalhes construtivos. Neste estudo de caso, os elementos de aço foram revestidos com placas de lã de vidro, a abertura na

parede vizinha ao corredor central foi fechada com um painel em placas de lã de vidro, e também houve a substituição da porta por uma porta com núcleo em lã de vidro.

Os custos foram baixos, provando que é possível conseguir salas de aula com condições mais adequadas quando tratadas na fase de projetos, agregando materiais com propriedades de isolamento em áreas adequadas e emprego de portas e esquadrias que apresentam coeficientes de redução de ruído em suas especificações.

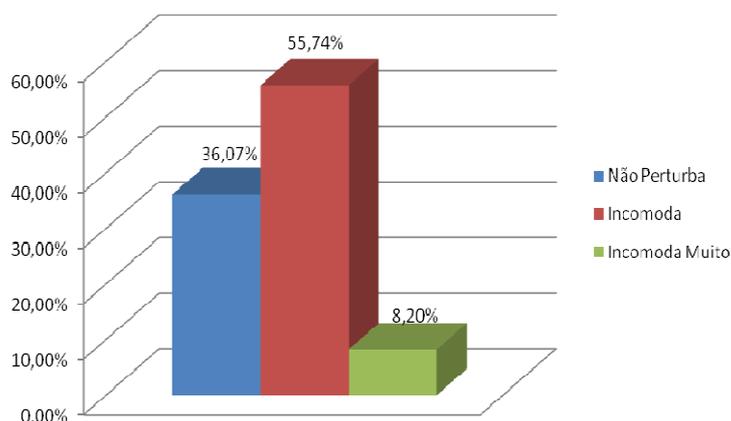


Figura 4.29 – O ruído externo (após a intervenção).

Da mesma forma, quando questionados com relação ao ruído proveniente do interior do edifício, durante as aulas, 11,48% dos alunos se sentem muito incomodados com o ruído interno, 63,93% se sentem incomodados e apenas 24,59% não se sentem perturbados pelo ruído. Antes da intervenção, 74,07% dos alunos entrevistados se sentia muito incomodados com o “ruído interno” do prédio, o que indicou uma grande melhoria na acústica da sala de aula 104 (Figura 4.30).

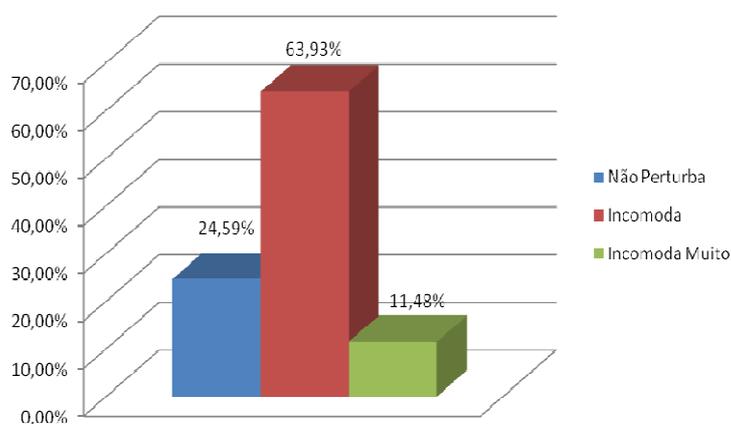


Figura 4.30– O ruído interno após a intervenção.

Quando questionados sobre a interferência do som de uma sala para a outra, os alunos usuários do prédio apontaram que antes da intervenção, esta interferência prejudicava muito as atividades em sala de aula, porém com a intervenção houve uma melhoria nas condições acústicas da sala. Na figura 4.31 apresenta-se os resultados obtido e observa-se que os alunos se mostraram mais satisfeitos agora, mesmo tendo 50,82% de alunos se sentindo incomodados. Antes da intervenção 76,54 % dos alunos responderam interfere muito contra 17,28 % que responderam interfere, o que mostra uma melhoria das condições acústicas da sala.

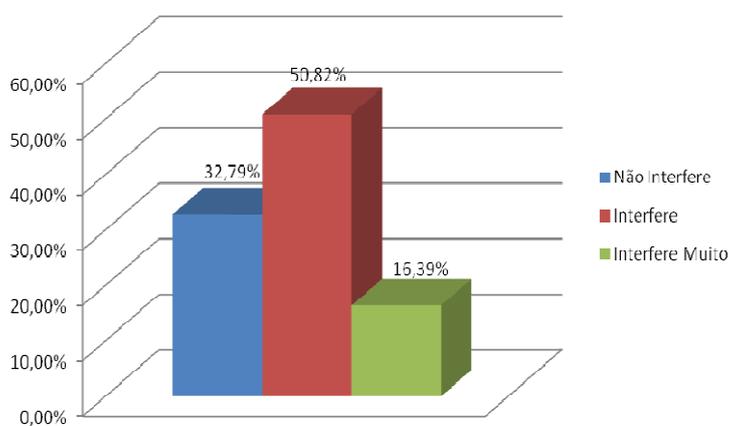


Figura 4.31– Interferência do ruído de uma sala de aula para outra após a intervenção.

4.4 – Tempo de reverberação (TR) da sala 104

O Tempo de Reverberação (TR) deve ser adequado, para que não afete negativamente a atividade em desenvolvimento no ambiente, pois influencia diretamente na inteligibilidade da palavra, no nosso caso em estudo em uma sala de aula.

Para o cálculo do TR da sala 104 fez-se necessário o levantamento da área de superfície dos materiais componentes das divisórias, para fins de determinação da absorção total do ambiente, na condição normal e após a intervenção.

Os coeficientes de absorção (Tabela 4.5) foram obtidos da norma NBR 12179 (ABNT, 1993) e na literatura nos trabalhos de Bistafa (2006) e de Citherlet (2001).

Tabela 4.5 – Coeficientes de absorção

Item	Materiais	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1	Lã de vidro 25mm	0,06	0,25	0,60	0,85	0,95	1,00
2	Lã de vidro 50mm	0,15	0,70	0,95	1,00	1,00	1,00
3	Bloco de concreto sem acabamento	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
4	Bloco de concreto pintado	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
5	Piso de concreto	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
6	Piso de madeira	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
7	Vidro grosso	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
8	Vidro comum	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
9	Parede lisa pintada PVA latex	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03
10	Gesso acartonado 25mm espaço 10cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
11	Forro PVC	0,25	0,23	0,16	0,11	0,10	0,10
12	Piso vinílico Paviflex	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
13	Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
14	Porta em madeira fechada	0,14	0,14	0,06	0,06	0,1	0,1

Na Tabela 4.6 apresenta-se a área de absorção de cada tipo de material no interior da sala sem intervenção, cujo volume é igual a 201,54 m³, e os coeficientes de absorção em função da frequência. Na Tabela 4.7 apresenta-se o cálculo do tempo de reverberação utilizando a expressão de Sabine (equação 2.4).

Tabela 4.6 – Área de absorção e coeficientes - sala 104 (configuração inicial)

Item	Superfície	Material	Área (m ²)	Frequencias em Hz					
				125	250	500	1000	2000	4000
1	Piso	Piso vinílico Paviflex	63,18	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
2	Teto	Forro em PVC	63,18	0,25	0,23	0,16	0,11	0,1	0,1
3	Paredes	Alvenaria em Tijolo cerâmico com reboco liso e pintura em PVA LATEX	93,15	0,14	0,1	0,06	0,05	0,04	0,03
4	Esquadrias	Esquadria em Alumínio e vidro liso 4mm	11,05	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
5	Mobiliário	Carteiras em laminado de madeira	18,9	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05
6	Porta	Porta de madeira fechada	2,52	0,14	0,14	0,06	0,06	0,1	0,1
7	Estrutura	Perfil laminado de aço	12,96	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02

Tabela 4.7 – Cálculo do $\sum A*\alpha$ para a sala 104 (configuração inicial)

Cálculo do produto da área do material e seu coeficiente α					
1,2636	1,8954	1,8954	1,8954	1,8954	1,2636
15,795	14,5314	10,1088	6,9498	6,318	6,318
13,041	9,31	5,589	4,6575	3,726	2,7945
3,8675	2,7625	□,989	1,326	0,7735	0,442
0,945	0,945	0,945	0,945	1,512	0,945
0,3528	0,3528	0,1512	0,1512	0,252	0,252
0,1296	0,1296	0,1296	0,1296	0,2592	0,2592
35,3945	29,9317	20,808	16,0545	14,7361	12,2743
Frequencias em Hz					
125	250	500	1000	2000	4000
0,9281391	1,0975327	1,5787687	2,0462188	2,2292886	2,6764068

Na Tabela 4.8 apresenta-se a área de absorção de cada tipo de material no interior da sala após intervenção, cujo volume é igual a 201,54 m³, e os coeficientes de absorção em função da frequência. Na Tabela 4.9 apresenta-se o cálculo do tempo de reverberação utilizando a expressão de Sabine (equação 2.4).

Tabela 4.8 – Área de absorção e coeficientes – sala 104 (com intervenção)

Item	Superfície	Material	Área (m ²)	Frequencias em Hz					
				125	250	500	1000	2000	4000
				Coeficiente de absorção acústica α					
1	Piso	Piso vinílico Paviflex	63,18	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
2	Teto	Forro em PVC	63,18	0,25	0,23	0,16	0,11	0,1	0,1
3	Paredes	Alvenaria em Tijolo cerâmico com reboco liso e pintura em PVA LATEX	93,15	0,14	0,1	0,06	0,05	0,04	0,03
4	Esquadrias	Esquadria em Alumínio e vidro liso 4mm	11,05	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
5	Mobiliário	Carteiras em laminado de madeira	18,9	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05
6	Porta	Porta de madeira fechada	2,52	0,14	0,14	0,06	0,06	0,1	0,1
7	Painel 2,50x,50m	Lã de vidro 50 mm	1,25	0,15	0,7	0,95	1	1	1
8	Revestimento	Lã de vidro 20mm	12,96	0,06	0,25	0,6	0,85	0,95	1

Tabela 4.9 – Cálculo do $\sum A \cdot \alpha$ – sala 104 (configuração inicial)

Cálculo do produto da área do material e seu coeficiente α					
1,2636	1,8954	1,8954	1,8954	1,8954	1,2636
15,795	14,5314	10,1088	6,9498	6,318	6,318
13,041	9,315	5,589	4,6575	3,726	2,7945
3,8675	2,7625	1,989	1,326	0,7735	0,442
0,945	0,945	0,945	0,945	1,512	0,945
0,3528	0,3528	0,1512	0,1512	0,252	0,252
0,1875	0,875	1,1875	1,25	1,25	1,25
0,7776	3,24	7,776	11,016	12,312	12,96
36,23	33,9171	29,6419	28,1909	28,0389	26,2251
Frequências em Hz					
125	250	500	1000	2000	4000
0,9067353	0,9685681	1,108263	1,1653058	1,171623	1,2526557

Na figura 4.32 apresenta-se as curvas comparativas dos tempos de reverberação considerando a configuração inicial e também a melhorias do isolamento das partes metálicas e das aberturas.

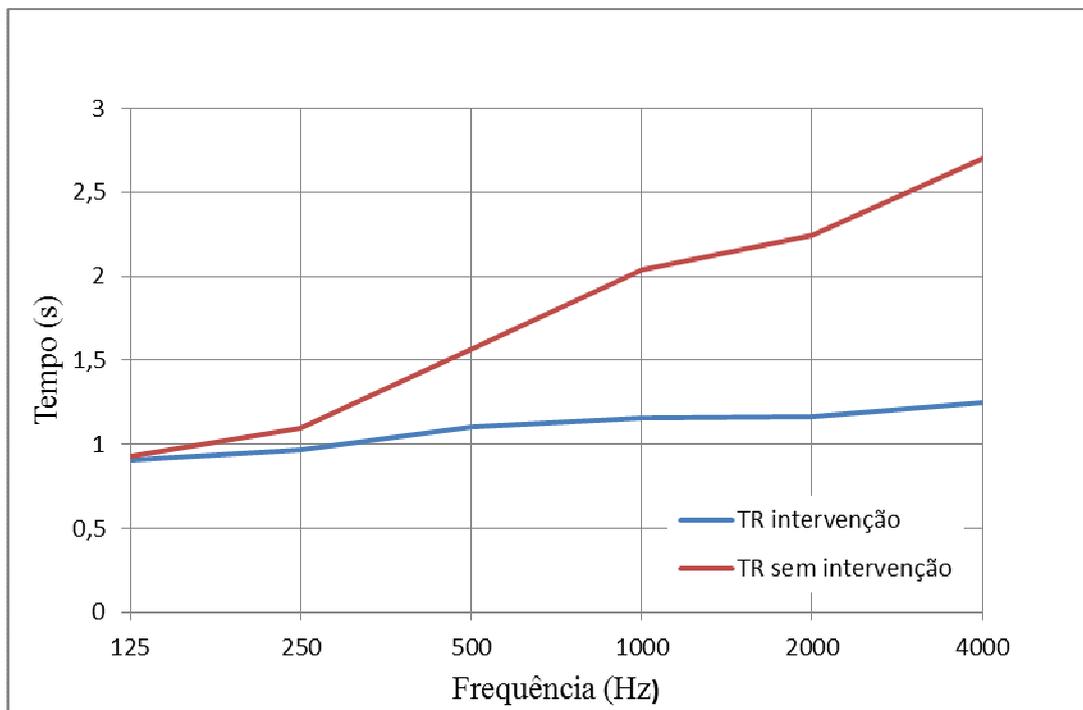


Figura 4.32–Tempo de Reverberação (TR) da sala 104.

Observa-se pelos resultados que com a colocação de material isolante nas superfícies metálicas expostas dos perfis e das aberturas, bem como a substituição da

porta houve uma redução média de 31% no tempo de reverberação (TR), nas bandas de oitava de 125Hz a 4000Hz. Na faixa de 500Hz houve uma redução de 29% no TR, com um valor calculado de 1,1s aproximando-se do valor recomendado pela norma NBR12179 (ABNT, 1992) que é de 0,6s para uma sala de 210m³.

A avaliação dos tempos de reverberação na sala 104 foi realizada com o ambiente mobiliado e desocupado, para que os valores obtidos pudessem ser balizados pela norma ANSIS12.60 (ISO, 2002) e pela recomendação da Organização Mundial da Saúde (WHO,2001) baseada no Decreto Francês de nove de janeiro de 1995. Não foi verificado a influência da ocupação sobre o tempo de reverberação, no entanto esta interferência tende na diminuição do TR.

A sala de aula 104 tem volume de aproximadamente 210m³ e comportam até quarenta e cinco alunos. A norma ANSI S12.60 (ANSI, 2002), publicada em fevereiro de 2003 nos Estados Unidos pelo American National Standard Institute. Trata-se da primeira norma no mundo que especifica parâmetros sobre acústica de escolas. Esta norma estabelece em 0,6 s o TR ideal para salas de aula com volume igual ao encontrado na sala avaliada, nas faixas de frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000 Hz. Os valores encontrados após a intervenção reduziram, no entanto, ainda estão acima do que recomenda a norma. É importante registrar que é totalmente possível desenvolver um projeto atendendo os níveis normativos.

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001) estabelece para as salas de aula, nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, o tempo de reverberação entre 0,4 a 0,8 s. Apesar dos valores recomendados pela Organização Mundial da Saúde serem mais tolerantes que o estabelecido pela norma ANSI S12.60 (ANSI, 2002), os valores encontrados na sala de aula estudada não satisfazem a recomendação.

