

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CÉSAR RODIGHERI

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA EM AMBIENTES DESTINADOS AO ENSINO:
Estudo de caso da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2013

CÉSAR RODIGHERI

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA EM AMBIENTES DESTINADOS AO
ENSINO: Estudo de caso da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná *campus* Campo Mourão**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado à Disciplina de Trabalho de
Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em
Engenharia Civil, Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, para aprovação de
viabilidade.

Orientadora: Prof^a. Ma. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2013



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 21

AVALIAÇÃO ACÚSTICA EM AMBIENTES DESTINADOS AO ENSINO: Estudo de caso da Universidade Tecnológico Federal do Paraná *campus* Campo Mourão

por

César Rodigheri

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16 horas do dia 06 de setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Ma. Paula Cristina de Souza

(UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer

(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Vera Lúcia Barradas Moreira

(UTFPR)

Responsável pelo TCC: **Prof. Msc. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof^a Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

RODIGHERI, César. **Avaliação acústica em ambientes destinados ao ensino: Estudo de caso da Universidade Tecnológica Federal do Paraná *campus Campo Mourão***. 2013. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

A poluição sonora afeta a saúde e bem estar do ser humano. Em ambientes de ensino há a importância de se ter uma estrutura que favoreça o aprendizado, concentração dos alunos e clareza na fala do professor. Dessa forma foi medido o desempenho acústico de ambientes destinados ao ensino na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão, visando identificar problemas que podem interferir no aprendizado. Os dados foram analisados através de controle estatístico a fim de se obter uma amostra mais uniforme. Em seguida foi realizada análise acústica das amostras que, com exceção do anfiteatro se mostraram fora dos limites estabelecidos por norma. Foi atribuído ao resultado das análises o fato das salas não possuírem nenhum método de isolamento acústico e absorção interna adequado a finalidade que se destinam.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Controle estatístico. Isolamento acústico.

ABSTRACT

RODIGHERI, César. **Evaluation acoustic environments for teaching: A case study of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná *campus* Campo Mourão.**2013. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

Noise pollution affects the health and welfare of the human being. In learning environments there is the importance of having a structure that encourages students' learning and concentration and clarity in the teacher talk. Thus it was measured the acoustical performance of environments for teaching in the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, to identify problems that may interfere with learning. The data were analyzed using statistical control in order to obtain a more uniform sample. Then it was performed acoustic analysis of the samples, and with the exception of the amphitheater, they were outside the limits set by the standards. It was assigned to the result of the analysis the fact that the rooms do not possess any methods of soundproofing and internal absorption suitable for the purpose intended.

Keywords:Acoustic performance.Statistical control.Soundproofing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Localização UTFPR <i>Campus</i> Campo Mourão | 24 |
| Figura 2 - Situação Universidade e Rodovia 369 | 25 |
| Figura 3 - Situação blocos, rampa e ambientes a serem estudados..... | 26 |
| Figura 4 - Distribuição de pontos de coleta em ambiente de ensino | 27 |
| Figura 5 – Decibelímetro utilizado | 29 |
| Figura 6 - Fotografia retirada da janela da sala F102..... | 30 |
| Figura 7 - Fotografia retirada da janela da sala B106 | 31 |
| Figura 8 - Fotografia retirada da janela da sala D102 | 32 |
| Figura 9 - Fotografia retirada no interior do auditório | 35 |
| Figura 10 - Gráfico da variância para sala F102 | 36 |
| Figura 11 - Gráfico da média para sala F102 | 37 |
| Figura 12 - Gráfico da variância após correções para sala F102..... | 37 |
| Figura 13 - Gráfico da média após correções para sala F102 | 38 |
| Figura 14 - Gráfico da variância para sala B106 | 39 |
| Figura 15 - Gráfico da média para sala B106..... | 39 |
| Figura 16 - Gráfico da variância após correções para sala B106..... | 40 |
| Figura 17 - Gráfico da média após correções para sala B106 | 40 |
| Figura 18 - Gráfico da variância para sala D102..... | 41 |
| Figura 19 - Gráfico da média para sala D102..... | 42 |
| Figura 20 - Gráfico da variância após correções para sala D102..... | 42 |
| Figura 21 - Gráfico da média após correções para sala D102 | 43 |
| Figura 22 - Gráfico da variância para sala E007 | 44 |
| Figura 23 - Gráfico da média para sala E007..... | 44 |
| Figura 24 - Gráfico da variância para biblioteca..... | 45 |
| Figura 25 - Gráfico da média para biblioteca | 46 |
| Figura 26 - Gráfico da variância após correções para biblioteca..... | 46 |
| Figura 27 - Gráfico da média após correções para biblioteca | 47 |
| Figura 28 - Gráfico da variância para auditório | 48 |
| Figura 29 - Gráfico da média para auditório..... | 48 |
| Figura 30 - Gráfico da variância após correções para auditório..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 31 - Gráfico da média após correções para auditório | 49 |
| Figura 32 - Gráfico do LAeq referente a cada pontos e medida realizada na sala.... | 51 |
| Figura 33 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada na sala. | 51 |
| Figura 34 - Gráfico do LAeq referente a cada pontos e medida realizada na sala.... | 52 |
| Figura 35 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada na sala. | 53 |
| Figura 36 - Gráfico do LAeq referente a cada pontos e medida realizada na sala.... | 54 |
| Figura 37 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada na sala. | 55 |
| Figura 38 - Gráfico do LAeq referente a cada pontos e medida realizada no | 56 |
| Figura 39 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada no | 57 |
| Figura 40 - Gráfico do LAeq referente a cada pontos e medida realizada na | 58 |
| Figura 41 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada na | 59 |
| Figura 42 - Gráfico com todos os valores amostrais referente a única medição realizada no..... | 60 |
| Figura 43 - Gráfico com o LAeq referente aos 3 pontos da medição realizada no.... | 60 |
| Figura 44 - Planta bloco B - primeira laje | 66 |
| Figura 45 - Planta bloco D – térreo | 67 |
| Figura 46 - Planta bloco D - primeira laje | 68 |
| Figura 47 - Planta bloco E – térreo..... | 69 |
| Figura 48 - Planta bloco E - primeira laje | 70 |
| Figura 49 - Planta bloco F - primeira laje | 71 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Valor do isolamento acústico em diversos materiais por ABNT - 1992... | 16 |
| Quadro 2 - Valores de dB(A) e NC por ABNT - 1987 | 22 |
| Quadro 3 - Dados sala F102 | 50 |
| Quadro 4 - Dados sala B106 | 52 |
| Quadro 5 - Dados sala D102..... | 54 |
| Quadro 6 - Laboratório E007..... | 56 |
| Quadro 7 - Dados Biblioteca | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 OBJETIVOS | 11 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 11 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 11 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 12 |
| 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 4.1 POLUIÇÃO SONORA | 14 |
| 4.2 ARQUITETURA E LAYOUT | 14 |
| 4.3 MATERIAIS E SUAS CARACTERÍSTICAS ISOLANTES | 15 |
| 4.4 DEFINIÇÃO DE SOM E RUÍDO | 17 |
| 4.5 PARÂMETROS BÁSICOS DO SOM | 18 |
| 4.6 RUÍDO DE FUNDO | 21 |
| 4.7 COLETA DE DADOS | 22 |
| 4.8 CONTROLE DE PROCESSO | 22 |
| 5 METODOLOGIA | 24 |
| 5.1 SELEÇÃO DA ÁREA A SER ESTUDADA | 24 |
| 5.2 DEFINIÇÃO DO NÚMERO E DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS | 26 |
| 5.3 DEFINIÇÃO DO DIA, CONDIÇÕES, HORÁRIO E DURAÇÃO DAS MEDIÇÕES | 28 |
| 5.4 EQUIPAMENTO UTILIZADO | 28 |
| 6 RESULTADOS | 30 |
| 6.1 ANÁLISE EXTERNA DOS AMBIENTES | 30 |
| 6.1.1 Sala F102 | 30 |
| 6.1.2 Sala B106 | 31 |
| 6.1.3 Sala D102 | 31 |
| 6.1.4 Laboratório E007 | 32 |
| 6.1.5 Biblioteca | 33 |
| 6.1.6 Anfiteatro | 33 |
| 6.2 ANÁLISE INTERNA DOS AMBIENTES | 33 |
| 6.2.1 Sala F102 | 34 |
| 6.2.2 Sala B106 | 34 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 6.2.3 Sala D102..... | 34 |
| 6.2.4 Laboratório E007 | 34 |
| 6.2.5 Biblioteca..... | 34 |
| 6.2.6 Auditório | 35 |
| 6.3 CONTROLE DO PROCESSO | 36 |
| 6.3.1 Sala F102 | 36 |
| 6.3.2 Sala B106..... | 38 |
| 6.3.3 Sala D102..... | 41 |
| 6.3.4 Laboratório E007 | 43 |
| 6.3.5 Biblioteca..... | 45 |
| 6.3.6 Auditório | 47 |
| 6.4 ANÁLISES ACÚSTICAS..... | 50 |
| 6.4.1 Sala F102 | 50 |
| 6.4.2 Sala B106..... | 52 |
| 6.4.3 Sala D102..... | 53 |
| 6.4.4 Laboratório E007 | 55 |
| 6.4.5 Biblioteca..... | 57 |
| 6.4.6 Auditório | 59 |
| 7 CONCLUSÕES | 62 |
| 8 REFERÊNCIAS..... | 64 |
| ANEXO A..... | 66 |
| BLOCO B – PRIMEIRA LAJE | 66 |
| BLOCO D - TERREO..... | 67 |
| BLOCO D – PRIMEIRA LAJE | 68 |
| BLOCO E - TÉRREO | 69 |
| BLOCO E – PRIMEIRA LAJE | 70 |
| BLOCO F – PRIMEIRA LAJE..... | 71 |

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento das cidades e desenvolvimento industrial traz consigo alguns efeitos agressivos ao meio ambiente. Um dos principais efeitos que afeta a população é o aumento do nível de poluição sonora nos meios urbanos.

Pensando nisso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, desenvolveu índices que definem o nível de ruído e pressão sonora aceitáveis em diferentes ambientes.

Em ambientes de ensino, a importância de se manter esses níveis dentro do intervalo estipulado pelas normas, é a necessidade de se ter uma estrutura que favoreça o aprendizado, concentração dos alunos e clareza na fala do professor. Um ambiente ruidoso causa estresse e deficiência no aprendizado.

Foram avaliadas salas distribuídas em diferentes pontos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão. Estas salas estão próximas a locais onde há um grande volume de pessoas transitando durante o dia e foram caracterizadas em relação ao tipo de aula a ser ministrada. Esses ambientes possuem em suas proximidades, potenciais fontes de ruído que agravam as características de ruído de fundo dos ambientes, como por exemplo laboratórios e uma rodovia.

Para tal, foram levantadas as características arquitetônicas, construtivas e materiais utilizados que influenciam de forma positiva ou negativa, na acústica dos ambientes. Posteriormente foram aferidos os níveis acústicos das salas e confrontados com as normas vigentes.

Assim foi possível medir o desempenho acústico dos ambientes destinados ao ensino na Universidade e identificar os principais problemas que interferem no aprendizado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho acústico de ambientes destinados ao ensino na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Campo Mourão, visando identificar problemas que podem interferir no aprendizado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar as características arquitetônicas e construtivas de salas, anfiteatro e biblioteca.
- Utilizar a ferramenta do controle estatístico do processo para verificar a uniformidade dos dados.
- Analisar o desempenho quanto a acústica dos ambientes medidos e associar as características construtivas.
- Propor soluções para os principais problemas acústicos encontrados.

3 JUSTIFICATIVA

Durante décadas, a construção civil no Brasil, esteve estagnada em relação ao desenvolvimento e uso de novos materiais e métodos, implicando em muitos edifícios com características antigas e que não atendem as normas vigentes. Este cenário tem mudado e hoje é possível observar o emprego de novos materiais, mais leves, acessíveis e de fácil aplicação, porém, alguns problemas continuam existindo e são por vezes agravados, devido a deficiência na concepção dos projetos. São exemplos os tratamentos acústico, luminoso e térmico.

Segundo Oliveira (2006), a falta de conhecimento e de algumas tecnologias construtivas, além do uso inadequado de materiais de construção pode transformar um ambiente de forma que este não ofereça condições acústica ideais.

A avaliação do conforto acústico em ambientes por meio de medições, já é estudada e aplicada há algumas décadas. O desenvolvimento das cidades, teve como consequência o aumento do ruído ambiental considerável e passou a interferir diretamente na vida das pessoas. A poluição sonora é um fator preocupante que cresce a cada dia, principalmente devido ao aumento do tráfego de veículos, crescimento das atividades de construção civil e uso de equipamentos ruidosos (OLIVEIRA, 2006).

A acústica em espaços destinados ao aprendizado é tema de importância para o ensino e qualidade de vida, podendo assim ser evitado problemas de saúde. Uma boa acústica pode proporcionar um melhor rendimento dos estudantes, dessa forma, estudos na área de acústica arquitetônica são grandes aliados para a conscientização e melhora de espaços escolares (VASCONSELOS E NAKATA 2013).

“Uma vez que o ambiente escolar foi desenvolvido para maximizar as potencialidades humanas, é imprescindível que este esteja adequado à finalidade a que se destina” (ENIZ, 2004).

Em teatro ou auditório, é visível a preocupação com questões acústicas, é comum verificar a aplicação de um tratamento específico, com materiais dimensionados, a fim de reproduzir com qualidade e inteligibilidade tudo que o orador busca transmitir e de forma que o ouvinte tenha conforto e concentração na

apresentação. Não há o mesmo cuidado na grande maioria das salas de aula, cujo princípio é o mesmo.

Dentro da Universidade se faz necessário, para o processo de aprendizagem, a concentração contínua. Ruídos nesse processo interferem e prejudicam o desempenho. O objetivo principal desse trabalho é analisar o desempenho acústico de salas de aula da Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Campo Mourão, através do cálculo da pressão sonora e ruído de fundo, comparando com os dados apresentados em norma.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 POLUIÇÃO SONORA

“No corpo humano, o ouvido é o sensor responsável pela percepção acústica. Sua exposição a níveis de pressão sonora elevados por um longo espaço de tempo pode causar perdas irreparáveis”(OLIVEIRA, 2006).

Autoridades médicas de todo o mundo reconhecem que, nos últimos anos, as doenças nervosas vêm aumentando e são atribuídas, em grande parte, devido ao aumento da influência da interferência do ruído nos ambientes (OLIVEIRA, 2006).

Segundo Beranek:

(...) usuários de ambientes ruidosos incluem: perda temporária ou permanente de audição em trabalhadores de fábricas; comunicação verbal pobre em salas de conferências; incapacidade de concentração em salas de aula ou bibliotecas; e inadequado isolamento de fala em escritórios panorâmicos. Para modificar campos sonoros e melhorar as condições acústicas o projetista deve entender as relações entre as fontes sonoras, a sala e seus componentes, e as características do campo sonoro do ambiente (BERANEK, 1992 apud OLIVEIRA, 2006):

O corpo é afetado de forma física e psicológica, que tem como alguns dos efeitos, a instabilidade de humor, redução do desempenho, infarto, alterações emocionais como depressões e excitações, agressividade, estresse entre outros males. Esses efeitos são intensificados em indivíduos com predisposições (ENIZ, 2004).

4.2 ARQUITETURA E LAYOUT

“A arquitetura pode prevenir futuros problemas, sendo esta a melhor alternativa, pois otimiza o custo e a manutenção da construção e os possíveis ajustes, tanto quanto economiza em recursos financeiros.” (SEEP 2002 apud DIAS, 2009).

A principal causa dos problemas acústicos nos ambientes escolares e salas de aula não se dá pela limitação de recursos e sim pela falta de percepção dos profissionais envolvidos. O ideal é que ainda na fase de projeto seja previsto as fontes de ruído e o grau de incômodo que os mesmos possam provocar afim de que sejam devidamente tratados nessa etapa (SEEP2002 apud DIAS, 2009).

Em acústica arquitetônica a geometria da sala, forma, volume, e o tipo de material utilizado na construção e no revestimento são importantes para um bom desempenho da edificação. A fonte de ruído pode estar tanto do lado de dentro quanto de fora da edificação, por isso alguns fatores acústicos devem ser analisados, como o local da fonte e do receptor. Um ambiente fechado provoca alguns fenômenos acústicos, como a reverberação, porque as ondas sonoras encontram na sua propagação barreiras físicas, o que não acontece em ambientes livres (OLIVEIRA, 2006).

“O ruído pode ser tratado de forma semelhante aos problemas provocados pela radiação solar, onde é essencial produzir obstáculos para impedir ou dificultar a sua chegada ao ambiente construído” (THOME, 2011).

Ainda segundo Thome (2011), os intervalos de frequências do som são absorvidas de formas diferentes pelas superfícies diferentes. Assim como absorção alguns fenômenos como eco e reverberação também ocorrem de formas variadas e devem ser tratados com cuidado. Superfícies côncavas, concentram as ondas sonoras enquanto as convexas espalham. É prudente não conter aberturas em fachadas expostas a ruídos intensos e as mesmas devem possuir um revestimento poroso afim de se absorver o som. Também considera importante ser pensadas barreiras acústicas em janelas.

4.3 MATERIAIS E SUAS CARACTERÍSTICAS ISOLANTES

Para o tratar do ruído de fontes externas, é fundamental um correto dimensionamento dos materiais a ser utilizados nas faces da estrutura do ambiente.

Segundo a NBR 12179 – Tratamento Acústico em Recintos Fechados, o isolamento acústico deve ocorrer através do uso adequado de materiais capazes de permitir a necessária impermeabilidade acústica, previamente fixada.

Segue abaixo quadro com valores de isolamento acústico segundo a NBR 12179.

| Material | Isolamento acústico em decibels (500 Hz) (dB) |
|---|---|
| Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 10 cm) | 45 |
| Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 20 cm) | 50 |
| Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 30 cm) | 53 |
| Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 40 cm) | 55 |
| Alvenaria de tijolo furado (espessura de 25 cm) | 10 |
| Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-Board" (espessura de 12 mm) | 18 |
| Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-Board", com camada de ar intermediária de 10 cm | 30 |
| Chapas ocas de gesso (espessura de 10 cm) | 24 |
| Compensado de madeira (espessura de 6,0 mm) | 20 |
| Compensado de madeira (espessura de 6,0 mm) duas placas com camada de ar intermediária de 10 cm | 25 |
| Concreto - laje entre pavimentos | 68 |
| Vidro de janela (espessura de 2,0 a 4,0 mm) | 20 a 24 |
| Vidro grosso (espessura de 4,0 a 6,0 mm) | 26 a 32 |
| Vidro de fundição (espessura de 3 a 4 mm) uma placa | 24 |
| Vidro de fundição (espessura de 3 a 4 mm) duas placas com camada de ar intermediária | 36 |

Quadro1 - Valor do isolamento acústico em diversos materiais por ABNT - 1992
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas 1992 (ABNT, 1992)

4.4 DEFINIÇÃO DE SOM E RUÍDO

Segundo Ferreira (2010), o som pode ser descrito como vibrações mecânicas que produzem deslocamentos oscilatórios das partículas do meio circundante. Essas oscilações, se propagam até os ouvidos e conseqüentemente, causam oscilações nos tímpanos, que são mecanismos internos de transmissão. Os tímpanos, estimulam os nervos auditivos e transmite ao cérebro uma sensação percebida como o som.

O ruído é, usualmente, caracterizado por um som não desejado, como por exemplo uma torneira pingando ou ruído do tráfego (EVEREST & POHLMANN, 2005, pg. 80). O volume do som não precisa ser alto para ser incômodo e mesmo a música, que não é considerada um ruído, por ser um som harmônico, pode, em determinadas condições, provocar desconforto na audição (FERREIRA, 2010). Um sistema de reprodução de áudio pode produzir sons desejados pelo proprietário, mas a um vizinho pode ser considerado intrusivo. O ruído também pode ser considerado informativo, pois, é utilizado para obter informações referentes a qualidade acústica de uma sala, o barulho de um automóvel transmite informações sobre a forma como ele está sendo conduzido. Uma sirene de ambulância ou caminhão de incêndio é especificamente projetado para levar informações importantes (EVEREST & POHLMANN, 2005, pg. 80).

A avaliação do nível de ruído é subjetiva. Geralmente, uma frequência elevada de ruído é mais irritante que uma baixa frequência. Um ruído intermitente é mais irritante que um ruído contínuo. Ruídos em movimento e não localizado são mais irritantes que ruídos fixos e localizados. Independente da fonte e forma do ruído, ele pode ser incomodo e causar sérios danos a audição (EVEREST & POHLMANN, 2005, pg. 83).

O ruído é um fonte importante para medição em acústica. Para se fazer uma medição sonora, é comum classificar o ruído do espaço de acordo com a situação do ambiente acústico no momento específico (NAGEM, 2004). Este ruído não é diferente dos ruídos indesejados, porém, neste caso, é visto em outra categoria, como sendo um ruído específico. É próprio do ambiente a ser estudado (EVEREST & POHLMANN, 2005, pg. 83).

4.5 PARÂMETROS BÁSICOS DO SOM

Segundo Ferreira (2010), Os parâmetros básicos do som são pressão sonora, potência sonora e intensidade sonora.

A fonte produz uma quantidade de energia sonora por unidade de tempo (J/s), ou seja uma potência sonora. A potência sonora permite avaliar a energia sonora que a fonte produz. A propagação se dá de forma radial através das moléculas do meio. Essas partículas sofrem deslocamentos em relação às suas posições de equilíbrio causando flutuações de pressão. Essas flutuações denominam-se de pressão sonora. A unidade usual para a pressão sonora é o Newton por metro quadrado (N/m^2), ou Pascal (Pa) (FERREIRA, 2010).

Já em termos de intensidade sonora, podemos descrever a mesma como a potência sonora por unidade de área em uma determinada direção. Pode também ser definida como uma média no tempo da quantidade de energia que é transportada pela onda, por unidade de área ao longo do tempo (FERREIRA, 2010).