Loro (2003) comenta que os estudantes nas salas de aula, devido ao processo pedagógico, passam mais tempo ouvindo, se comparado ao tempo que passam lendo, falando ou escrevendo. Logo, o processo de comunicação entre estudantes e professores é essencial. Desse modo, tempos de reverberação demasiadamente longos mascaram os sons e diminuem a inteligibilidade da fala, tornando o ambiente impróprio para realização de atividades educacionais.

CONCLUSÃO

5.1 -Conclusões

A qualidade acústica de salas de aula e prédios de uso escolar é um assunto que vem cada vez mais despertando o interesse de estudos e pesquisas na área acadêmica. A maioria dos trabalhos publicados e estudados nesta área evidencia a precariedade das condições acústicas das salas de aula e suas consequências negativas ao aprendizado.

O resultado de muitos trabalhos em diferentes Estados do Brasil e também em outros países tem mostrado a deficiência do comportamento acústico de salas de aula em diversas situações. Muitos projetos são desenvolvidos sem a preocupação da condição acústica do ambiente.

Visando contribuir com este cenário, o presente trabalho avaliou o comportamento acústico do prédio onde funciona o curso de medicina da Universidade Federal de Ouro Preto por meio de questionários aplicados aos usuários discentes e também por meio de medições instrumentadas em quase todos os ambientes do prédio, este mapeamento mostrou a precariedade da condição de conforto acústico em quase todas as salas.

Os questionários realizados comprovaram a deficiência do isolamento das salas quanto ao ruído externo e principalmente a interferência entre salas, um fator muito prejudicial no aprendizado dos alunos.

As medições realizadas com os decibelímetros ao longo de um período de seis meses em diferentes situações de uso interno do prédio e condições climáticas comprovaram também a deficiência do isolamento das salas, quando comparados as normas brasileiras.

O cálculo do tempo de reverberação (TR) na sala 104, escolhida como célula principal de análise, apresentou valores acima do ideal recomendado pela norma NBR

12179 (ABNT, 1992) para salas de aula que é de 0,4s a 0,6s para uma sala em torno de 210m³. No entanto, após a intervenção, com melhoria do isolamento dos elementos metálicos e aberturas, os valores foram reduzidos em torno de 31%, mostrando que é possível com o mínimo de alteração e preocupação no desenvolvimento de um projeto criar uma condição mais confortável acusticamente.

Um cálculo do TR com a substituição do forro em PVC atual desta sala em torno de 63m², pelo forro acústico em placas de lã de vidro espessura de 20mm com revestimento em PVC microperfurado, o TR na faixa de 500 Hz estaria em torno de 0,7s, bem mais próximo do tempo ideal apresentado pela norma. O custo desta intervenção ficaria em torno de 2,5% a mais para aplicação em todas as salas do primeiro pavimento, em relação ao valor do fechamento total do prédio, não computando o valor da estrutura metálica. Desse modo, pode-se com baixo investimento, proporcionar uma melhor qualidade de trabalho ao professor e conseqüentemente um melhor rendimento do aprendizado do aluno.

No entanto, pode-se perceber que a falta de revestimentos acústicos nos elementos metálicos aparentes e ainda a existência de aberturas entre salas e corredores prejudicaram muito a eficiência da acústica destes ambientes, comprometendo assim o conforto dos alunos que frequentam o prédio.

5.2 - Considerações finais

O estudo de caso realizado no bloco de salas onde funciona o Curso de Graduação em Medicina da Universidade Federal de Ouro Preto possibilitou identificar as percepções de seus usuários e, importante, as qualidades e problemas de tal edifício. Também foi possível conhecer o cenário de elementos objetivos, detectados como geradores de insatisfações individuais, conciliando-o com avaliações subjetivas dos sujeitos sociais nele envolvidos.

A partir da consolidação dos resultados obtidos na avaliação exploratória, com os discentes, pode-se concluir por uma aprovação explícita do espaço físico. No entanto, alguns problemas foram detectados e que não podem se repetir em edificações similares que vierem a ser construídas.

Assim, os resultados finais desse estudo são importantes para a atividade projetual das diferentes IFES, no contexto da expansão que vem ocorrendo por meio do

Projeto REUNI/MEC, e providências a serem tomadas nas edificações já existentes para a adequação às exigências de conforto acústico dos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE – USA ANSI S 12.60. Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools, 2002.

ARAÚJO, B.C.D.; BISTAFA, S.R. **Desempenho Acústico de Elementos Vazados**. Natal, 2009.

ARAÚJO, B.C.D.; BISTAFA, S.R. **Elemento Vazado com Isolamento Sonoro: Análise Acústica e Térmica**. Búzios – RJ, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151: **Avaliação doruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.152: **Níveis de Ruído para Conforto Acústico**. Rio de Janeiro, 2000.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: **Desempenho de edificações Habitacionais de até 5 Pavimentos**. Rio de Janeiro, 2008.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**. 3a. ed. London e New York: Spon Press, 2003. 719 p.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo Edgard Blucher, 2006.

BRADLEY, J. S. Optimising sound quality for classrooms. In: Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA, 20. **Anais...** Rio de Janeiro.

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.

CITHERLET, S. **Toward the holistic Assesment of building performance based on an integrated simulation approach.** 2001. Thesis (Architecture). Lausanne: Swiss Federal Institute of Technology (EPFL), 2001.

DE MARCO, C. S. **Elementos de Acústica Arquitetônica.** 2ed. São Paulo, SP: Nobel, 1990.

DE MARCO, C. S. **Elementos de acústica arquitetônica.** São Paulo: Nobel, 1982.

DREOSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. **O ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula:** revisão de literatura, Pró-Fono Revista de Atualização Científica, v. 17, n. 2, p 251 – 258, 2005.

ENIZ, A.; GARAVELLI, S.L. **Acoustic Conditions of School Classrooms in the Federal District: Background Noise and Reverberation Time.** In **Inter Noise,** Anais... Rio de Janeiro, Brazil, 2005.

ENGEL, D.; KRUGER, E.; ZANNIN, P.H.T. PEDRAZZI, T. **Avaliação do Desempenho Acústico em Salas de Aula do CEFET – PR.** São Pedro – SP, 2001.

FRANÇA, P.; NEIEMEYER, M.L.; **Análise de Conforto Acústico do Conjunto Habitacional Bento Ribeiro Dantas, e Avaliação da Interferência do Ruído da Via Expressa Linha Amarela.** Buzios – RJ – 2011.

FERRERIA, A.M. C. **Avaliação do Conforto Acústico em Salas de Aula: Estudos de Caso na Universidade Federal do Paraná.** Dissertação (Engenharia Mecânica). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.

FERREIRA NETO, M.F.; BERTOLI, S. R. **Conforto Acústico em edifícios Residenciais** – São Paulo, 2008.

FERNANDES, J.C. – **Acústica e Ruídos** – Universidade Estadual Paulista, 2009.

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.

FRANSOZO, H. L. **Avaliação de desempenho de habitações de baixo custo estruturadas em aço.**Dissertação (Engenharia Civil).Ouro Preto: Universidade federal de Ouro Preto, 2003.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle.** 2 ed. Florianópolis: NR, 1992.

GONZÁLES, V. E. G.; PÉREZ, J. M. L. **Estudio de inteligibilidad en aulas de navarra.** In: Proc. ofthe Int. ForumAcusticum Sevilla, Sevilla, 2002.

GÜNTHER, I. A. **O uso da entrevista na interação pessoa-ambiente.** In GÜNTHER, Harmut; PINHEIRO, José Q. (org). Métodos de pesquisa nos estudos pessoa-ambiente. São Paulo: Casa do Psicólogo / All Books, 2008.

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

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 140 (1998).
Acoustics –measurement of sound insulation in buildings and buildings elements:
part 5: field measurement of airborne sound insulation of façades and façades building
elements.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.
Tecnologia de Edificações / Projeto de Divulgação TecnológicaLix da Cunha, PINI,
São Paulo, 1998.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PINA, S. A. M. G. **Avaliação da funcionalidade de
prédio escolar da rede pública: o caso de Campinas.** VI Encontro Nacional e III
Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro,
SP. ENCAC. 2001.

MELO, G. **Acústica Interfere no ensino.** Jornal do Comércio Recife, Julho 2003.

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.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. Editado por Birgitta B., Thomas,
L., Dietrich H.S. Londres, Reino Unido. (1999).

PELLERIN N.; CANDAS V. **Combined effects of temperature and noise on human
discomfort.** Physiology & Behavior 78 (2003) 99-106.

REYNOLDS, D. D. **Engineering Principles of Acoustics.**Bouston: Alliy and Bacon
Inc, 1981.

RHEINGANTZ, P. A.; AZEVEDO, G. A.; BRASILEIRO, A.; ALCANTARA, D.;
QUEIROZ, M. **Observando a qualidade do lugar:** Procedimentos para avaliação pós-
ocupação. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 2009. Disponível em:
<<http://www.fau.ufrj.br/prolugar/publicacoes.htm>>. Acesso em 15 jan. 2011.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Construção Metálica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

SEEP B. et al., **Acústica de salas de aulas. Revista de Acústica e Vibrações**, traduzida por Mondl S. L. B. Florianópolis: Sobrac, 2002; v.29, p. 2-24. Artigo original disponível em URL: <<http://asa.aip.org/classroom/booklet.html>> Acesso em: 5 abr. de 2002.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**, 3. ed. Belo Horizonte, MG: EDTAL, 1997.

SILVA, D.T. da. **Estudo da Isolação sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas.** 126f. Dissertação (Engenharia Civil). Santa Maria:Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

TENENBAUM, ROBERTO A. **Introdução ao Conforto Acústico.** Rio de Janeiro: Laboratório de Acústica e Vibrações – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. Apostila.

VELOSO, L.B.C.; MOURA, N.C.; SOUZA, H.A. **Avaliação Pós-Ocupação do Edifício da Medicina da UFOP.** Buzios – RJ, 2011.

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

ZANNIN, P. H. T.; LORO, C. P. **Acoustical quality of educational buildings – The acoustic of modular classrooms.** In: **Inter Noise, Anais...** Rio de Janeiro, Brazil, 2005.

QUESTIONÁRIO

4. “Os espaços de trabalho/estudo são efetivamente apropriados pelo aluno/professor/auxiliar técnico administrativo, o que estimula a permanência de cada um pelo maior tempo possível no prédio, aumentando sua dedicação às atividades acadêmicas e promovendo uma maior interação discente.”

É possível fazer esta afirmativa em relação ao prédio da Medicina da UFOP?

Sim

Não

Em parte

Isto porque _____

5. Você tem necessidade de desenvolver atividades em casa, em razão da deficiência do conforto térmico/acústico deste prédio.

Sim

Não

por que

Porque: _____

6. Numere de 1 a 3, numa escala ascendente de importância para você, as afirmativas seguintes:

___ Considero as condições físicas do prédio compatíveis com fins a que se destina.

___ Os espaços contribuem para a interação dos usuários (alunos, professores e auxiliar técnico administrativo).

___ Sinto-me motivado (a) a apresentar meu ambiente de estudo/trabalho para amigos e familiares.

7. O que mais marca sua interação com este ambiente de estudo/trabalho,

A racionalidade e organização do espaço.

A beleza da edificação.

O tamanho e variedade de dependências.

Os recursos nele existentes.

Os espaços de convivência social.

O Isolamento acústico dos ambientes

O Conforto térmico.

8. Sobre as patologias construtivas listadas abaixo, marque a que você percebe neste edifício:

- Corrosão nas estruturas metálicas (pilares e vigas aparentes).

- Vazamentos nas lajes, entre os níveis do edifício.

- Vazamentos ou infiltrações entre os ambientes (salas) do edifício.
- Ocorrência de trincas nas ligações das paredes com os elementos metálicos.
- Descolamento da pintura externa.
- Descolamento da pintura interna.
- problemas de fechamento e vedação das esquadrias em alumínio.

9. Qual o tipo de roupa que você está usando no momento?

- Roupas Leves Roupas de frio leves Roupas de frio pesada

10. Qual a sensação térmica em relação ao ambiente da sala neste momento?

- Muito quente Confortável
 Quente Ligeiramente frio
 Ligeiramente quente Frio

11. Num ambiente térmico como este você:

- Consegue desenvolver sua atividade de trabalho/estudo normalmente.
 Sua atividade de trabalho/estudo fica prejudicada.

12. Qual a sensação em relação ventilação natural do ar no lugar em que você está:

- Muito parado Um pouco rápido
 Um pouco parado Muito rápido
 Boa circulação

13. Você vê a necessidade de ventiladores, no momento, para melhorar seu conforto térmico:

- Sim Não

14. Nas dependências que faz uso você necessita de iluminação:

- Natural Artificial

15. Como você considera a iluminação da sala de aula:

- Ótima Razoável Péssima

16. Em relação ao ruído, proveniente de fora do edifício, durante as aulas:

Não perturba Incomoda Incomoda muito

17. Em relação ao ruído, proveniente de dentro do edifício, durante as aulas:

Não perturba Incomoda Incomoda muito

18. Em relação à interferência do som de uma sala para outra.

Não interfere interfere interfere muito

19. Assinale abaixo os possíveis problemas de saúde que você acredita ser gerado pelos ruídos.

- dor de cabeça
- tontura
- irritabilidade
- estresse
- diminuição da qualidade auditiva

Somos gratos pela atenção e colaboração. Sua participação tem um grande significado para melhoria dos projetos de edifícios dos *Campi* da UFOP.

Agradecemos !

ANEXO
B

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICO – FUNCIONAIS

Em relação à infra-estruturafísica, avaliando-se o espaço das salas de aula e laboratórios em relação ao número médio de alunos por turma, a maioria deles considera o espaço físico bom ou muito bom, conforme demonstrado nos dados apresentados na Figura B.1, o que mostra uma preocupação dos arquitetos responsáveis pelo projeto neste item.

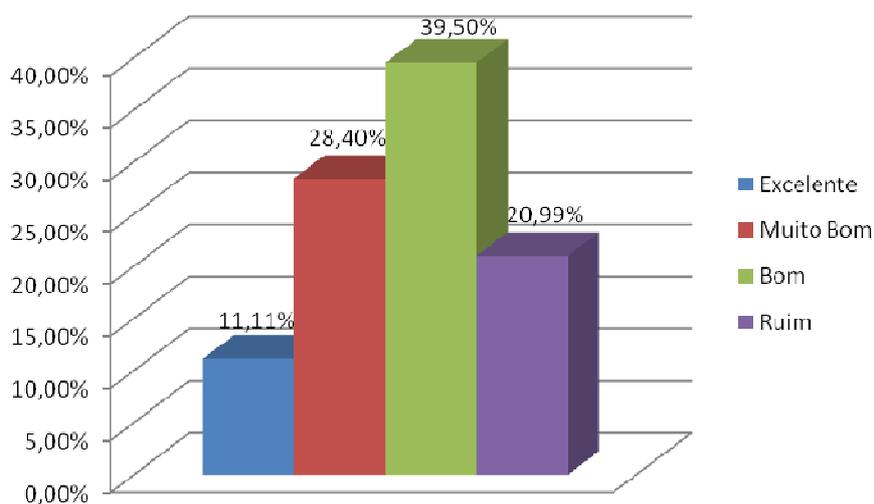


Figura B.1 – Relação Espaço x Número de Alunos por Turma.