A equação abaixo descreve o cálculo em termos de intensidade sonora.

$$I = \text{Pressão} \times \text{Velocidade} = \text{Força}(\text{Área})^{-1} \times \text{Distância}(\text{Tempo})^{-1} = \text{Energia}(\text{Área} \times \text{Tempo})^{-1}$$

“Os valores de intensidade de energia sonora audíveis para um valor referencial de tom de 1000 Hz (valor de referência) varia de 10^{-12} W/m^2 a 10^2 W/m^2 no Sistema Internacional de Medidas (SI)” (ENIZ, 2004).

O valor de referência é considerado 1000 Hz pois, é o menor valor de intensidade de energia audível para o ouvido humano normal (ENIZ, 2004).

Ferreira (2010), coloca que se traduzir a resposta do ouvido humano através de uma função matemática, temos que o ouvido não responde de uma forma linear a esses estímulos, e sim de forma próxima a escala logarítmica. Não é prático a aplicação direta de escalas lineares à gama de frequências audíveis devido a escala muito grande. Temos como melhor opção a utilização de uma escala logarítmica.

O sistema auditivo humano é capaz de responder a uma grande gama de variações de pressão ou de intensidade de energia sonora. O som mais intenso que o ouvido pode receber sem sensação de dor tem cerca de 10^6 vezes a pressão sonora do mais fraco som audível. Afim de facilitar a leitura da variação de intensidade e pressão sonora audível, foi adotado como unidade de medida o submúltiplo do *bel*, o Decibel - dB (ENIZ, 2004).

“Deu-se o nome de Bel ao resultado do logaritmo da relação entre determinada intensidade e a intensidade de referência” (NEPOMUCENO, 1994, pg 50, apud ENIZ, 2004).

Levando se em consideração o nível de intensidade sonora (NIS), tem-se:

$$\text{NIS} = 10 \log (I/I_0)$$

em que:

I é a intensidade sonora em W/m^2

I_0 é a intensidade de referência = 12 W/m^2

O mesmo vale para o nível de pressão sonora e seus valores característicos.

O nível de pressão sonora expresso em decibéis é uma forma conveniente de apresentar as milhares de faixas de pressão sonora que o ouvido é sensível (EVEREST & POHLMANN, 2005, pg. 19). O decibel expressa a razão logarítmica entre pressão, potência ou intensidade sonora, com a respectiva grandeza de referência (SEEP et al., 2002 apud OLIVEIRA, 2006).

Utiliza-se o valor logarítmico do nível de pressão sonora no lugar da amplitude sonora, pois representa a forma como o ouvido humano interpreta o som (SEEP et al., 2002 apud OLIVEIRA, 2006). Segundo Everest & Pohlmann (2005, pg. 22), a intensidade do som é um parâmetro difícil de se medir, sendo o nível de pressão sonora um parâmetro mais acessível para medições acústicas. Este é aproximadamente igual a intensidade sonora.

O ruído é variável ao longo do tempo tendo alguns valores máximos (picos), e mínimos (quebras). Por se tornar inviável tratar o sinal com uma dispersão grande de valores, houve a necessidade de desenvolver uma grandeza média que ponderasse os valores, denominada nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}). Este método traduz o nível sonoro de um som contínuo equivalente que

contem a mesma energia do ruído, no mesmo intervalo de tempo medido(FERREIRA, 2010).

O nível de pressão sonora equivalente, L_{Aeq} , foi ponderado no circuito de compensação “A” devido ao ouvido humano não ser igualmente sensível a todas as frequências (GERDES, 2000, pg. 53 apud ENIZ, 2004). Os circuitos de compensação dos aparelhos medidores são usados para que o mesmo efetue medições de ruído de acordo com a sensibilidade do ouvido humano. Neste caso, essa compensação ou ponderação é dada pela curva “A” pois atenua os graves e dá maior ganho para a banda de 2 kHz a 5 kHz, faixa em que o ouvido humano é mais sensível, e volta a atenuar levemente os sons agudos (FERNANDES, 2002 apud ENIZ, 2004).

Alguns aparelhos fazem automaticamente a medição acústica da pressão sonora equivalente. Quando não disponível, é possível obter o valor através de cálculos matemáticos e uma fonte de dados.

A NBR 10151 define os parâmetros necessários para correta medição dos níveis de pressão sonora e especifica um método alternativo para o calculo do nível de pressão sonora equivalente em dB(A).

Para o calculo do nível de pressão sonora equivalente deve ser utilizada a seguinte expressão:

$$L_{Aeq} = 10 \log [(1/n) \sum_{i=1}^n 10^{(L_i/10)}]$$

em que:

L_{Aeq} representa o nível contínuo estacionário equivalente em dB(A), que tem a mesma energia que o nível variável considerado;

L_i é o nível de pressão sonora, em dB (A), que lido em resposta rápida (fast) a cada 5s durante o tempo de medição do ruído;

n é o número total de leituras.

4.6 RUÍDO DE FUNDO

Segundo Eniz (2004), é essencial a capacidade de escutar para que a comunicação entre o professor e os estudantes possa ocorrer e, aos últimos, é requerido um tempo maior nesse comportamento. Por vezes, a comunicação pode ser comprometida pela intensidade insuficiente da voz do professor. Outras vezes, é o ruído excessivo que, tanto no interior quanto fora da sala de aula, exerce um efeito prejudicial sobre a mensagem falada.

O ruído de fundo pode ser medido durante o período de recesso escolar ou com a escola em atividade normal. Para tanto, é necessário que a sala de aula esteja vazia, para que se possa mensurar os ruídos advindo das áreas externas e/ou adjacentes. Ruídos como os provenientes de tráfego de veículos, ou ruídos transitórios, como os de motores de avião, são considerados ruídos ambientais e a princípio não fazem parte desse tipo de ambiente; por isso, são considerados como ruído de fundo. São situações a serem gerenciadas, visto que, os ambientes escolares, por vezes, estão localizadas em regiões que sofrem os efeitos do tráfego urbano (ENIZ, 2004).

Vários estudos foram realizados afim de desenvolver um critério que avalia o ruído de fundo de um ambiente com um valor único. Esses valores são conhecidos como curvas NC e são um conjunto de níveis pressão sonora pré-definidos em função de frequências em bandas de 1/1 oitava. São comparadas com os valores medidos no ambiente (GERGES, 2000 apud OLIVEIRA, 2006).

A NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto, fixa os níveis de ruído de fundo compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos. Para tal faz uso de parâmetros NC para indicar os valores de nível de ruído de fundo ideais para determinados ambientes. Possui também valores que variam em uma faixa de nível de pressão sonora medidos em dB(A), onde o valor inferior representa o nível sonoro para conforto desejável, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para ruído de fundo. Níveis superiores aos que constam na norma são considerados de desconforto, sem necessariamente provocar danos à saúde (ABNT, 1987).

| Locais | dB(A) | NC |
|--|---------|---------|
| Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho | 35 - 45 | 30 - 40 |
| Salas de aula, Laboratórios | 40 - 50 | 35 - 45 |
| Circulação | 45 - 55 | 40 - 50 |

Quadro 2 - Valores de dB(A) e NC por ABNT - 1987

Fonte: Adaptada Associação Brasileira de Normas Técnicas 1987 (ABNT, 1987)

4.7 COLETA DE DADOS

Segundo a NBR-10151 (2000), recomenda-se que para coleta de dados no interior de edificações as medições devem ser tomadas com distância mínima de 1m de quaisquer superfícies como paredes, teto, pisos e moveis. O nível de pressão sonora é resultado da média aritmética de três valores medidos em três posições distintas, com no mínimo 0,5 metros entre uma e outra.

4.8 CONTROLE DE PROCESSO

Quando se busca analisar dados é necessário que se haja uma confiança e qualidade nos valores disponíveis. Ferramentas de controle de processos indicam os limites que não devem ser ultrapassados para que haja segurança nos dados obtidos.

Segundo Montgomery (2004) Ao lidar com uma característica da qualidade que é uma variável, é usual monitorar tanto o valor médio da característica como a sua variabilidade. O controle da média do processo ou do nível médio da qualidade é feito através do gráfico de controle para médias, ou gráfico \bar{X} . A variabilidade do processo pode ser monitorada pelo gráfico para a amplitude, chamado gráfico \bar{R} . O gráfico \bar{R} é mais usado. Em geral, mantêm-se os dois gráficos separados para cada uma das características da qualidade de interesse.

É importante manter controle tanto sobre a média quanto sobre a variabilidade do processo.

Ao aplicar os métodos, o Limite Inferior de Controle (LIC) e o Limite Superior de Controle (LSC) aparecem balizando os dados. Quando um ou mais valores de \bar{X} e \bar{R} se figurem fora de controle quando comparados com os limites gráficos, é feito um exame em cada um dos pontos fora de controle a procura de uma causa atribuível. Quando a causa atribuível é identificada, o ponto é descartado e os limites de controle tentativos são calculados e examinados novamente, de posse apenas dos pontos restantes. Dessa forma os pontos que estavam sob controle podem agora estar fora de controle (MONTGOMERY, 2004).

5 METODOLOGIA

5.1 SELEÇÃO DA ÁREA A SER ESTUDADA

No mapeamento da Universidade, foram estudados pontos onde, devido a características externas, apresentam elevada quantidade de ruído ambiental. Identificadas essas áreas foram selecionados os blocos mais próximos dessas fontes de ruído. A partir deste ponto foi realizado um estudo das salas dos blocos e selecionadas aquelas que possuem as piores características internas em termos dos materiais das faces e tendem a sofrer mais devido as características externas.

A Universidade esta localizada no município de Campo Mourão, Paraná. a 2km do centro da cidade. Algumas rodovias de grande importância cortam a cidade, que é um entroncamento rodoviário no Paraná. A Universidade esta localizada em uma das principais vias de acesso ao centro de Campo Mourão.