Quando solicitado a analisar a afirmativa “Os espaços de trabalho/estudo são efetivamente apropriados pelo aluno, o que estimula a permanência de cada um pelo maior tempo possível no prédio, aumentando sua dedicação às atividades acadêmicas e promovendo uma maior interação discente”, as opções eram “Sim”, “Não” e “Em partes” para avaliar se é possível fazer esta afirmativa em relação ao prédio em questão (Figura B.2). Dos alunos respondentes, 48 % justificaram a alternativa escolhida e destes alunos 26,0 % colocaram como justificativa a acústica inadequada dos ambientes.

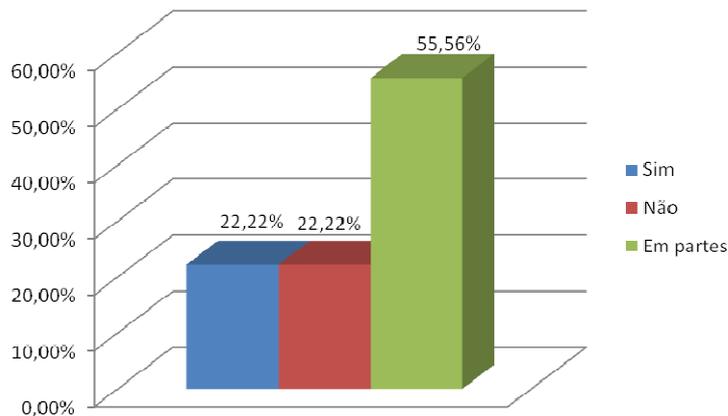


Figura B.2 – O espaço físico estimula a permanência no prédio?

Com relação à necessidade de desenvolver atividades em casa, em razão da deficiência do conforto térmico/acústico do prédio, a grande maioria dos alunos, 81,5 % considera necessário. Dos alunos respondentes, 60,0 % justificaram a necessidade e destes alunos 52,0 % colocaram como motivo a acústica inadequada dos ambientes.

Solicitados a analisar e numerar, numa escala ascendente de importância as três situações:

- i) Situação 1 - Considero as condições físicas do prédio compatíveis com fins a que se destina.
- ii) Situação 2 - Os espaços contribuem para a interação dos usuários (alunos, professores e auxiliar técnico administrativo).
- iii) Situação 3 - Sinto-me motivado (a) a apresentar meu ambiente de estudo/trabalho para amigos e familiares,

os alunos ficaram divididos entre elas, conforme mostrado na Figura B.3, sendo que pequena maioria considera as condições físicas do prédio compatíveis com os fins a que se destina

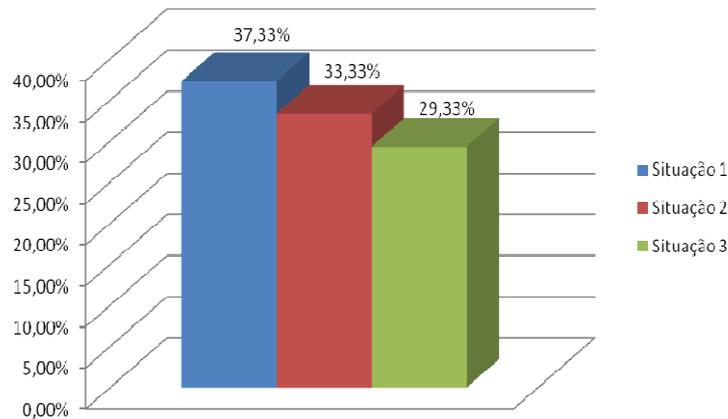


Figura B.3 –Afirmativas sobre condições físicas, interação entre alunos, ambiente de estudo.

Levados a pensar sobre a interação com o ambiente de estudo/trabalho, o aluno teve algumas opções para expor sobre o que mais chama a atenção em sua relação com o prédio. Na figura B.4 mostra as opções de escolha dos alunos e observa-se que o que mais chama a atenção dos alunos são os recursos oferecidos pelo prédio, como os laboratórios disponíveis e recursos de informática. O conforto acústico foi percebido por apenas 5,56% dos alunos entrevistados.

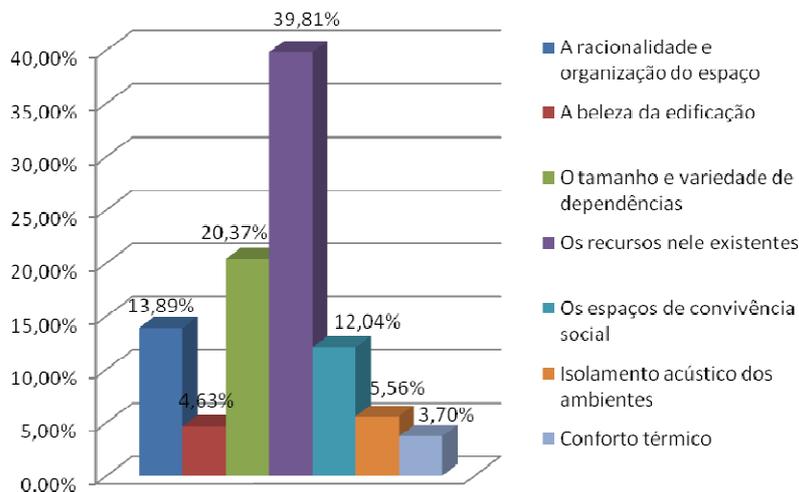


Figura B.4 – Percepção do Aluno em Relação à Edificação.

Com o intuito de verificar a percepção dos alunos com relação às patologias construtivas do prédio, foram listadas seis patologias: (1) corrosão nas estruturas metálicas (pilares e vigas aparentes), (2) vazamentos nas lajes, entre os níveis do

edifício, (3) vazamentos ou infiltrações entre os ambientes (salas) do edifício, (4) ocorrência de trincas nas ligações das paredes com os elementos metálicos, (5) descolamento da pintura externa e/ou interna, (6) problemas de fechamento e vedação das esquadrias em alumínio. Nota-se que os problemas menos percebidos pelos alunos do prédio são a corrosão nas estruturas metálicas e o descolamento da pintura, enquanto que o problema mais percebido foram os vazamentos ou infiltrações entre os ambientes do edifício (Figura B.5).

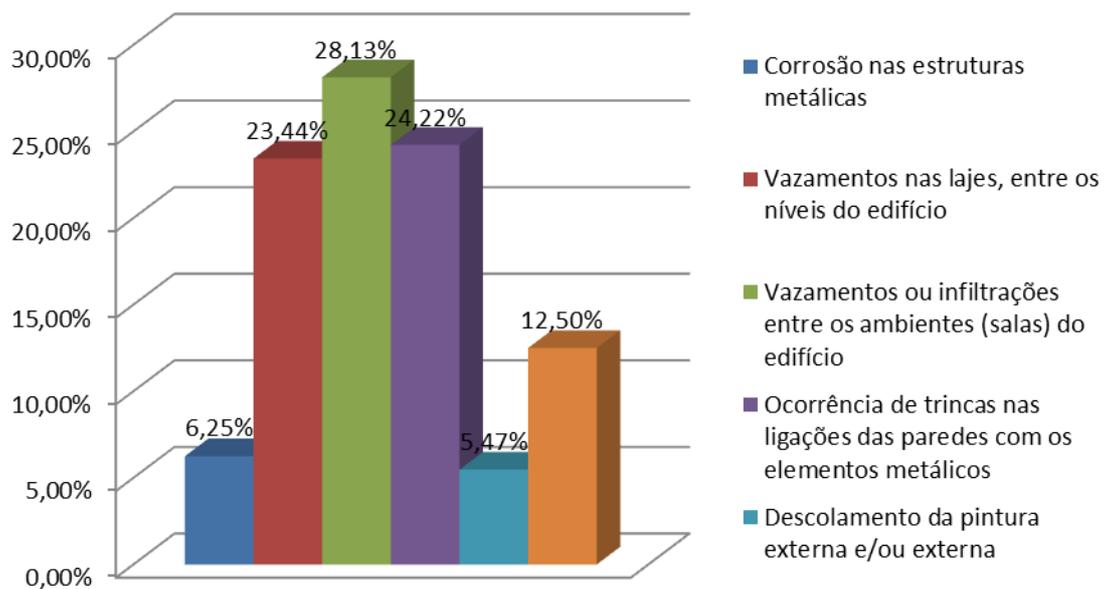


Figura B.5 – Percepção de Patologias Construtivas.

ANEXO
C

HISTOGRAMA DAS MEDIÇÕES REALIZADAS

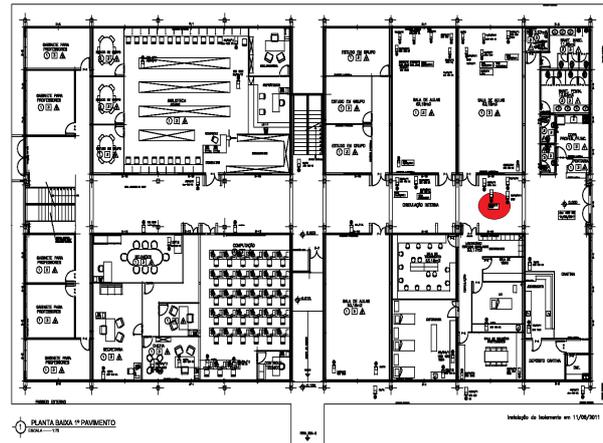
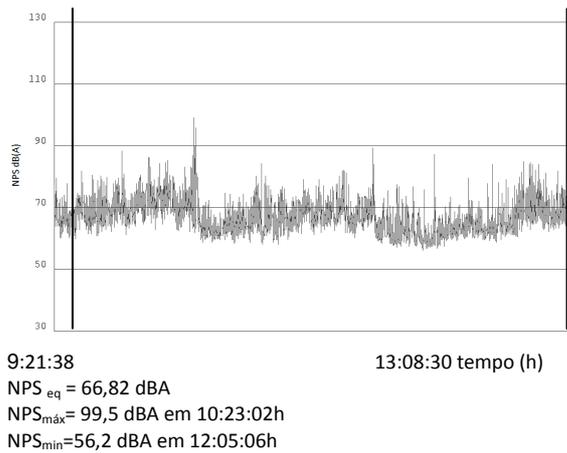


Figura C.1 – Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da sala 104 próximo à cantina, medidor DEC 490 02, em 02/12/2010.

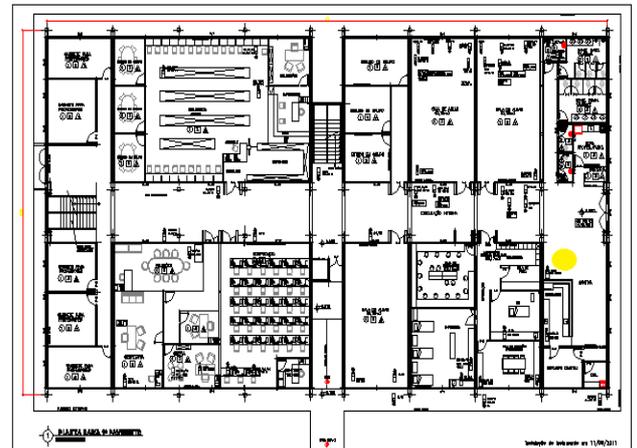
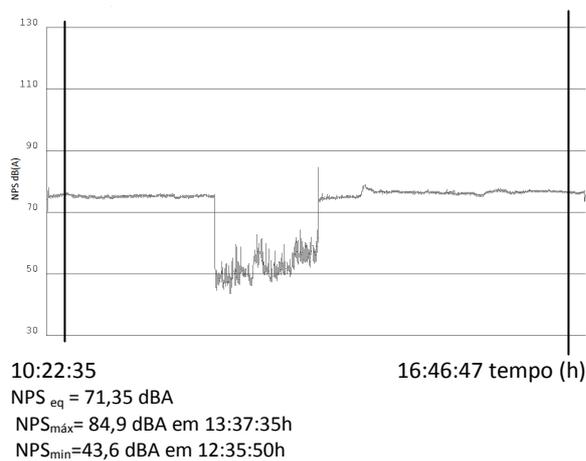


Figura C.2 - Histograma do aparelho instalado na cantina pav. 1 direcionado para o corredor, medidor DEC 490, em 09/12/2010.

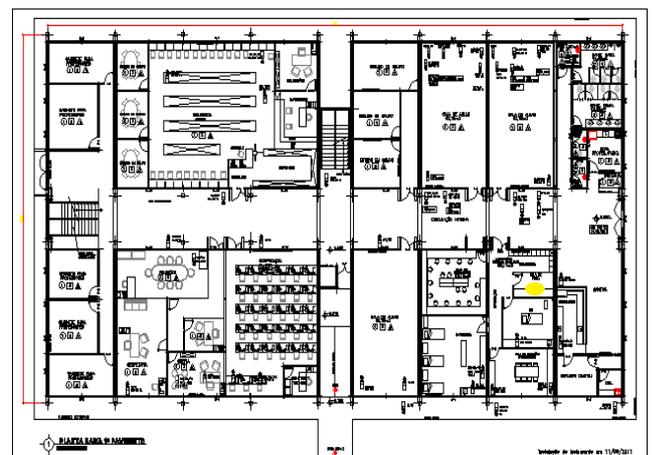
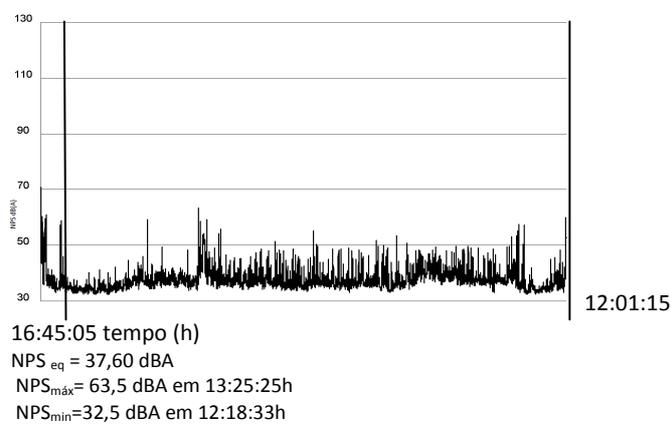
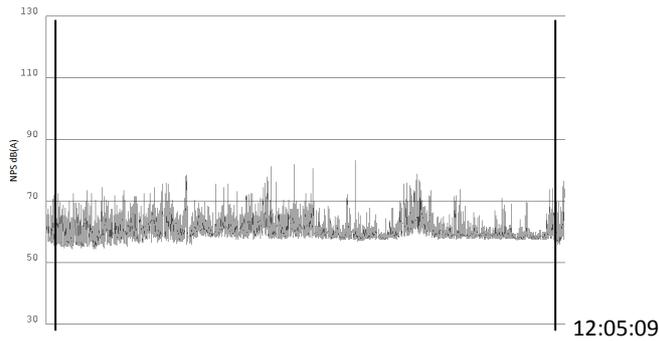


Figura C.3- Histograma do aparelho instalado no Lab. Práticas Simuladas (divisórias internas são em drywall espessura de 10 mm) medidor DEC 490, em 10/12/2010.