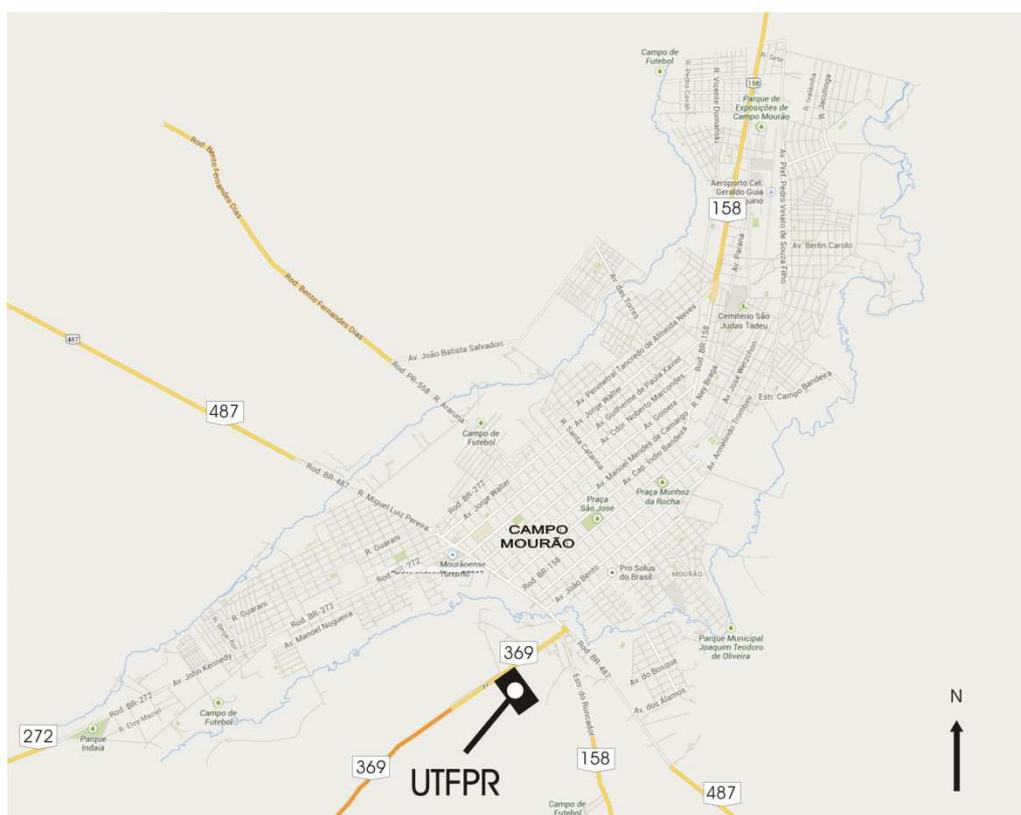


Figura 1 - Localização UTFPR Campus Campo Mourão
 Fonte: autoria própria

No Bloco B a sala selecionada foi a B106, a qual possui face voltada para a rodovia 369, que, devido a sua importância se revela como um agravante em termos de fonte de ruído de fundo.

Duas das salas selecionadas, ficam ao lado da rampa de acesso ao primeiro pavimento dos blocos. As salas são afetadas pelo volume de pessoas transitando. São elas as salas D102 e o laboratório E007. Em dias de chuva forte, o volume de ruído devido a cobertura em chapas de alumínio inviabiliza as aulas ministradas na sala D102 e em todo o bloco D. Não foi possível quantificar o ruído de fundo em dia chuvoso.

Por último encontramos o Bloco F. É o bloco mais antigo utilizado hoje para aulas e trata-se de um sistema onde se encontravam apenas laboratórios. Para ministrar aulas, suas faces foram adaptadas e possuem sérios problemas em termos de acústica. Ao lado direito do bloco, encontramos um canteiro de obras utilizados pelos alunos do curso de engenharia civil para aulas práticas e experimentos, onde são utilizadas betoneira e uma mesa vibratória. A sala a ser estudada é a F102.

Além das salas, foram estudadas a biblioteca e o auditório. A biblioteca é afetada por grande quantidade de ruído e o auditório é o único ambiente que recebe tratamento acústico na universidade.

Através da avaliação dos locais selecionados, pode-se ter a representação de praticamente todos os ambientes destinados a ensino na universidade. A distribuição ocorre como mostra a figura abaixo:

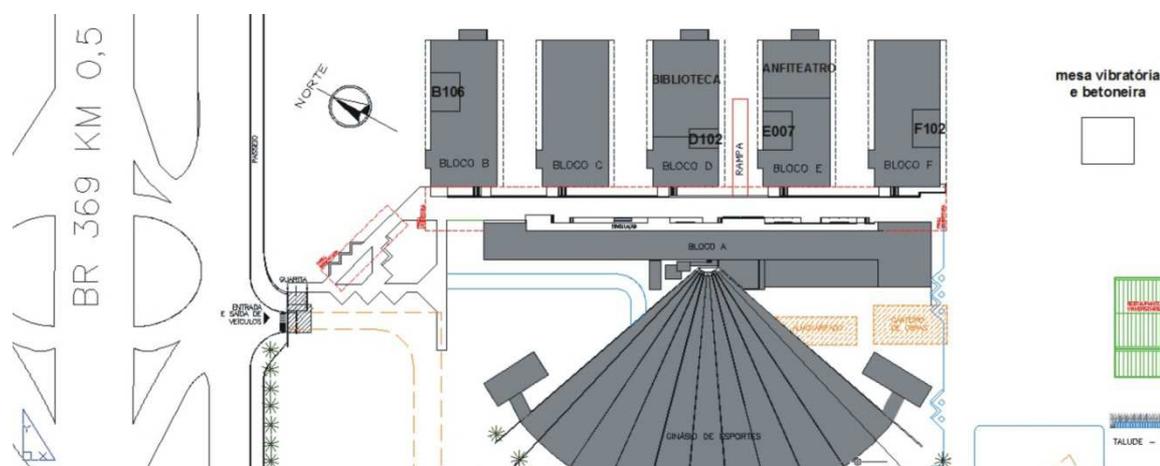


Figura 2 - Situação Universidade e Rodovia 369
Fonte: Adaptado Projeto Layout-Blocos

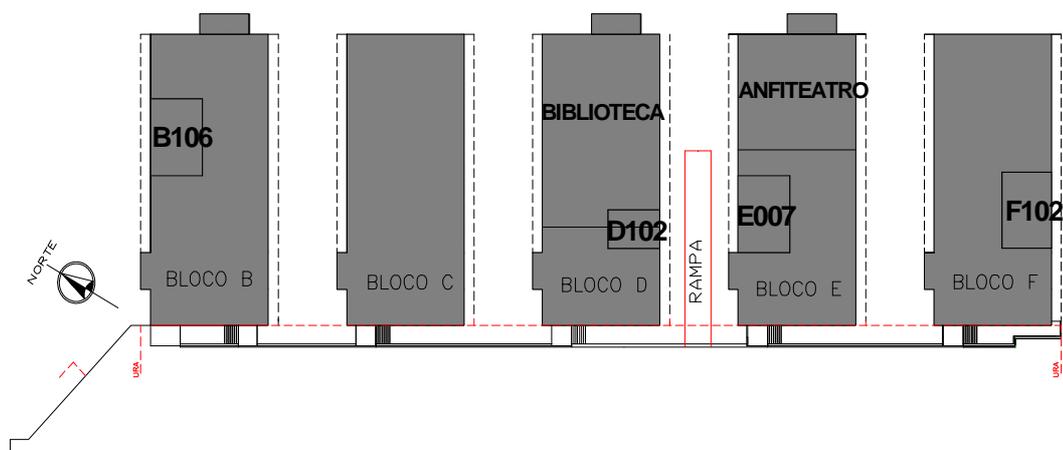


Figura 3 - Situação blocos, rampa e ambientes a serem estudados
Fonte: Adaptado Projeto Layout-Blocos

Antes de começar as medições sonoras foram obtidas as medidas geométricas internas e características espaciais externas nos entornos dos ambientes. A geometria das sala e blocos foram obtidas junto ao engenheiro do *campus* e o técnico de laboratório. Valores que não haviam no sistema foram obtidos pelo pesquisador.

5.2 DEFINIÇÃO DO NÚMERO E DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS

Este estudo é baseado na norma vigente NBR 10151, que define os parâmetros necessários para correta medição dos níveis de pressão sonora. A norma também especifica um método alternativo para o cálculo do nível de pressão sonora equivalente em dB(A). Como o aparelho a ser utilizado para a pesquisa não oferece o cálculo automático do nível de pressão sonora equivalente, L_{Aeq} , o mesmo será calculado manualmente conforme a norma.

Seguindo a recomendação da a NBR 10152 (2000), serão avaliados, durante o período em que as salas não estão sendo utilizadas, porém em horário normal de funcionamento da Universidade, 3 pontos distintos com distância mínima de 0,5 metros entre si e 1 metro das faces e moveis do ambiente. O mesmo procedimento é realizado com as salas em uso, sendo os pontos de medida os mesmo. A Figura

4apresenta como exemplo uma planta baixa de uma sala de aula com os 3 pontos demarcados em vermelho.

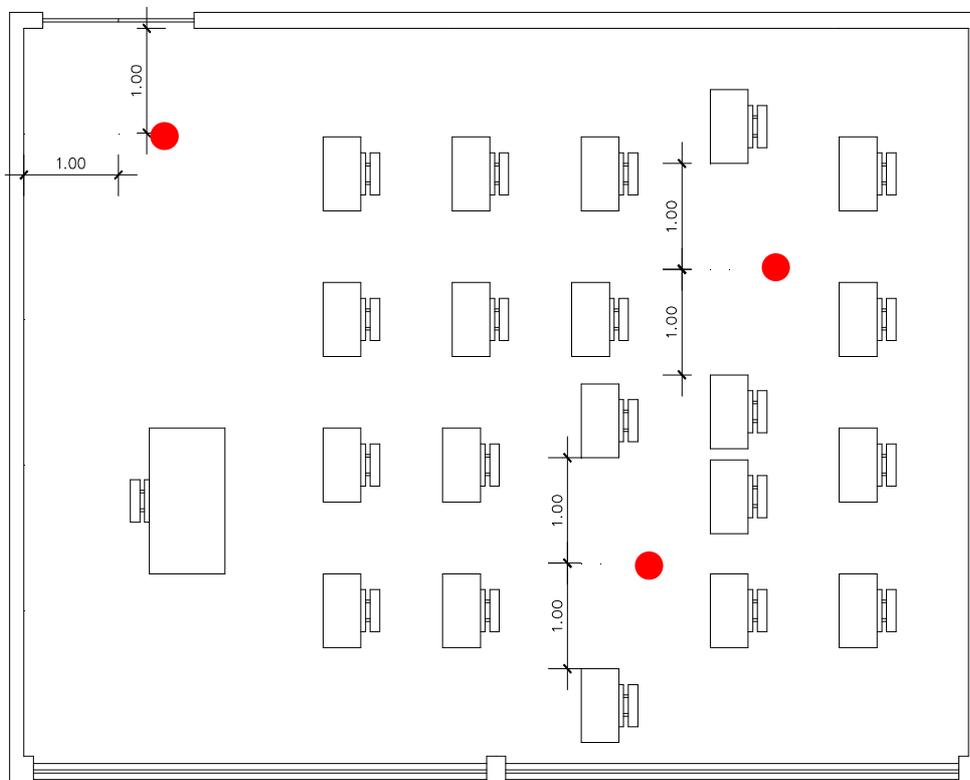


Figura 4 - Distribuição de pontos de coleta em ambiente de ensino
Fonte: autoria própria

Ao todo serão estudadas 6ambientes, totalizando 18 pontos de coleta e 31 amostras.

Os dados obtidos serão avaliados com auxílio de gráficos de controle estatístico de processo em relação a média e variância afim de se obter segurança nos mesmos. Se encontrado valores fora da faixa de média e variância esses valores serão estudados e desconsiderados caso exista alguma causa atribuível a sua não uniformidade com os demais dados da amostra.

5.3 DEFINIÇÃO DO DIA, CONDIÇÕES, HORÁRIO E DURAÇÃO DAS MEDIÇÕES

As medidas serão realizadas nos meses de junho e julho. Serão feitas durante o período letivo e nos turnos da manhã, tarde e noite. Os dias escolhidos foram as terças, quartas e quintas por ser o período de maior fluxo de pessoas na instituição. O horário varia entre 8:30 às 21:00 horas.

De posse dos dados, é calculado o nível de pressão sonora equivalente, aplicando a equação para cada ponto e posteriormente, para a sala inteira através do cálculo da média aritmética dos valores.

Em cada ponto foram efetuadas medidas durante 1 minuto sendo obtidos o níveis de pressão sonora em dB(A) a cada 5 segundos, resultando em um volume de 12 dados por medição. De posse dos dados, é calculado o nível de pressão sonora equivalente para cada ponto. Posteriormente é realizada o cálculo equivalente à sala inteira através da média aritmética dos 3 valores calculados.

5.4 EQUIPAMENTO UTILIZADO

O instrumento a ser utilizado será o decibelímetro ICEL GUBINTEC DL-4000. O nível de pressão sonora será medido em dB (A), curva de resposta rápida *fast*. Além da média foi coletado os valor máximo entre os pontos durante todo o processo.



Figura 5 – Decibelímetro utilizado
Fonte: autoria própria

6 RESULTADOS

6.1 ANÁLISE EXTERNA DOS AMBIENTES

6.1.1 Sala F102

A sala está localizada no Bloco F. O Bloco era destinado a laboratórios com pé direito duplo e passou por adaptações para transformar os ambientes em salas de aula. Ao lado esquerdo encontra-se o Bloco E e ao direito uma área utilizada como depósito e manutenção da Universidade, onde encontra-se uma Betoneira e uma mesa vibratória utilizada pelos alunos para aulas práticas e trabalhos técnicos. A figura a seguir é uma fotografia retirada da janela da sala F102. Ao lado direito da fotografia temos o espaço utilizado pelos funcionários e alunos com betoneira e mesa vibratória. Ao esquerdo uma parte do espaço utilizado como depósito e para manutenção de equipamentos da universidade.



Figura 6 - Fotografia retirada da janela da sala F102
Fonte: autoria própria

Internamente ao bloco e face a sala estão localizadas,provisoriamente a COINF na sala F101, a sala F103 e o corredor de circulação.

6.1.2 Sala B106

A sala está localizada no Bloco B do campus, Este é o bloco localizado mais próximo a portaria. Sua face esquerda está voltada diretamente para a Rodovia BR 369, via de grande fluxo devido a importância para a cidade. Paralela a rodovia há uma rua que dá acesso a universidade Unicamp, outros bairros da cidade além de rodovia 158 e possui um tráfego considerável de carros e caminhões. A figura abaixo é uma fotografia retirada junto a janela da sala.



Figura 7 - Fotografia retirada da janela da sala B106
Fonte: autoria própria

Nas outras faces da sala localizamos as salas B105 e B107, de dimensões aproximadas e o corredor de circulação interna do bloco.

6.1.3 Sala D102

Sala localizada no bloco D. Este bloco está confinado entre o bloco C ao lado esquerdo e ao lado direito, a rampa que dá acesso ao primeiro pavimento de todos os blocos e o bloco E. No térreo encontra-se a biblioteca e no primeiro piso as salas

de aula que costumam ser ocupadas durante todos os horários do dia. O bloco possui um elevado trafego de pessoas.

A sala D102 possui metade do tamanho das outras salas e sua face com as janelas está voltada para a rampa. Junto ao bloco tem o corredor e as sala D101 e D103, sendo a ultima também de tamanho reduzido. Abaixo a figura mostra uma fotografia retirada da janela da sala que mostra a rampa de acesso ao primeiro pavimento dos blocos.

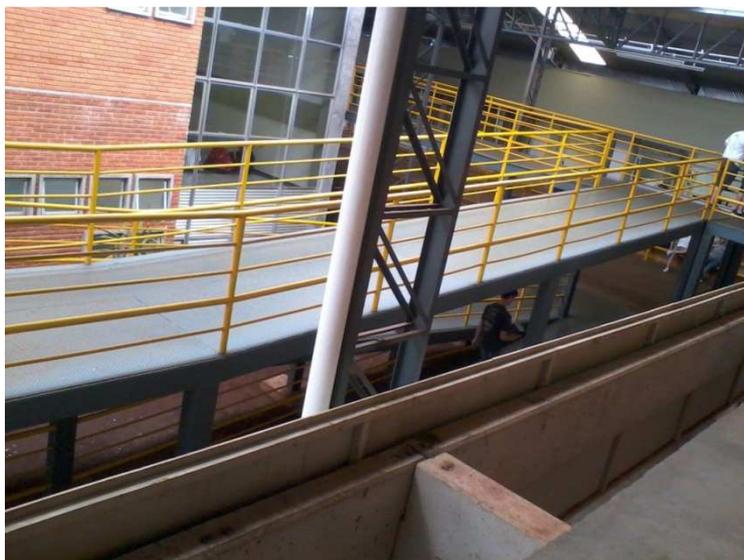


Figura 8 - Fotografia retirada da janela da sala D102
Fonte: autoria própria

6.1.4 Laboratório E007

Localizada no térreo do Bloco E, está confinado entre a rampa e o Bloco D ao lado esquerdo e ao lado direito, o bloco F. O térreo possui dois laboratórios e os demais ambientes destinados a salas de aula.

O laboratório possui face com as janelas voltada para a rampa, e as demais faces voltadas para os banheiros, laboratório E006 e corredor.

6.1.5 Biblioteca

Localizada também no bloco D, ocupa uma área aproximada de 455 m² do térreo.

6.1.6 Anfiteatro

Localizado no Bloco E, encontra-se no primeiro piso. Os demais ambientes do primeiro pavimento são destinados a laboratórios de informática.

6.2 ANÁLISE INTERNA DOS AMBIENTES

Se tratando de salas de aula e laboratórios, os ambientes dos blocos apresentam paredes externas constituídas de tijolos de 20 cm assentados à meia vez. Esse material apresenta cerca de 40 dB de isolamento acústico se mostrando eficiente para sua finalidade. Já as esquadrias ocupam grande parte da face e não possuem um isolamento acústico desejado.

Nas faces internas aos blocos, as paredes são constituídas de blocos cerâmicos assentados à cutelo, emboço e reboco. Essa configuração apresenta cerca de 10 a 15 dB de isolamento acústico e é totalmente ineficiente para uso em salas de aula. O ruído proveniente das aulas ministradas em todas as outras salas e do corredor de circulação interferem diretamente nas aulas de uma única sala.

Nos blocos B, D e E, o piso é constituído de granitina e o forro em pvc. Já no bloco F o piso é de concreto e o forro com placas de isopor. As salas possuem cadeiras estofadas e mesa com tampão de madeira e acabamento em formica. Com exceção do laboratório E007, não há ar condicionado nas salas, o que implica que, durante os horários de aula, todas as janelas ficam abertas e durante o verão existe a presença dos ventiladores que são consideravelmente ruidosos.

6.2.1 Sala F102

Sala dimensionada para 44 alunos e área aproximada de 70 m². Possui dois ventiladores e não há tratamento acústico em nenhuma das faces.

6.2.2 Sala B106

Sala dimensionada para 42 alunos e área aproximada de 70 m². Possui dois ventiladores e não há tratamento acústico em nenhuma das faces.

6.2.3 Sala D102

Sala dimensionada para 20 alunos e área aproximada de 35 m². Possui um ventilador e não há tratamento acústico em nenhuma das faces.

6.2.4 Laboratório E007

Sala dimensionada para 22 alunos e área aproximada de 75 m². Possui ar condicionado e não há tratamento acústico em nenhuma das faces.

6.2.5 Biblioteca

Dimensionada para 188 alunos sentados possui área aproximada de 455 m². É dividida entre a área de acervo com aproximadamente 75 m², 6 sala de estudo com 8,50 m² cada, administração com 60 m² e a área comum de estudo ocupando o

restante do espaço. Possui aparelhos ar condicionado espalhados pelos ambientes e não há tratamento acústico em nenhuma das faces.

6.2.6 Auditório

Dimensionado para 217 pessoas com poltronas estofadas, ocupa uma área aproximada de 260 m². Suas faces são constituídas de blocos cerâmicos e uma placa com ar entre os dois materiais. Piso forrado com camada têxtil assim como as faces laterais, que também, possuem difusores. O teto é tratado com gesso e diferentes níveis para quebra de ondas sonoras. A figura a seguir é uma fotografia retirada do auditório e demonstra todo o tratamento acústico recebido.



Figura 9 - Fotografia retirada no interior do auditório
Fonte: autoria própria

6.3 CONTROLE DO PROCESSO

A partir do controle do processo pode-se ter maior confiança nos dados e resultados obtidos. Para estabelecer um controle do processo nos dados buscou-se analisar os valores fora dos limites dos gráficos de processo e identificar possíveis causas atribuídas a eles. Caso fosse encontrados os pontos seriam eliminados a fim de se obter apenas dados concretos para o estudo.

6.3.1 Sala F102

Através do gráfico de variância é possível observar se um valor não está muito discrepante em relação aos demais. A figura 10 apresenta o gráfico de variância para todos os valores obtidos na sala F102.

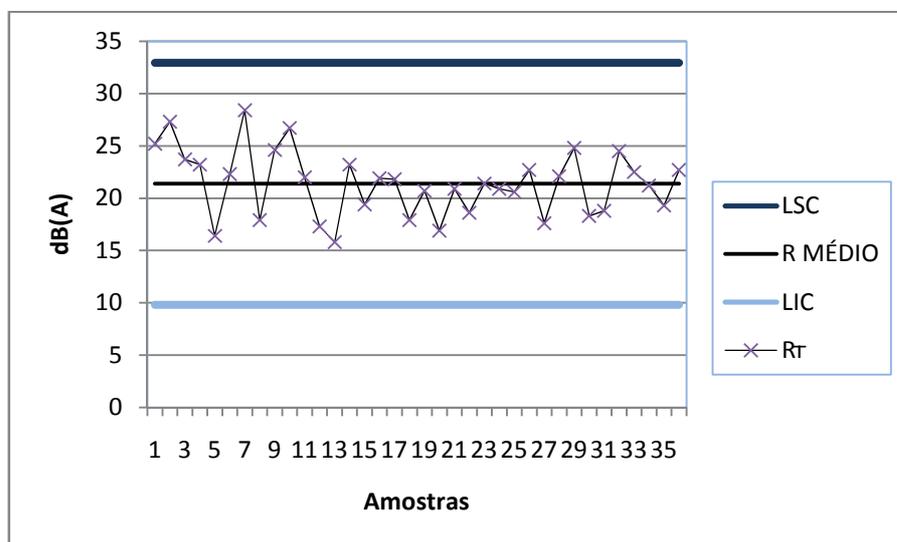


Figura 10 - Gráfico da variância para sala F102
Fonte: autoria própria

Como podemos observar, não há grande variância entre os valores, que se encontram todos dentro dos limites estabelecidos. Ainda assim, não é possível afirmar que os dados são seguros. Existe a necessidade de analisar o gráfico de valores médios. A figura 11 apresenta o gráfico dos valores médios, referente as

medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos da sala F102.