17:05:02 tempo (h)
 $NPS_{eq} = 60,80$ dBA
 $NPS_{m\acute{a}x} = 83,4$ dBA em 15:05:48h
 $NPS_{min} = 54,6$ dBA em 12:18:43h

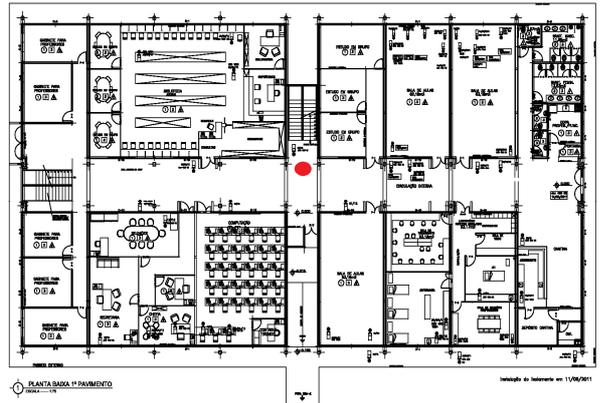
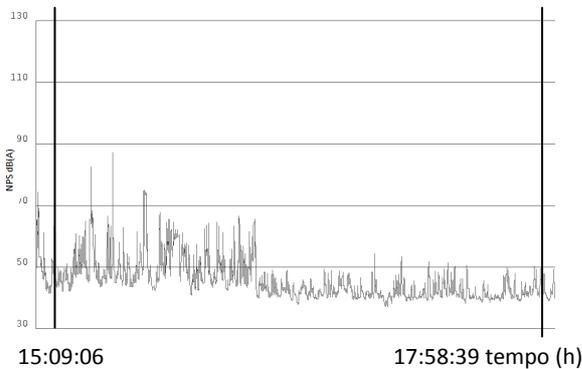


Figura C.4 - Histograma do aparelho instalado ao lado da escada pav.1, medidor DEC 490, em 10/12/2010.



15:09:06
 $NPS_{eq} = 45,66$ dBA
 $NPS_{m\acute{a}x} = 87,4$ dBA em 15:30:33h
 $NPS_{min} = 37,4$ dBA em 16:51:04h

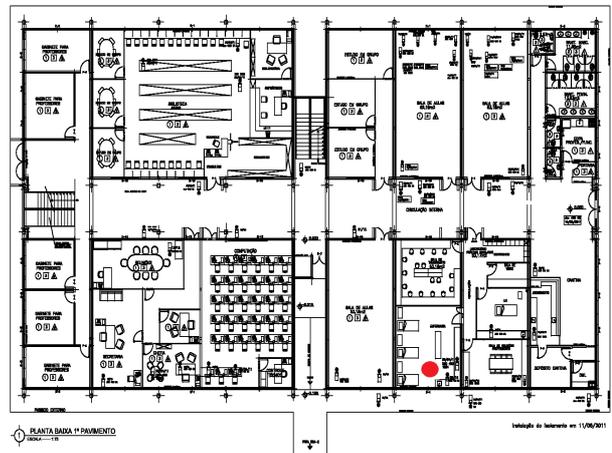
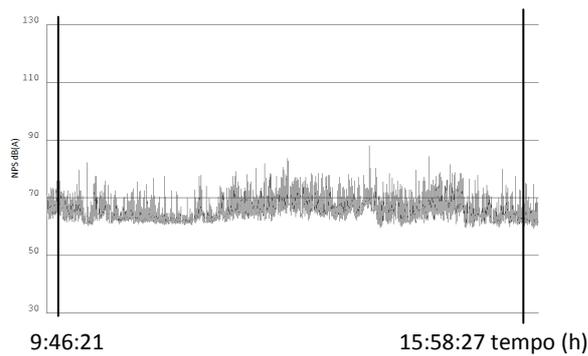


Figura C.5 - Histograma do aparelho instalado na enfermaria, medidor DEC 490, em 09/12/2010.



9:46:21
 $NPS_{eq} = 65,86$ dBA
 $NPS_{m\acute{a}x} = 88,0$ dBA em 13:53:22h
 $NPS_{min} = 59,7$ dBA em 14:01:53h

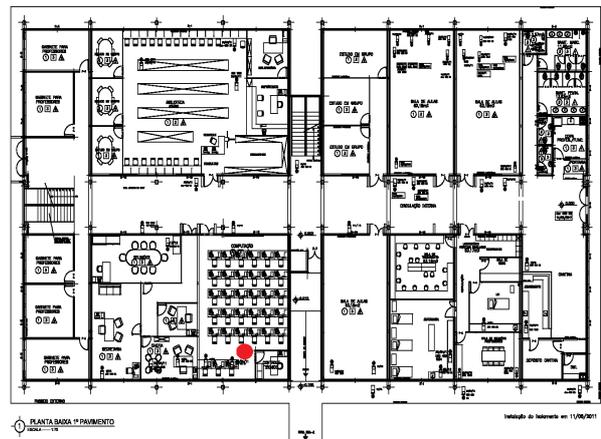


Figura C.6 - Histograma do aparelho instalado na sala de computação pav. 1, medidor DEC 490, em 06/12/2010.

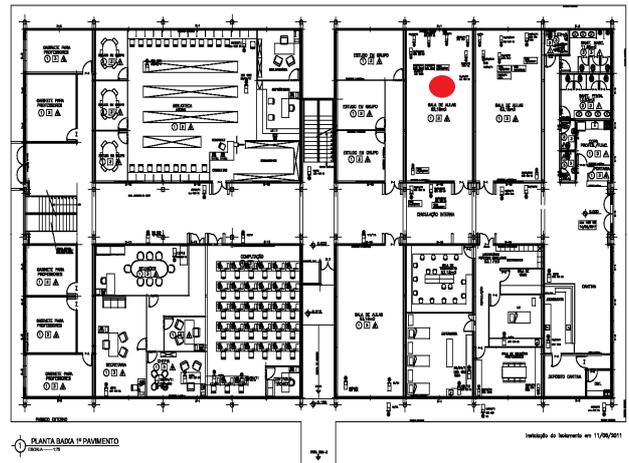
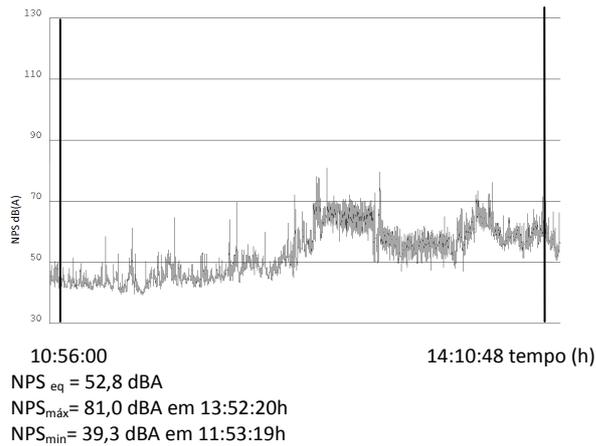


Figura C.7 - Histograma do aparelho instalado na sala de aula pav. 1, medidor DEC 490, em 06/12/2010.

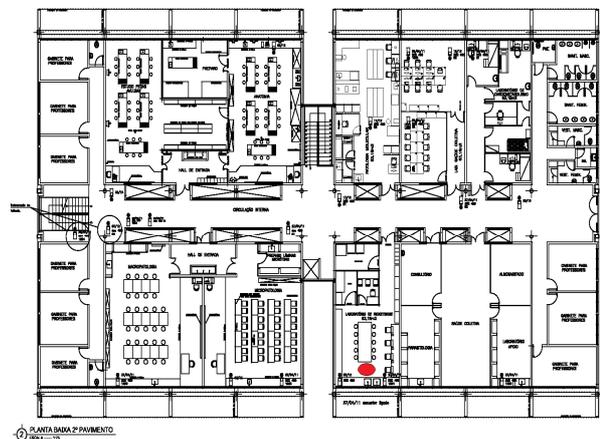
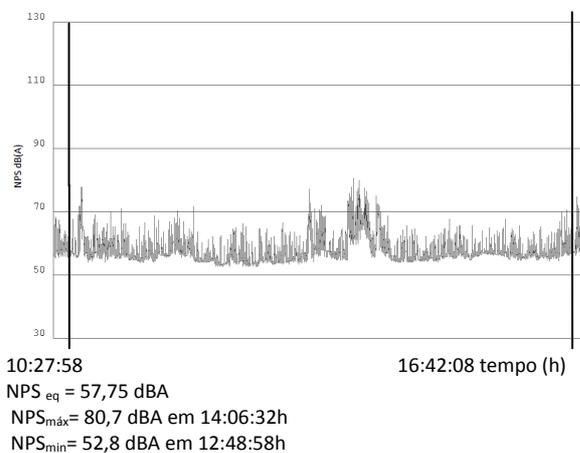


Figura C.8 - Histograma do aparelho instalado no Lab. de Rickettsiose pav. 2, medidor DEC 490, em 07/12/2010.

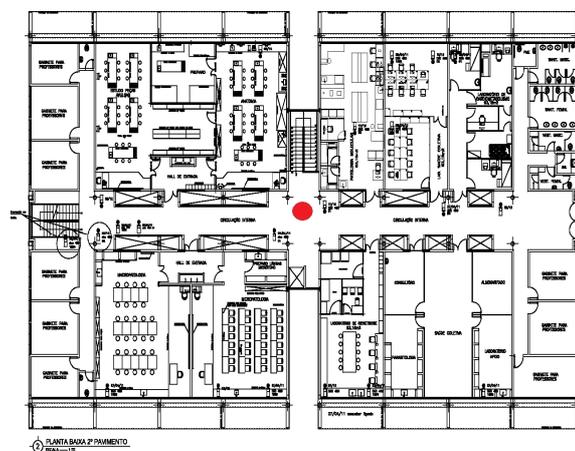
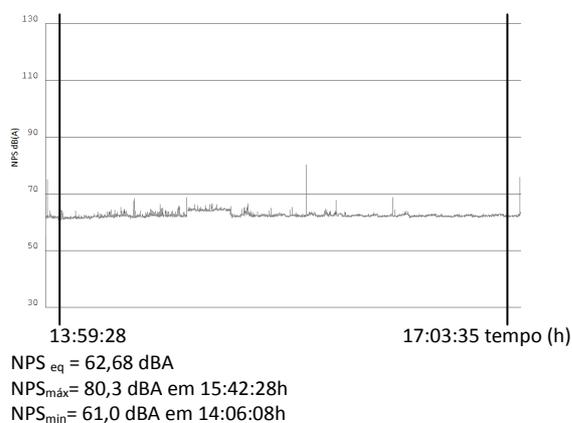


Figura C.9 - Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da escada pav. 2, medidor DEC 490, em 17/12/2010.

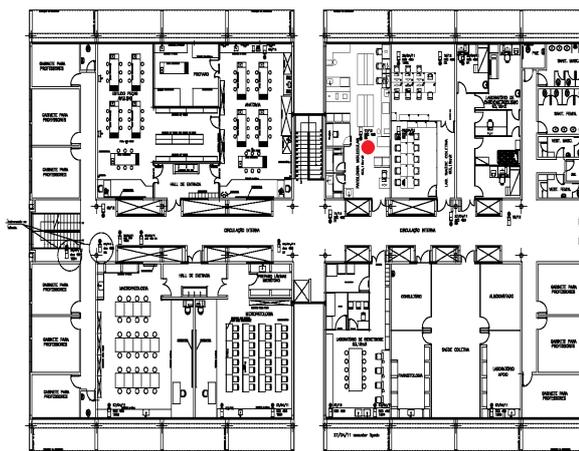


14:01:14 17:03:11 tempo (h)

$NPS_{eq} = 62,66$ dBA

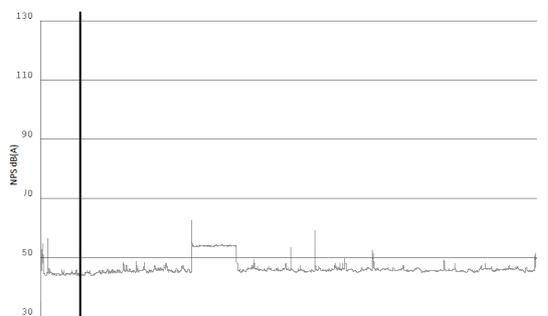
$NPS_{max} = 80,3$ dBA em 15:42:28h

$NPS_{min} = 60,6$ dBA em 14:04:00h



PLANTA SALA 2º PAVIMENTO
BICAL-10

Figura C.10 - Histograma do aparelho instalado no Lab. Patologia Molecular ao lado da escada pav. 2, medidor DEC 490, em 17/12/2010.

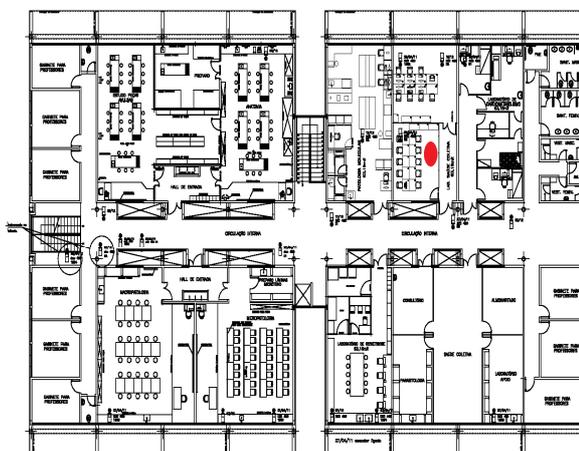


13:56:21 17:03:18 tempo (h)

$NPS_{eq} = 46,59$ dBA

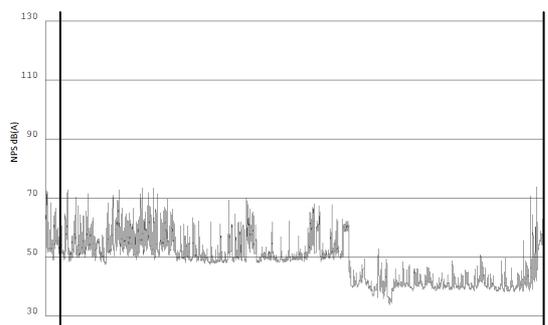
$NPS_{max} = 62,6$ dBA em 14:53:48h

$NPS_{min} = 43,9$ dBA em 13:57:29h



PLANTA SALA 2º PAVIMENTO
BICAL-10

Figura C.11 - Histograma do aparelho instalado na sala Saúde Coletiva pav. 2, medidor DEC 490, em 18/12/2010.

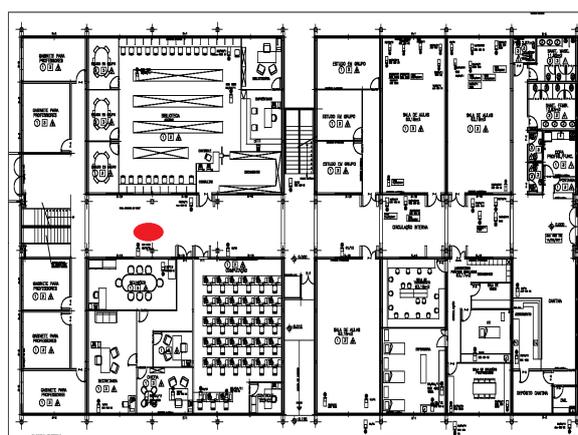


18:45:28 tempo (h)

$NPS_{eq} = 48,68$ dBA

$NPS_{max} = 73,6$ dBA em 14:44:16h

13:47:32



PLANTA SALA 1º PAVIMENTO
BICAL-10

Figura C.12 - Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da secretaria pav 1, medidor DEC 490, em 13/12/2010.

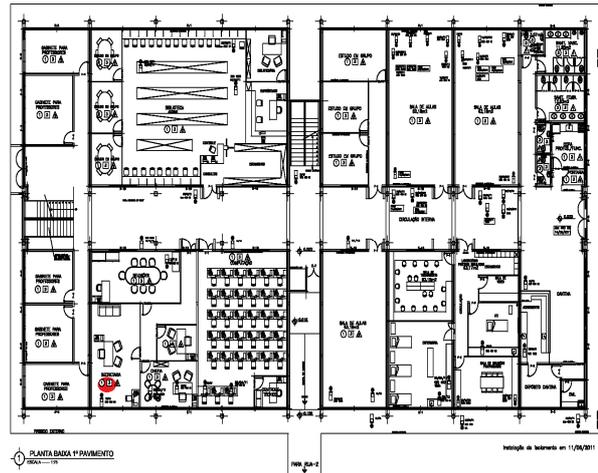
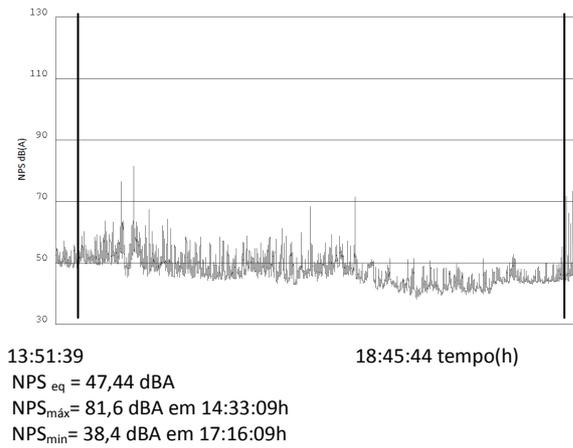


Figura C.13 - Histograma do aparelho instalado na secretaria nível 01, medidor DEC 490, em 13/12/2010.

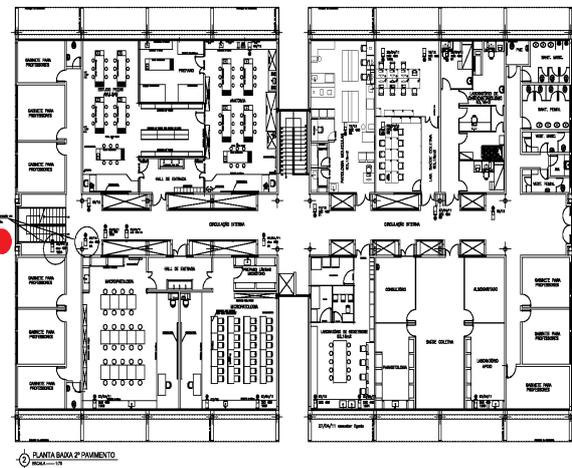
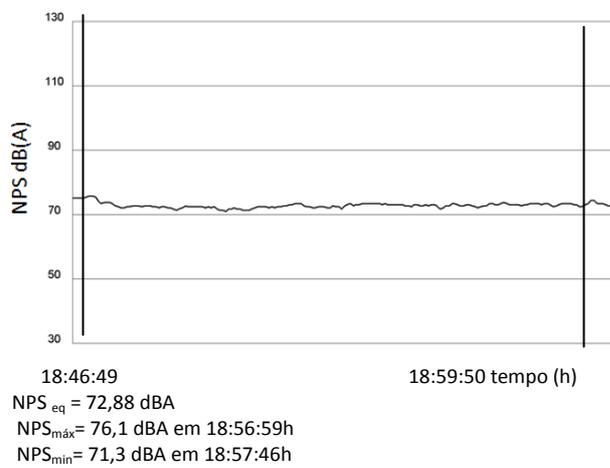


Figura C.14 - Histograma do aparelho instalado na cobertura pav. 2, medidor DEC 490, em 13/12/2010. Neste período estava chovendo.

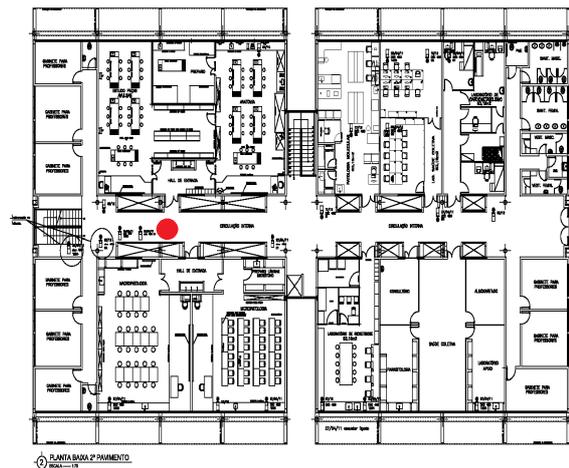
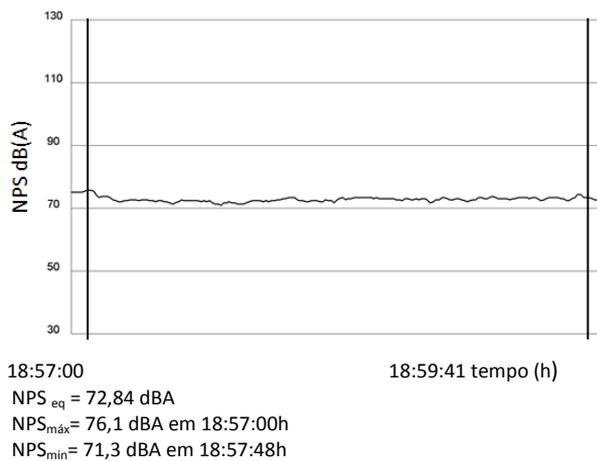


Figura C.15 - Histograma do aparelho instalado no corredor pav. 2, abaixo da laje calha, medidor DEC 490, em 13/12/2010. Neste período estava chovendo.

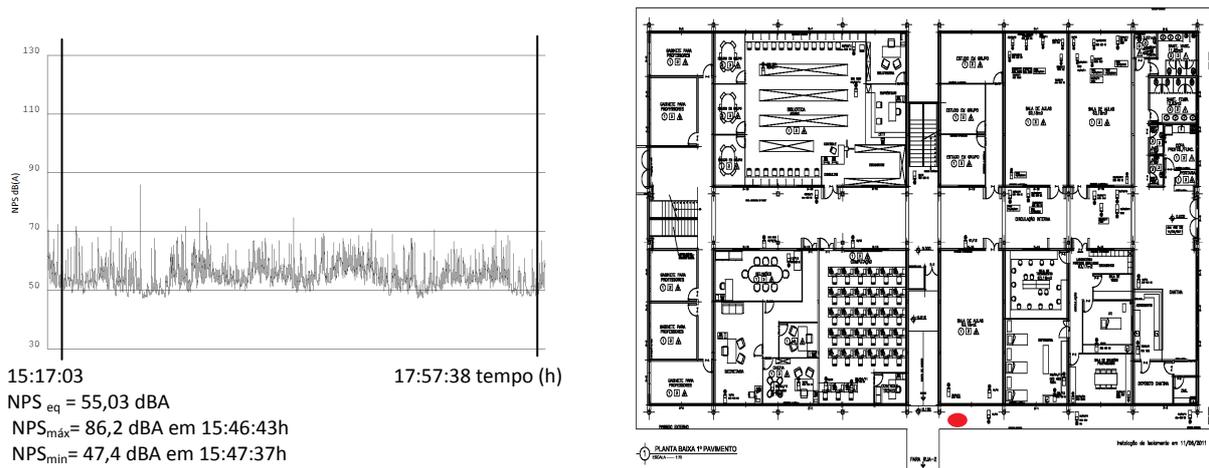


Figura C.16 - Histograma do aparelho instalado no passeio externo próximo a entrada lateral, medidor DEC 490, em 03/03/2011.

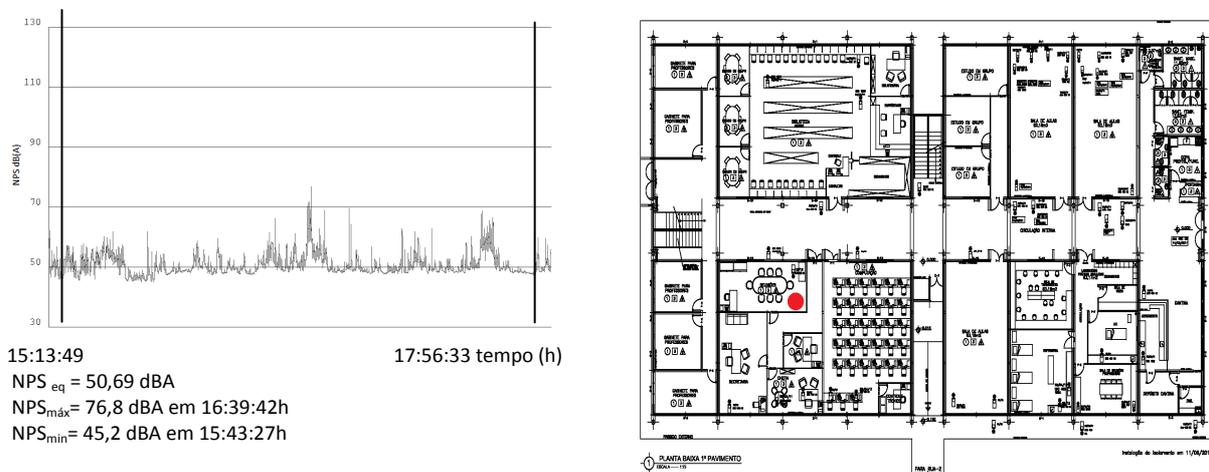


Figura C.17 - Histograma do aparelho instalado na sala de reuniões de professores nível 01, medidor DEC 490, em 03/03/2010.

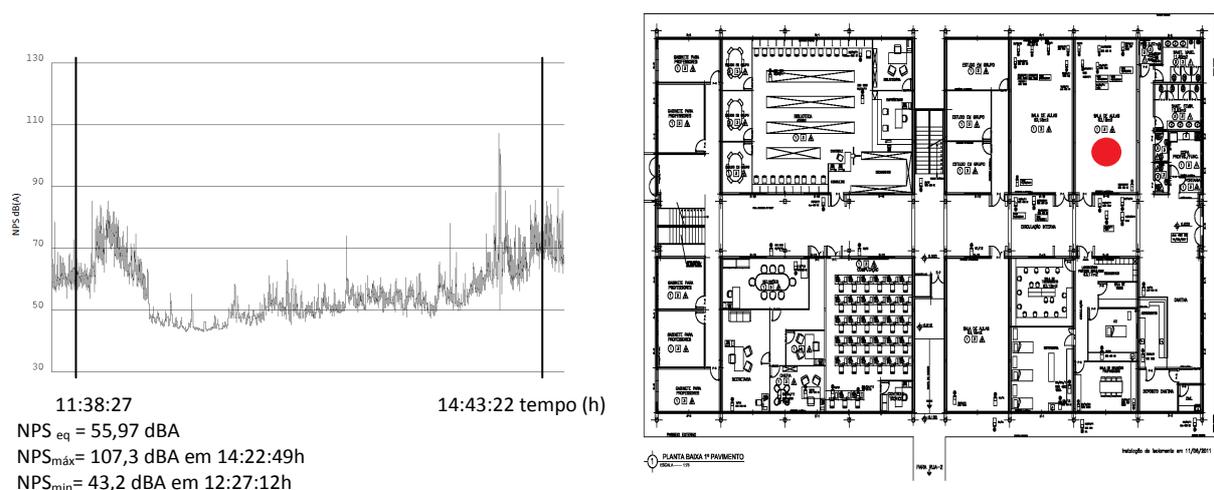


Figura C.18 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1, medidor DEC 490, em 14/03/2010. Sala ocupada.

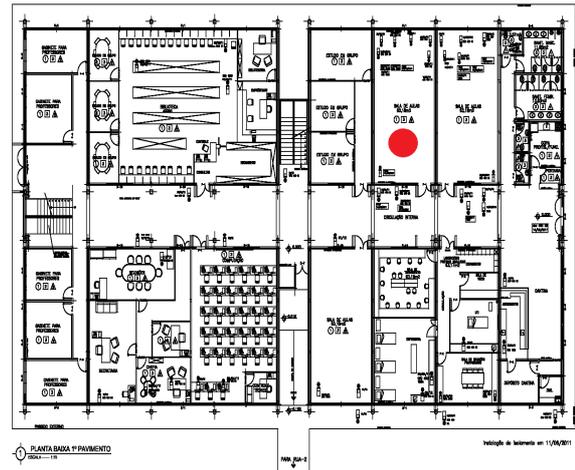
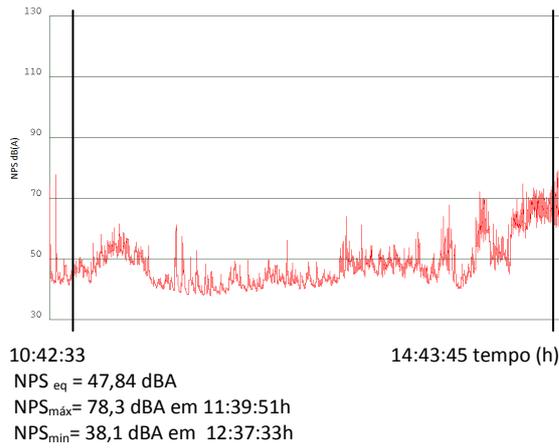


Figura C.19 - Histograma do aparelho instalado na sala 106 pav. 1, medidor DEC 490, em 14/03/2010.

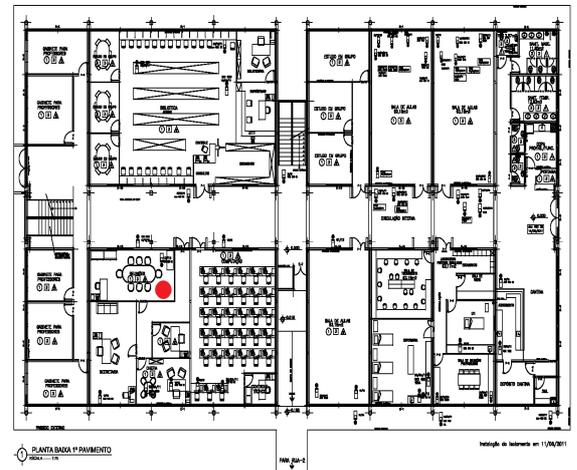
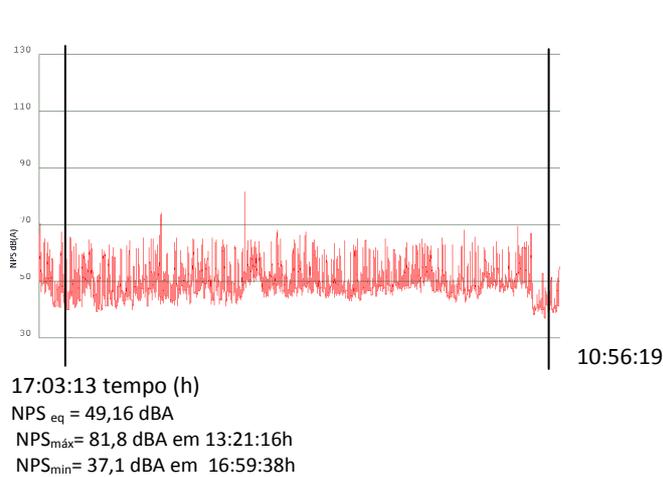


Figura C.20 - Histograma do aparelho instalado na sala de reunião pav. 1, medidor DEC 490, em 25/04/2011.