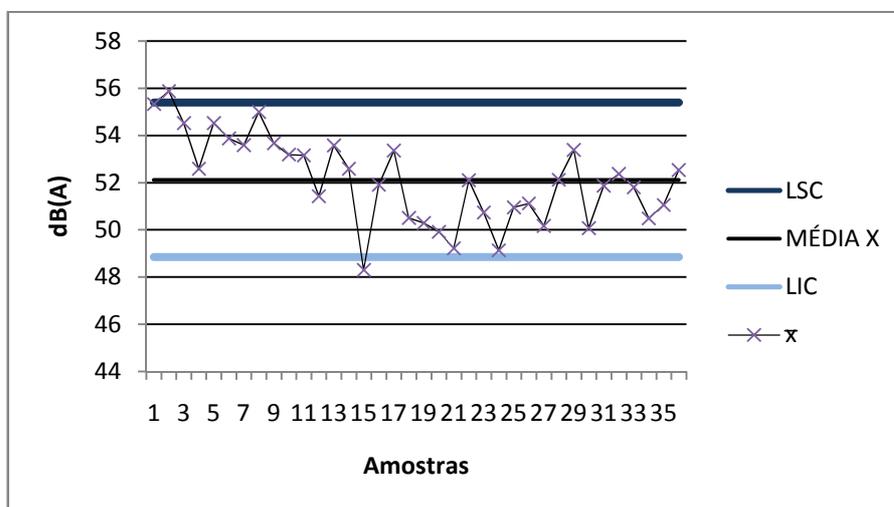


Figura 11 - Gráfico da média para sala F102
Fonte: autoria própria

Após estudo existem dois pontos fora dos limites no gráfico de média. Os dados foram analisados e eliminados devido a causas atribuídas. O processo precisa ser repetido pois novos gráficos são formados. A figura 12 apresenta o novo gráfico de variância para os valores da sala F102.

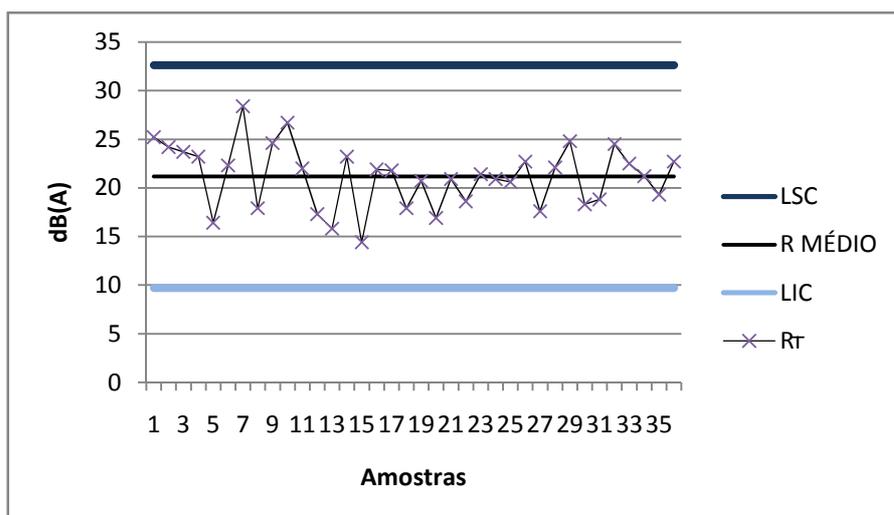


Figura 12 - Gráfico da variância após correções para sala F102
Fonte: autoria própria

O gráfico continua não apresentando grande variância entre os valores, que se encontram todos dentro dos limites estabelecidos. Existe a necessidade de

analisar novamente o gráfico de valores médios. A figura 13, apresenta o novo gráfico dos valores médios, referente as medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos da sala F102

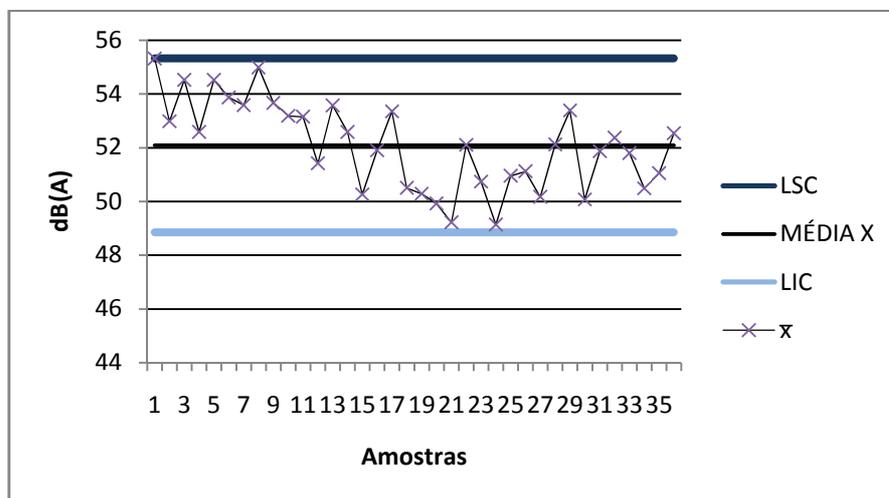


Figura 13 - Gráfico da média após correções para sala F102
Fonte: autoria própria

Agora todos os pontos encontram-se dentro dos limites inferior e superior.

Com os novos gráficos e todos os pontos dentro dos limites, constatou-se que os dados apresentam maior uniformidade e podem ser utilizados com segurança para identificação das condições acústicas da sala.

6.3.2 Sala B106

A figura 14 apresenta o gráfico de variância para todos os valores obtidos na sala B106.

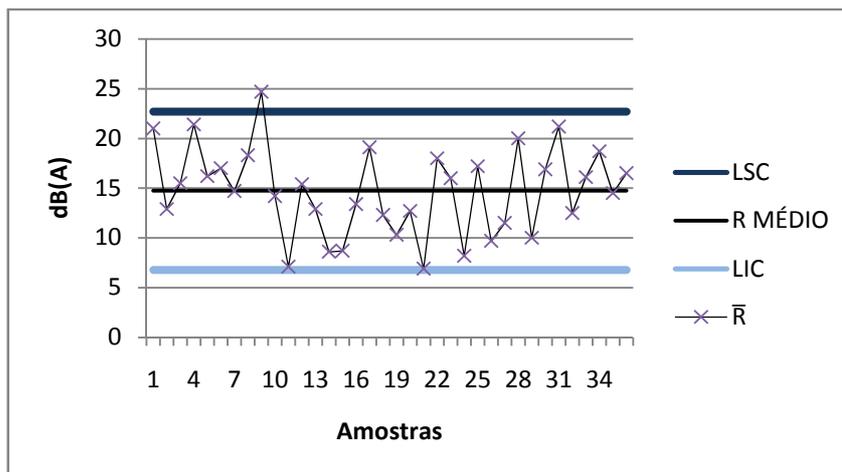


Figura 14 - Gráfico da variância para sala B106
Fonte: autoria própria

Como podemos observar, há grande variância entre alguns valores, de forma que alguns pontos se encontram fora dos limites estabelecidos. Existe a necessidade de analisar o gráfico de valores médios afim de identificar se há problemas e quais são os dados responsáveis. A figura 15, apresenta o gráfico dos valores médios, referente as medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos da sala B106.

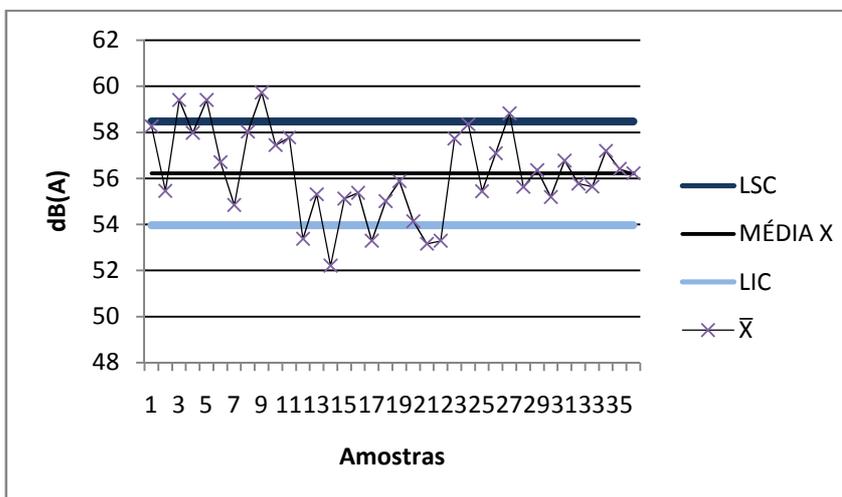


Figura 15 - Gráfico da média para sala B106
Fonte: autoria própria

Após estudo observou-se pontos fora dos limites de controle. A esses dados foram atribuídas causas relativas a interferência da rodovia e ocorrências durante as medições em horário de aula. O processo precisa ser repetido pois novos gráficos

são formados. A figura 16 apresenta o novo gráfico de variância para os valores da sala B106.

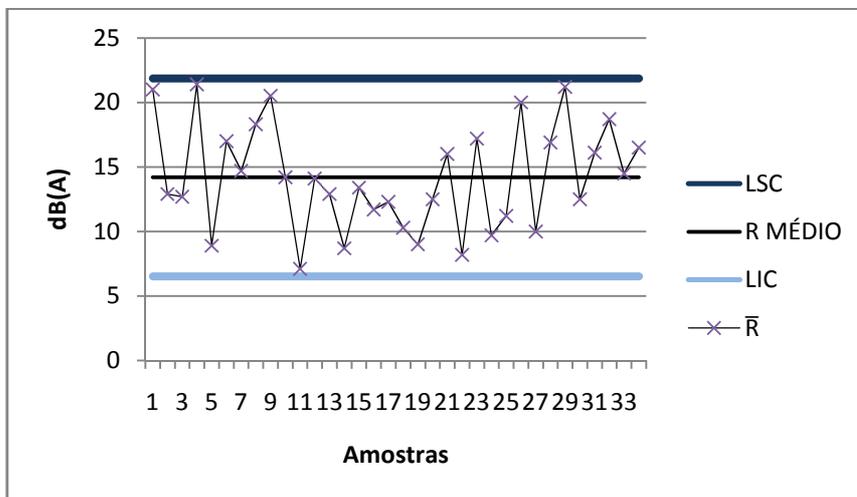


Figura 16 - Gráfico da variância após correções para sala B106
Fonte: autoria própria

O gráfico não apresenta mais grande variância entre os valores, que agora, se encontram dentro dos limites estabelecidos. Existe a necessidade de analisar novamente o gráfico de valores médios. A figura 17, apresenta o novo gráfico dos valores médios, referente as medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos da sala B106.