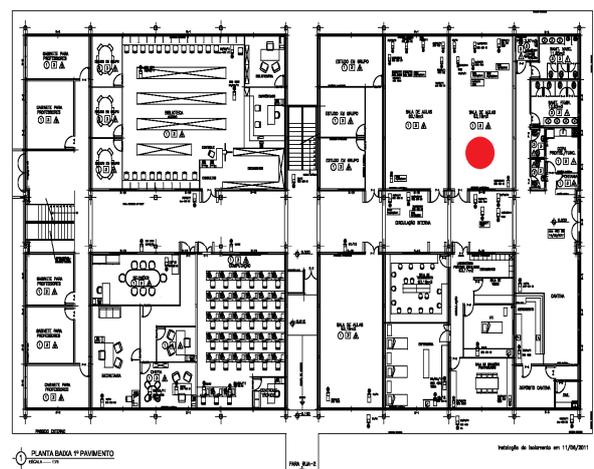
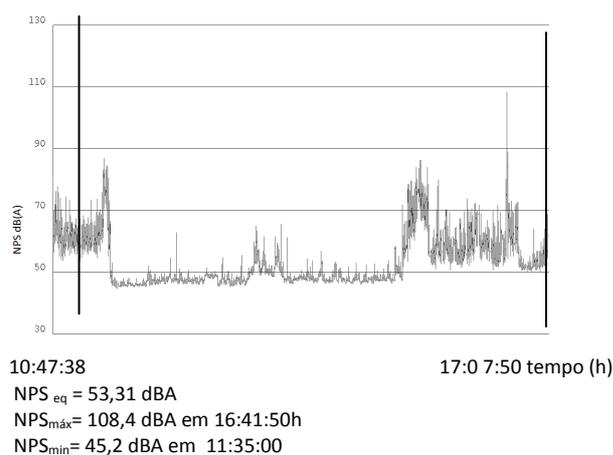
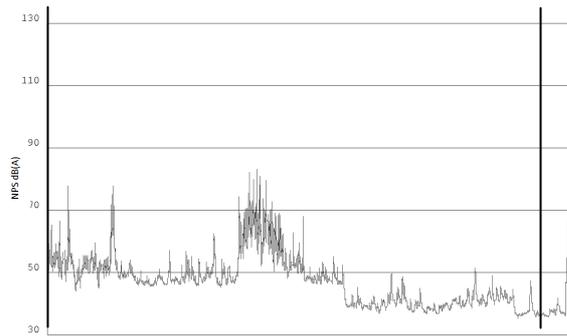


Figura C.21 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1, medidor DEC 490, em 25/04/2010



9:10:30 11:43:35 tempo (h)
 NPS_{eq} = 46,93 dBA
 NPS_{máx} = 83,3 dBA em 10:12:20h
 NPS_{mín} = 35,2 dBA em 11:30:31

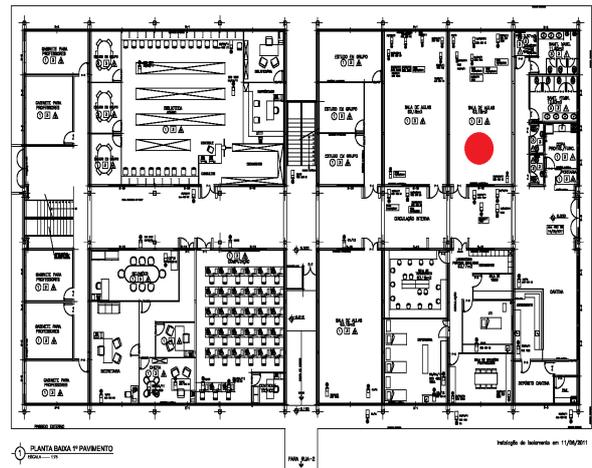
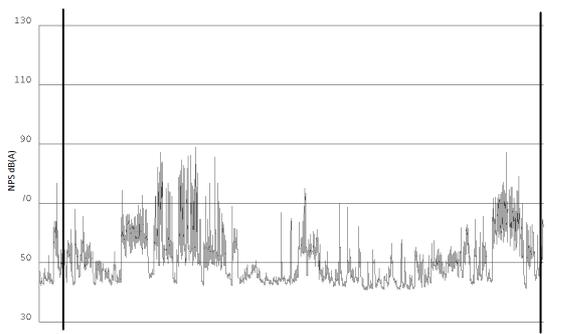


Figura C.22 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 nível 01, medidor DEC 490, em 04/07/2011. Medição realizada após intervenção.



13:49:16 17:28:22 tempo (h)
 NPS_{eq} = 50,5 dBA
 NPS_{máx} = 89,0 dBA em 14:56:25h
 NPS_{mín} = 40,8 dBA em 16:13:14

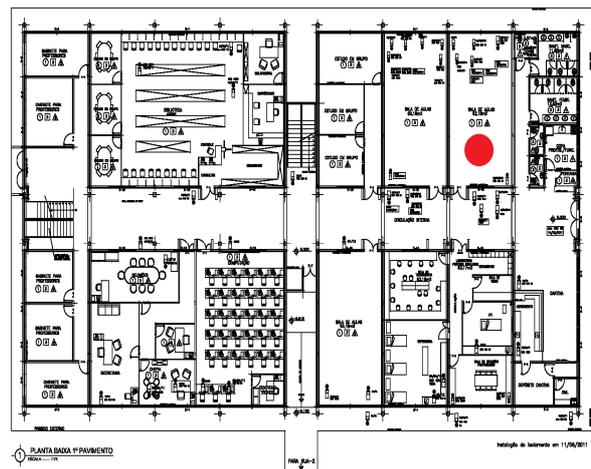
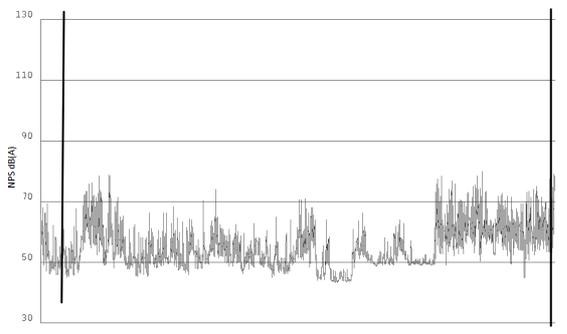


Figura C.23 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1, medidor DEC 490, em 14/06/2011. Medição realizada após intervenção.



13:45:07 7:30:28 tempo (h)
 NPS_{eq} = 54,52 dBA
 NPS_{máx} = 79,9 dBA em 17:01:13h
 NPS_{mín} = 43,4 dBA em 15:54:59h

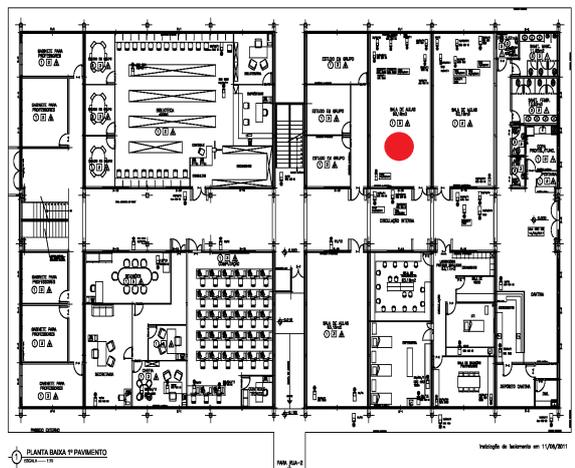


Figura C.24 - Histograma do aparelho instalado na sala 106 (sem intervenção) pav. 1, medidor DEC 490, em 14/06/2011.

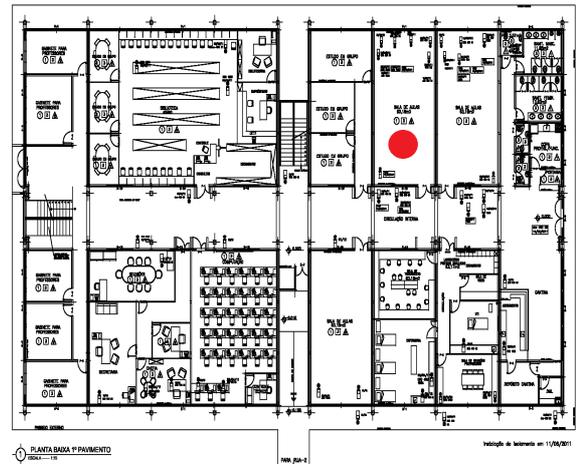
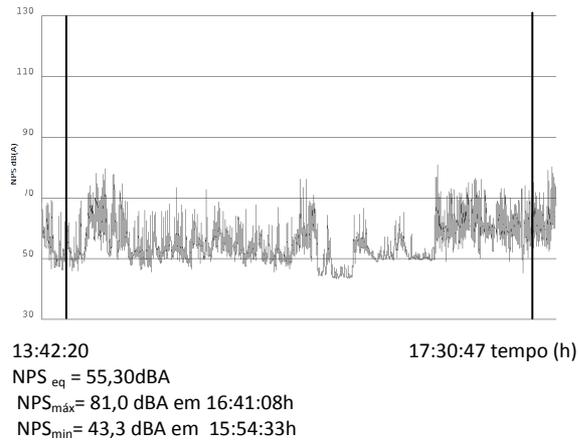


Figura C.25 - Histograma do aparelho instalado na sala 106 nível 01, medidor DEC 490, em 14/06/2011.

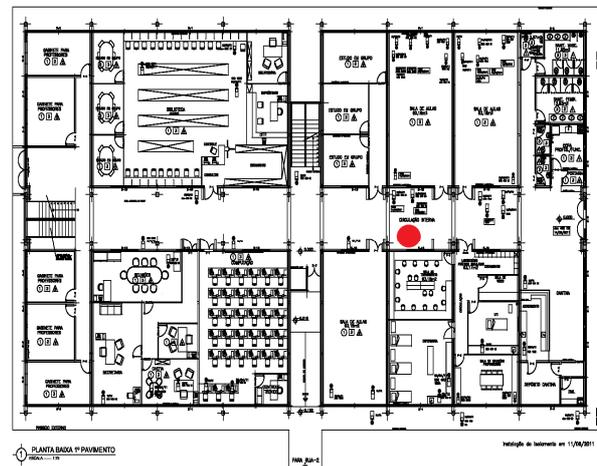
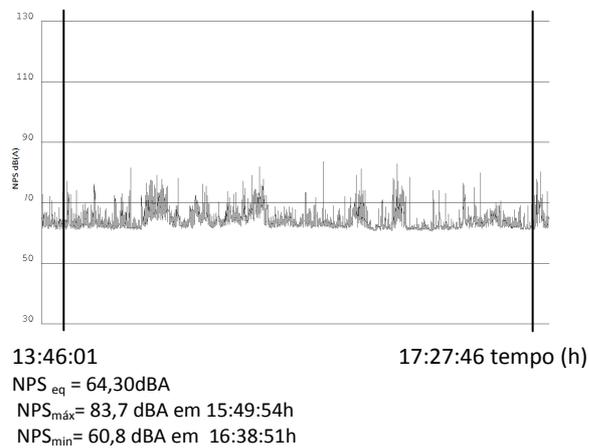


Figura C.26 - Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da sala 106 nível 01, medidor DEC 490, em 14/06/2011.

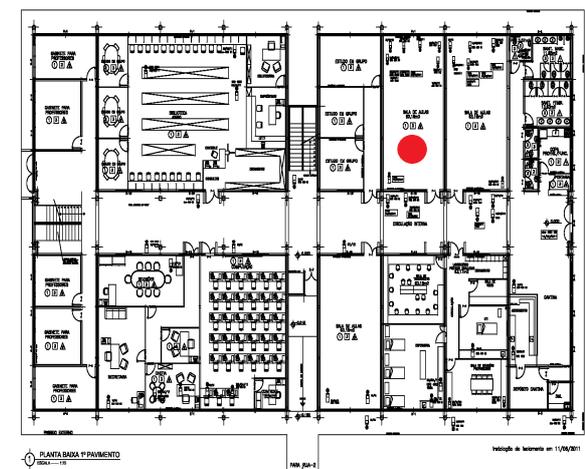
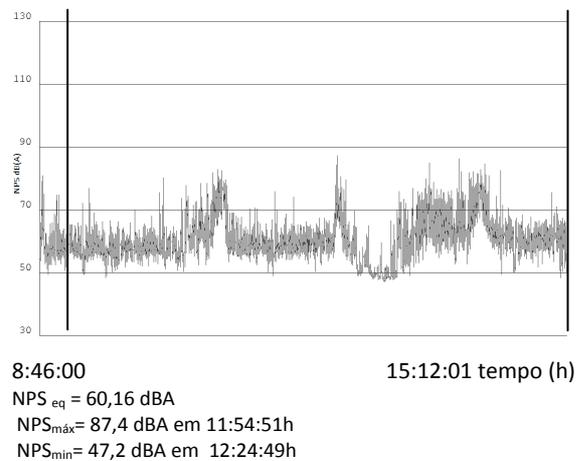


Figura C.27- Histograma do aparelho instalado na sala 106 nível 1, medidor DEC 490, em 20/05/2011.

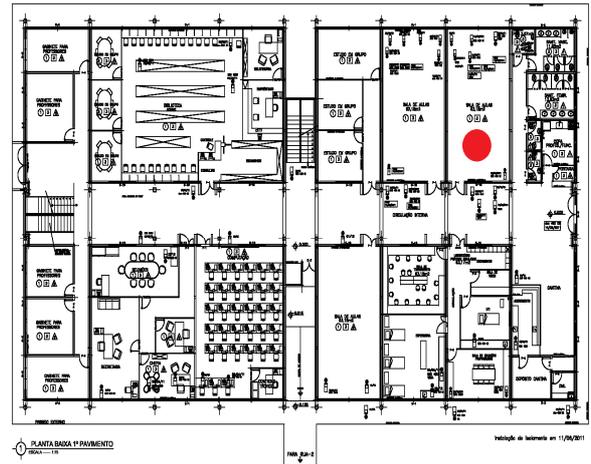
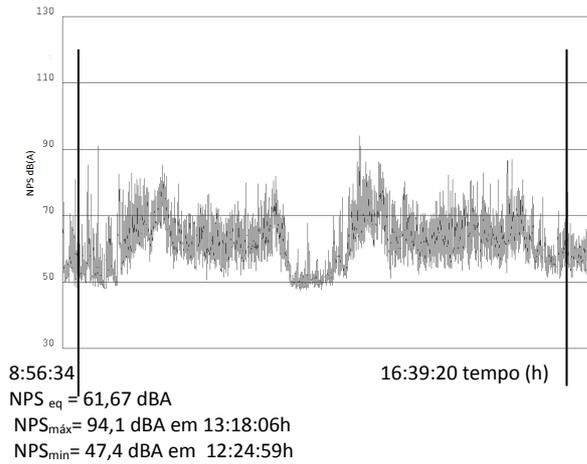


Figura C.28 - Histograma do aparelho instalado no fundo da sala 104, pav. 1, medidor DEC 490, em 20/05/2011.