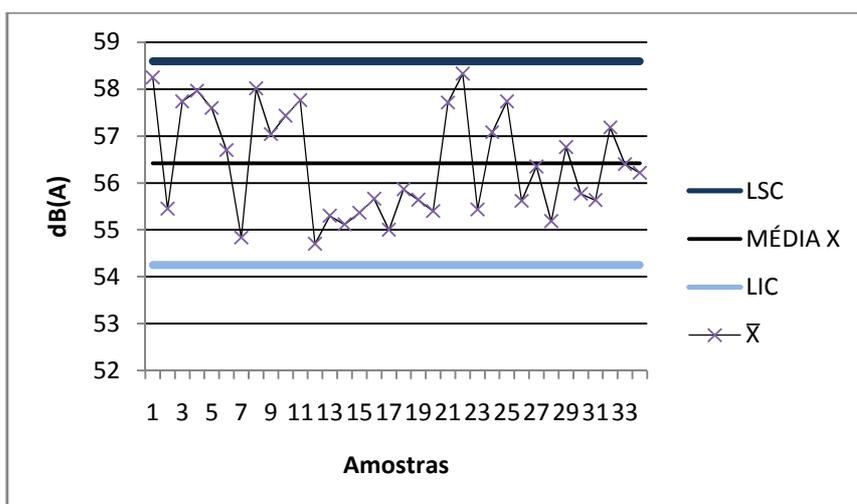


Figura 17 - Gráfico da média após correções para sala B106
Fonte: autoria própria

Agora todos os pontos encontram-se dentro dos limites inferior e superior. Com análise dos novos gráficos, constatou-se que os dados apresentam maior uniformidade e podem ser utilizados com segurança para identificação das condições acústicas da sala B106.

6.3.3 Sala D102

A figura 18 apresenta o gráfico de variância para todos os valores obtidos na sala D102.

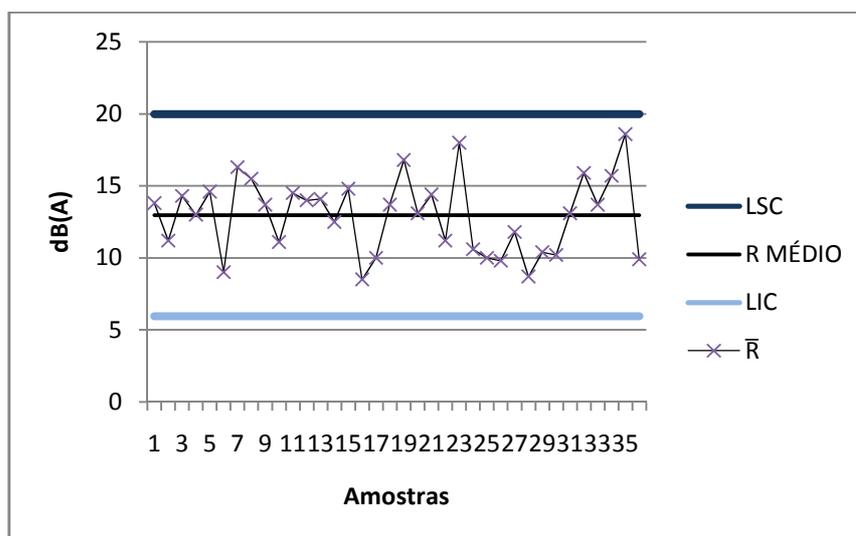


Figura 18 - Gráfico da variância para sala D102
Fonte: autoria própria

Como podemos observar, não há grande variância entre os valores, que se encontram dentro dos limites estabelecidos. Ainda assim, não é possível afirmar que os dados são seguros. Existe a necessidade de analisar o gráfico de valores médios. A figura 19, apresenta o gráfico dos valores médios, referente as medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos da sala D102.

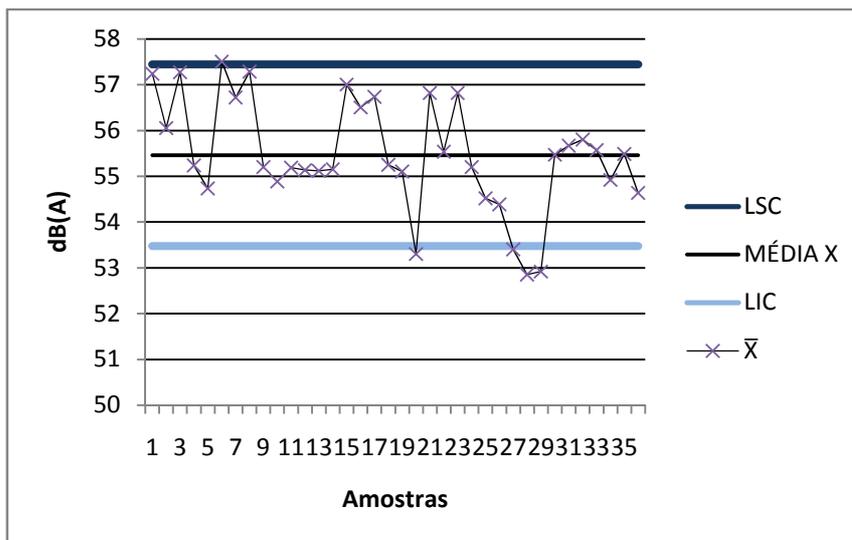


Figura 19 - Gráfico da média para sala D102
 Fonte: autoria própria

O estudo apontou pontos fora dos limites de controle. A esses dados foi possível identificar causas atribuídas e os valores foram eliminados. O processo precisa ser repetido pois novos gráficos são formados. A figura 20 apresenta o novo gráfico de variância para os valores da sala D102.

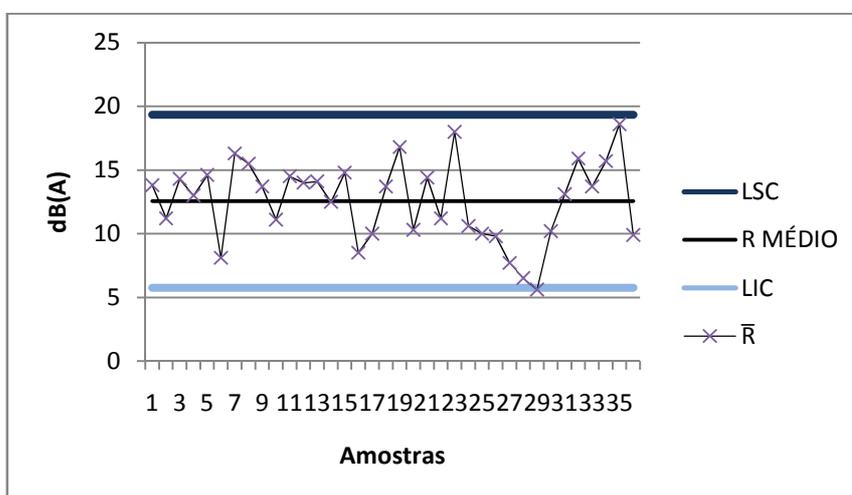


Figura 20 - Gráfico da variância após correções para sala D102
 Fonte: autoria própria

O gráfico não apresenta mais grande variância entre os valores, que agora, se encontram dentro dos limites estabelecidos com exceção de um ponto que está sobre a linha. Existe a necessidade de analisar novamente o gráfico de valores médios. A figura 21, apresenta o novo gráfico dos valores médios, referente as

medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos da sala D102.

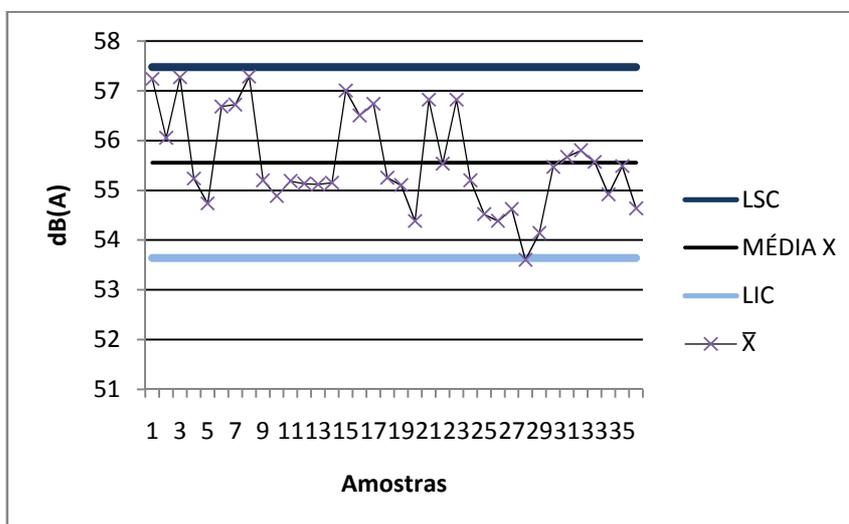


Figura 21 - Gráfico da média após correções para sala D102
Fonte: autoria própria

Agora todos os pontos encontram-se dentro dos limites inferior e superior. Com análise dos novos gráficos, constatou-se que os dados apresentam maior uniformidade e podem ser utilizados com segurança para identificação das condições acústicas da sala D102.

6.3.4 LaboratórioE007

O controle estatístico de processo foi realizado também para os dados do laboratório E007. A figura 22 apresenta o gráfico de variância para todos os valores obtidos na sala D102.

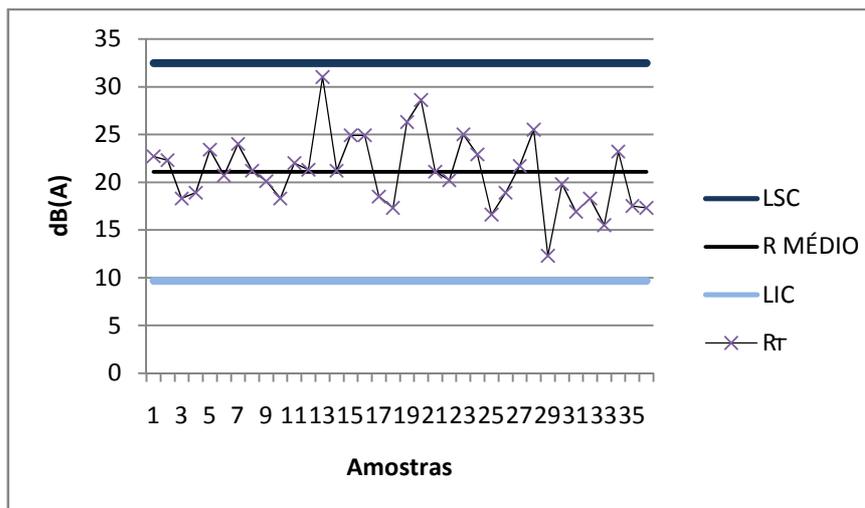


Figura 22 - Gráfico da variância para sala E007

Fonte: autoria própria

Como podemos observar, não há grande variância entre os valores, que se encontram dentro dos limites estabelecidos. Ainda assim, não é possível afirmar que os dados são seguros. Existe a necessidade de analisar o gráfico de valores médios. A figura 23, apresenta o gráfico dos valores médios, referente as medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos do laboratório E007.