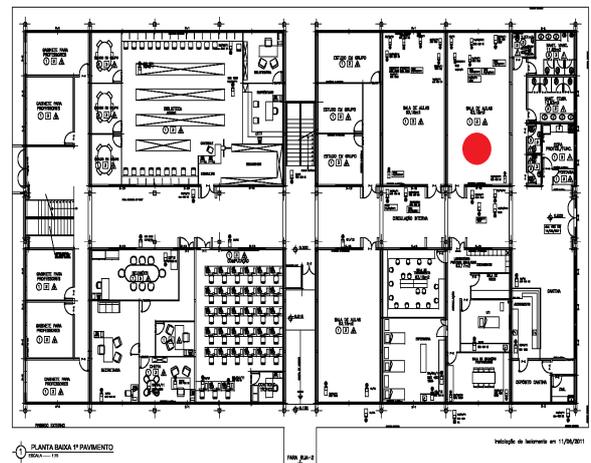
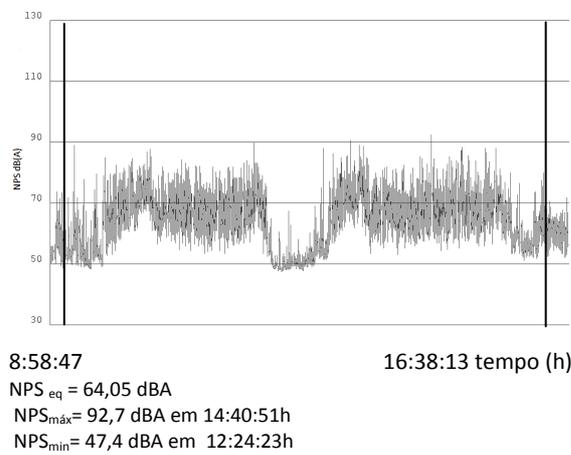


Figura C.29 - Histograma do aparelho instalado na frente da sala 104, pav. 1, medidor DEC 490, em 20/05/2011.

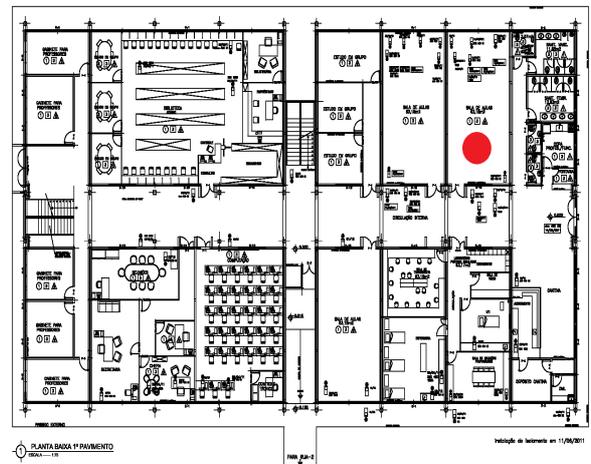
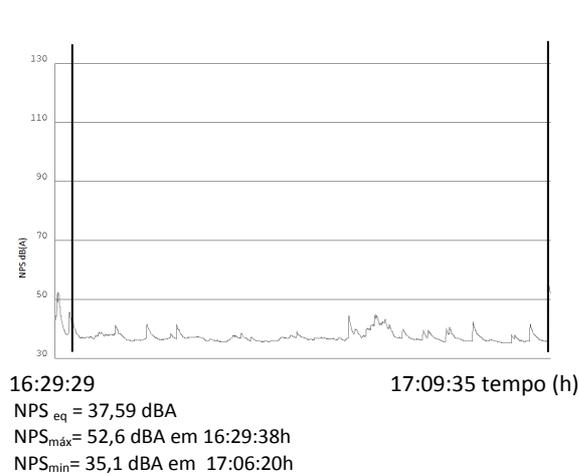


Figura C.30 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1 (vazia e vidros fechados), medidor DEC 490, em 22/06/2011.

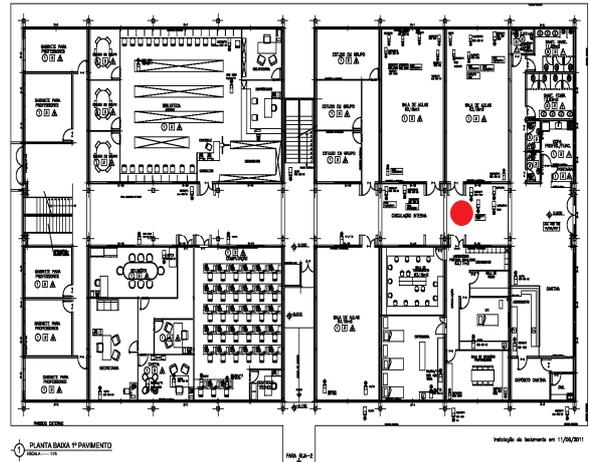
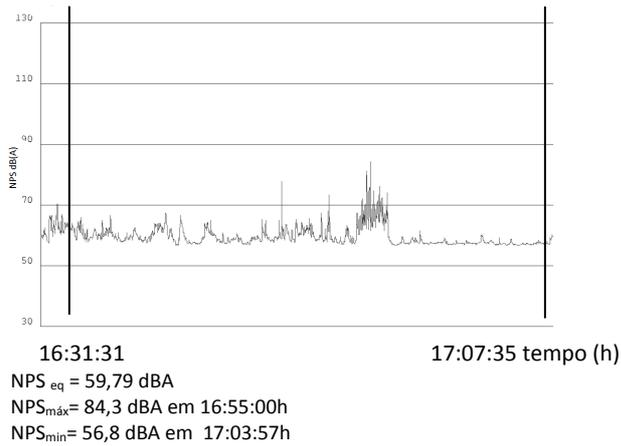


Figura C.31 - Histograma do aparelho instalado corredor próximo a porta da sala 104 pav. 01, medidor DEC 490, em 22/06/2011.

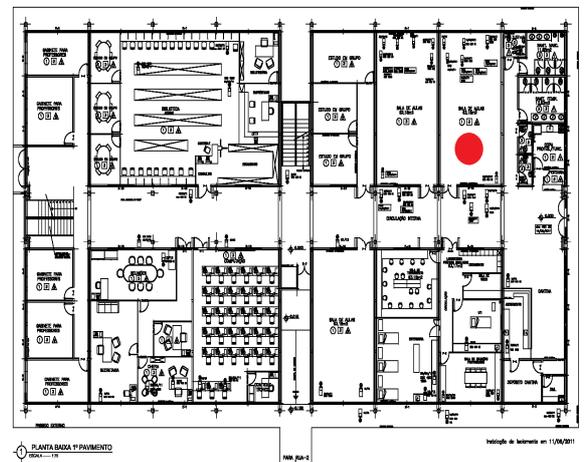
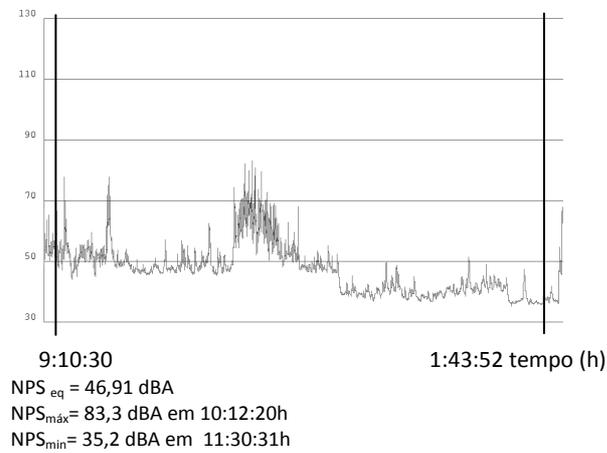


Figura C.32 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 nível 01, medidor DEC 490, em 04/07/2011.

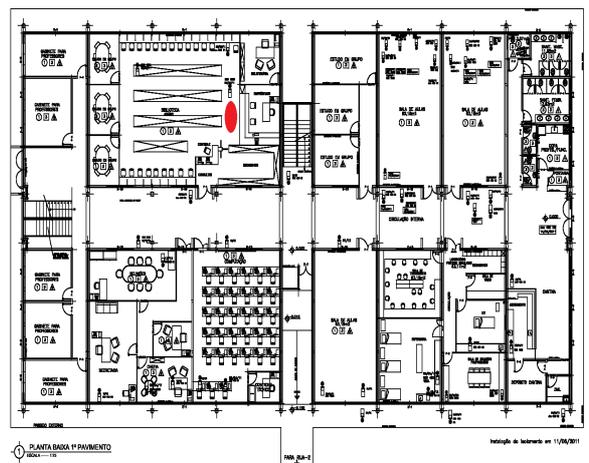
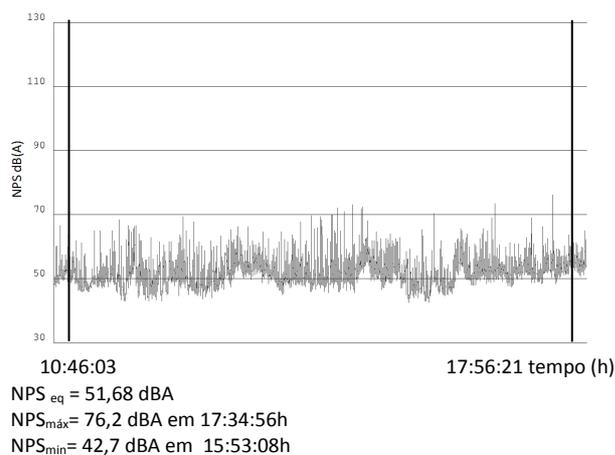


Figura C.33 - Histograma do aparelho instalado na Biblioteca, pav. 1, medidor DEC 490, em 26/04/2011.

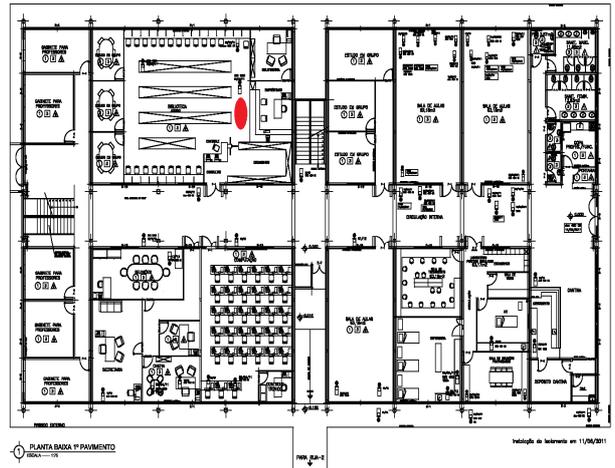
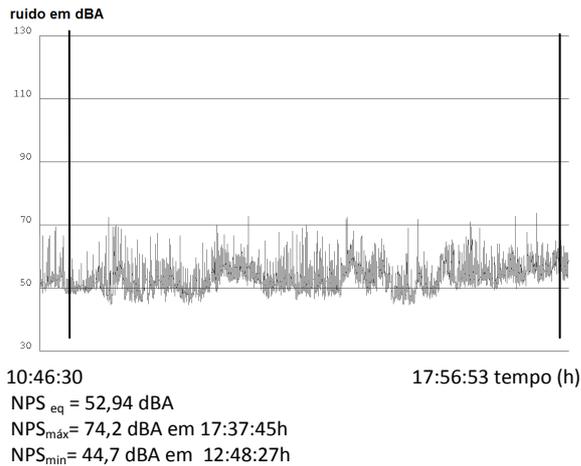


Figura C.34 - Histograma do aparelho instalado na Biblioteca pav. 1, medidor DEC 490, em 26/04/2011.

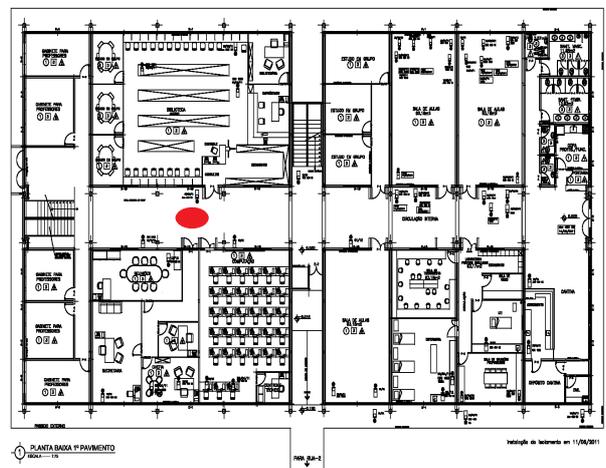
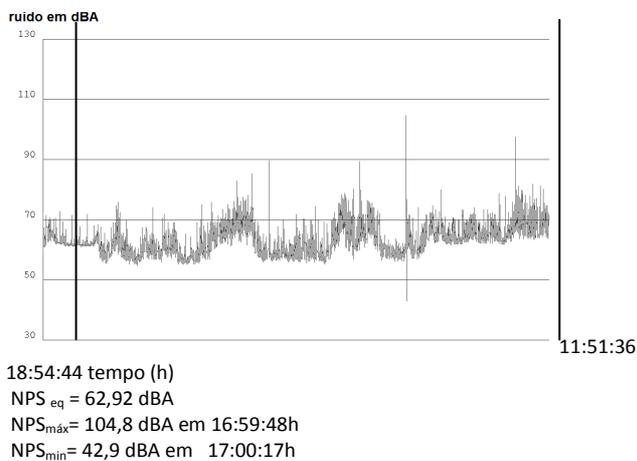


Figura C.35 - Histograma do aparelho instalado no corredor ao lado da Biblioteca nível 01, medidor DEC 490, em 26/04/2011.

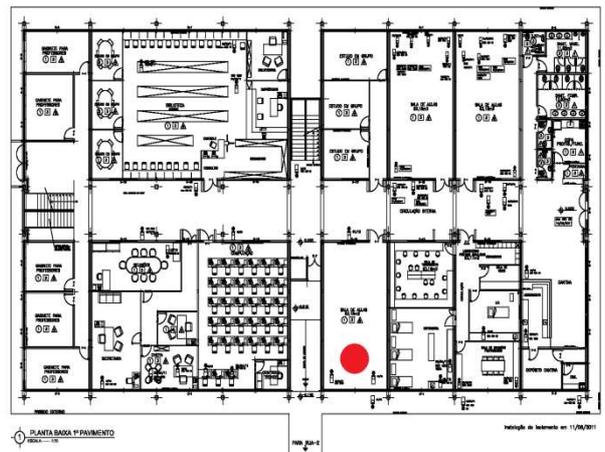
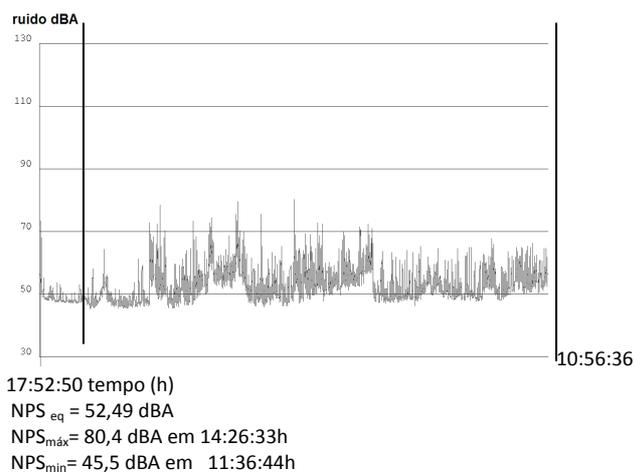


Figura C.36 - Histograma do aparelho instalado na sala de aula 107 primeiro pavimento, medidor DEC 490, em 26/04/2011.

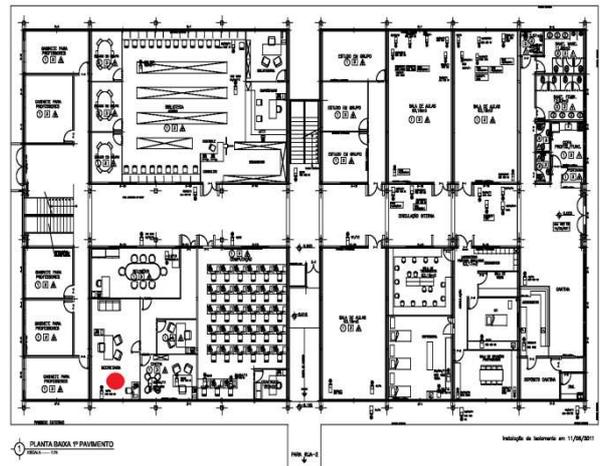
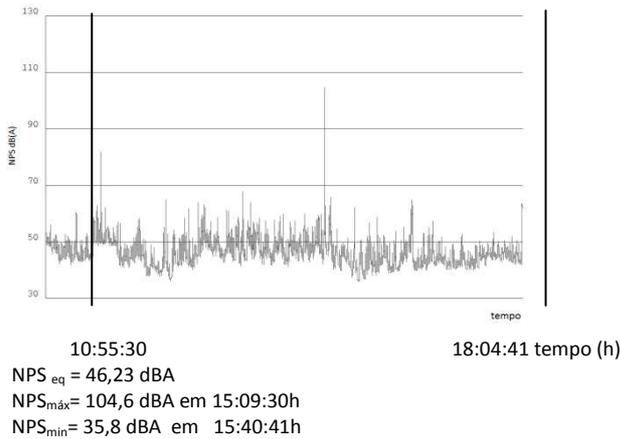


Figura C.37 - Histograma do aparelho instalado na Secretaria pav.1, medidor DEC 490, em 26/04/2011.

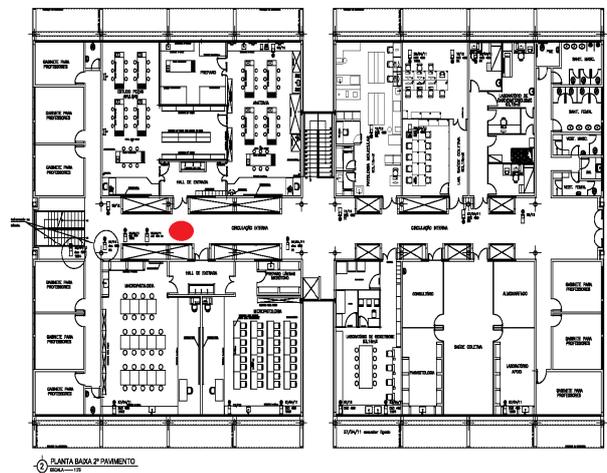
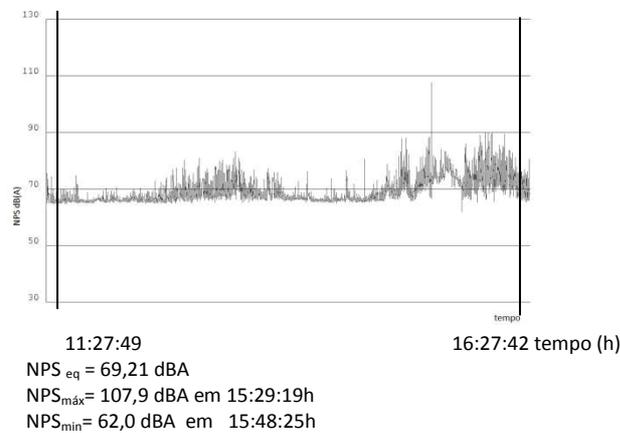


Figura C.38- Histograma do aparelho instalado no corredor em frente a sala de Macropatologia pav.2, medidor DEC 490, em 27/04/2011.

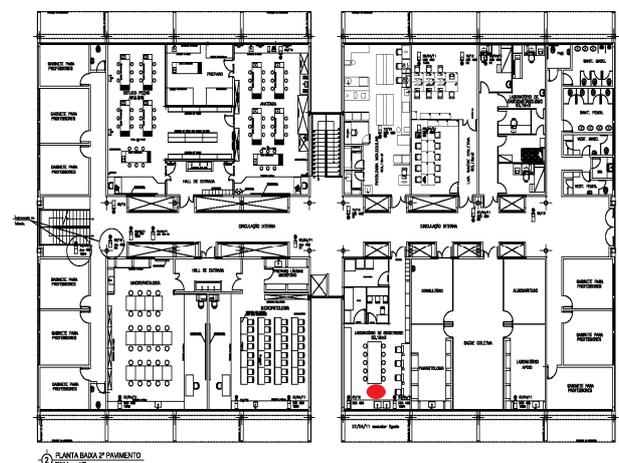
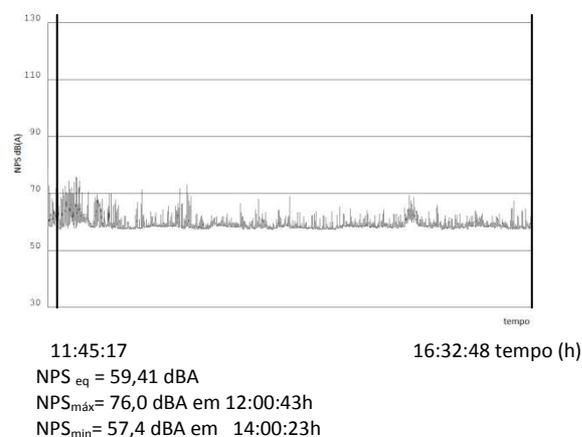


Figura C.39 - Histograma do aparelho instalado no Laboratório de RICKETSIOSE segundo pavimento, medidor DEC 490, em 27/04/2011.

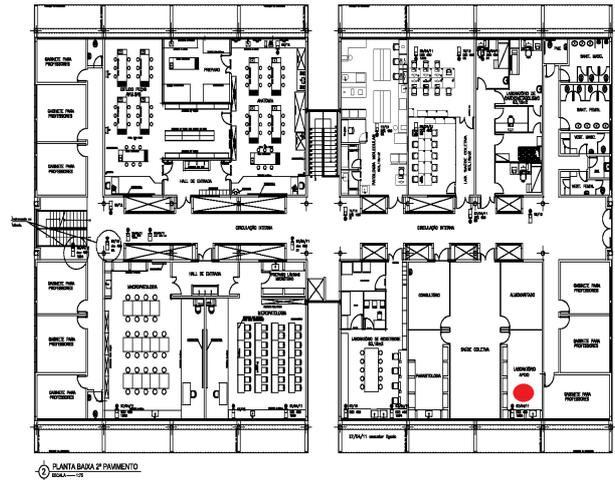
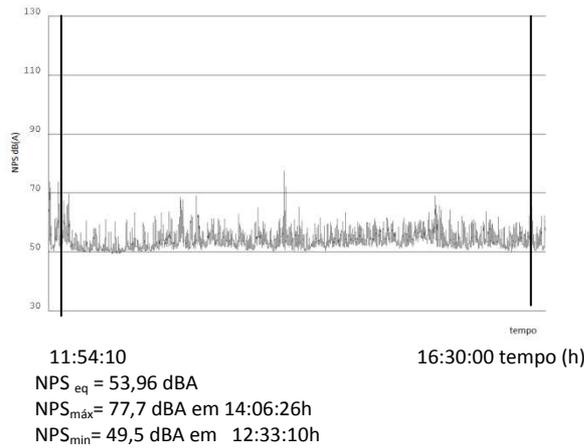


Figura C.40 - Histograma do aparelho instalado no Laboratório de APOIO nível 02, medidor DEC 490, em 27/04/2011.

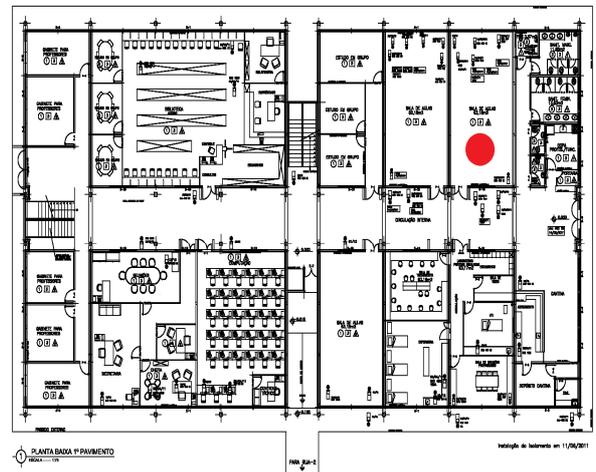
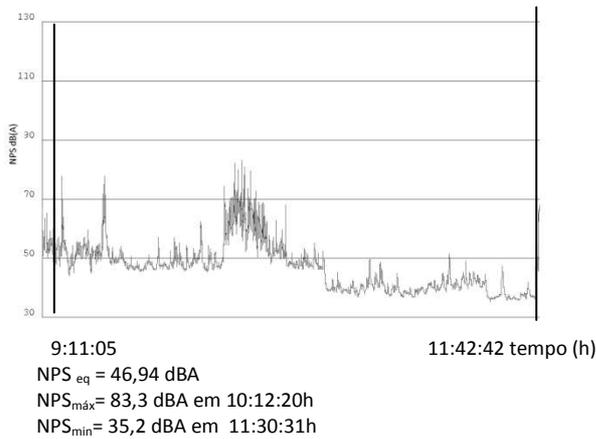


Figura C.41 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 pav. 1 (ocupada e com os vidros fechados), medidor DEC 490, em 04/07/2011.

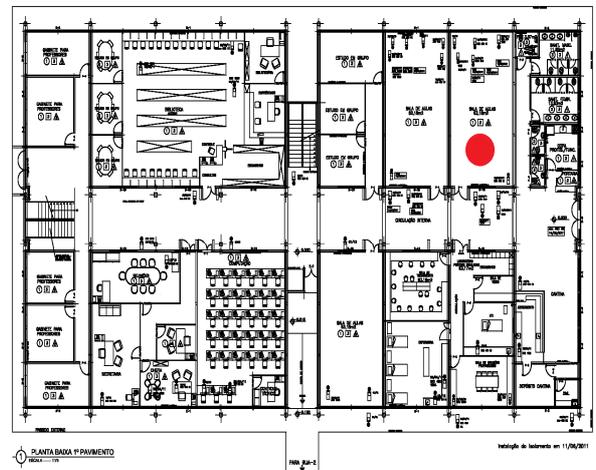
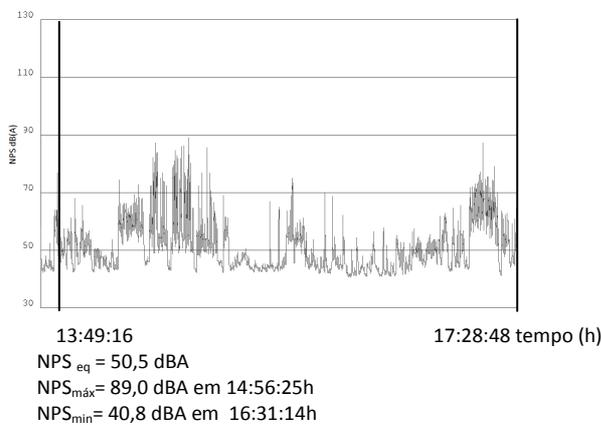


Figura C.42 - Histograma do aparelho instalado na sala 104 nível 01, medidor DEC 490, em 14/06/2011.

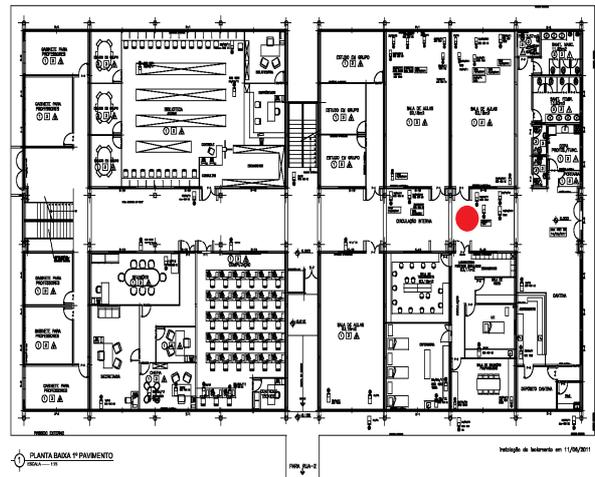
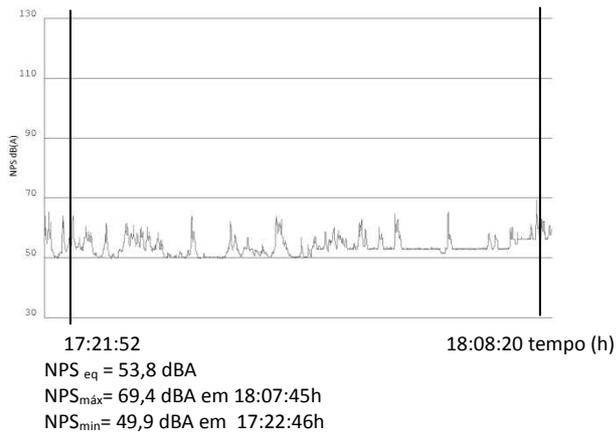


Figura C.43 - Histograma do aparelho instalado no corredor (vazio) ao lado da sala 104 primeiro pavimento, medidor DEC 490, em 20/07/2011.

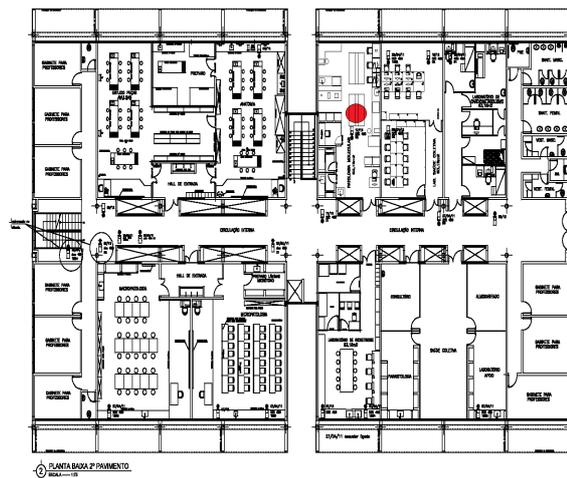
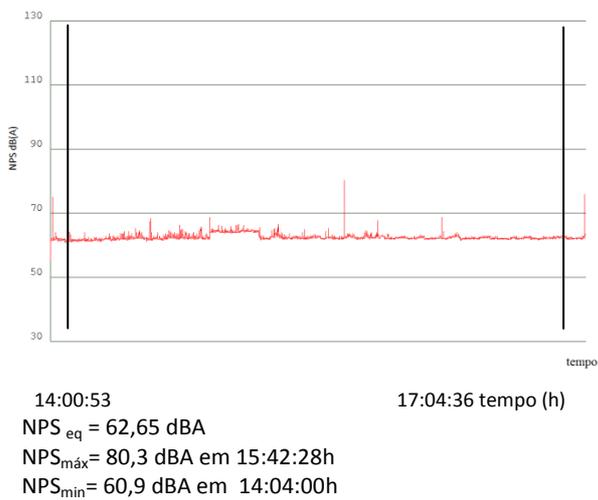


Figura C.44 - Histograma do aparelho instalado no laboratório Patologia Molecular segundo pavimento, medidor DEC 490, em 17/12/2010.