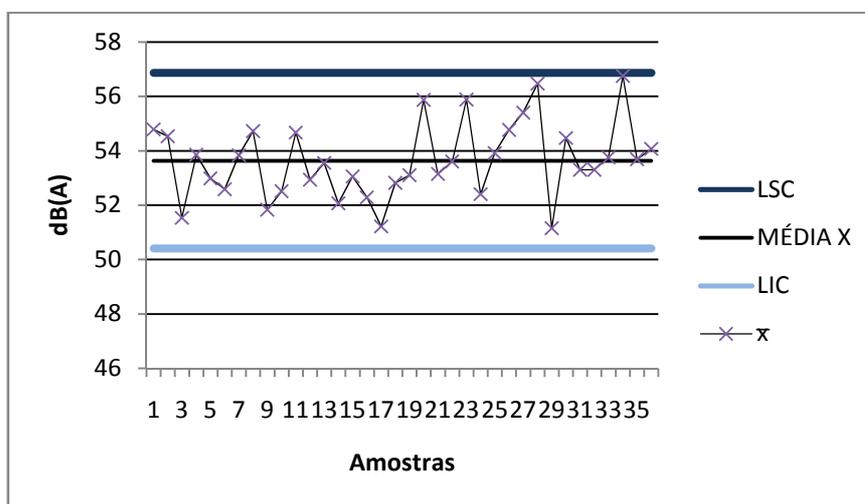


Figura 23 - Gráfico da média para sala E007

Fonte: autoria própria

Os resultados obtidos dos gráficos de variância e média resultaram em um equilíbrio de controle sem a necessidade de estudo específico dos pontos. A esse resultado é atribuído o fato de ser uma sala onde as aberturas estão sempre fechadas e se faz uso de aparelho ar-condicionado. O resultado é uma maior

uniformidade nos dados sem grande interferência de variações externas. Sendo assim, os dados podem ser utilizados para identificação das condições acústicas do laboratório.

6.3.5 Biblioteca

O controle estatístico de processo foi realizado com os dados da biblioteca. A figura 24 apresenta o gráfico de variância para todos os valores obtidos na mesma.

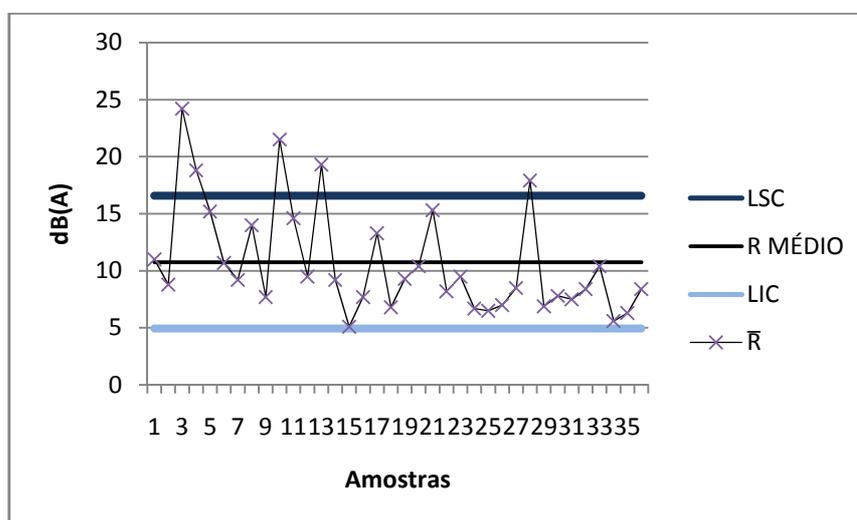


Figura 24 - Gráfico da variância para biblioteca
Fonte: autoria própria

Como podemos observar, o gráfico apresenta alguns pontos com grande variância entre os valores, de forma que se encontram fora dos limites estabelecidos. Existe a necessidade de analisar o gráfico de valores médios para maior identificação dos problemas e dos dados responsáveis. A figura 25, apresenta o gráfico dos valores médios, referente as medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos da biblioteca.

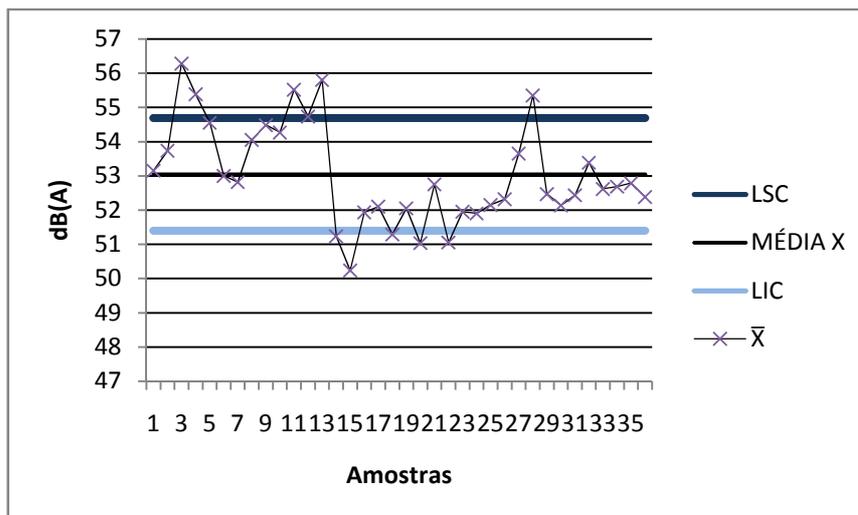


Figura 25 - Gráfico da média para biblioteca
 Fonte: autoria própria

Após estudo observou-se pontos fora dos limites de controle. A principio eliminou-se os pontos atribuídos a catraca que emitia ruído próximo a 70 dB quando alguém passava. O processo precisa ser repetido pois novos gráficos são formados. A figura 26 apresenta o novo gráfico de variância para os valores da biblioteca.

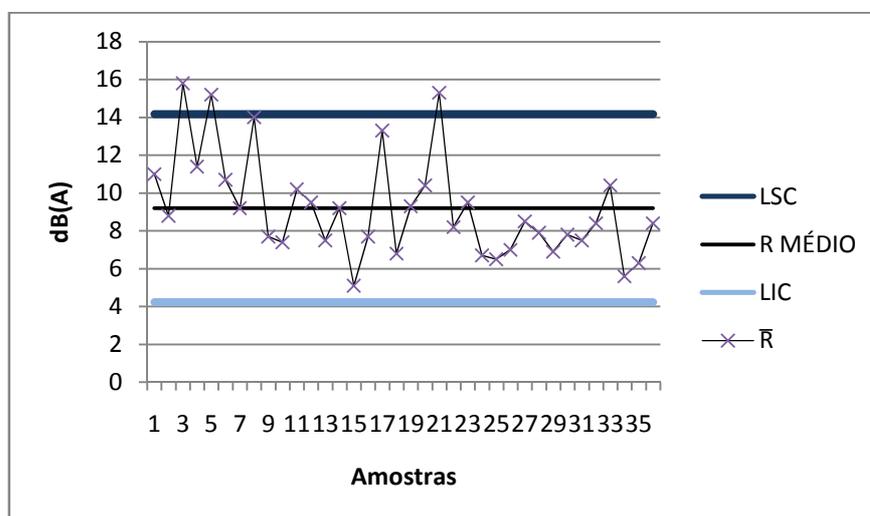


Figura 26 - Gráfico da variância após correções para biblioteca
 Fonte: autoria própria

Podemos observar que o gráfico continua apresentando grande variância entre os valores, de forma que, alguns pontos continuam fora dos limites estabelecidos. Ainda assim será analisado o gráfico de valores médios com os novos dados. A figura 27, apresenta o novo gráfico dos valores médios, referente as

medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos da biblioteca.

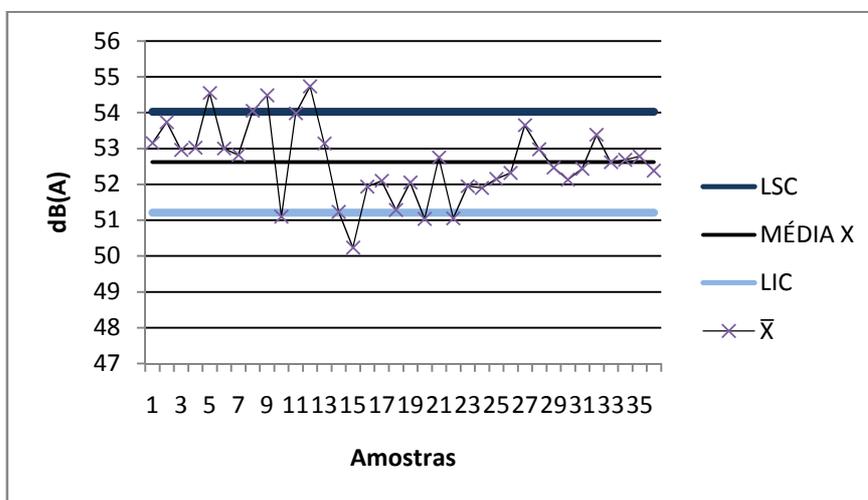


Figura 27 - Gráfico da média após correções para biblioteca
Fonte: autoria própria

Como mostra o gráfico, não foi possível estabelecer controle sobre os dados. Constatou-se que se trata de um ambiente com grande variação de dados. Isso acontece devido a sua grande dimensão e diferentes fontes de ruído distribuídas no ambiente precisando assim de um número maior de amostras e um estudo mais pontual afim de se obter segurança nos dados. Mesmo sem total segurança e uniformidade dos dados optou-se por dar continuidade a análise acústica da biblioteca.

6.3.6 Auditório

O controle estatístico de processo foi realizado com os dados do auditório. Devido a necessidade de autorização e por não ser muito utilizado foi feito apenas uma coleta. A figura 28 apresenta o gráfico de variância para todos os valores obtidos no auditório.

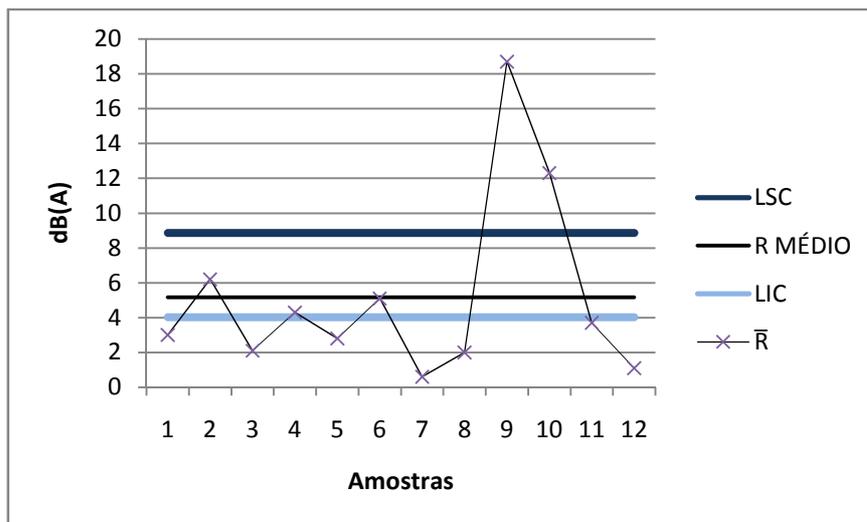


Figura 28 - Gráfico da variância para auditório
 Fonte: autoria própria

Como podemos observar, o gráfico apresenta vários pontos com grande variância entre os valores, de forma que se encontram fora dos limites estabelecidos. Existe a necessidade de analisar o gráfico de valores médios para maior identificação dos problemas e dos dados responsáveis. A figura 29, apresenta o gráfico dos valores médios, referente as medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos do auditório.

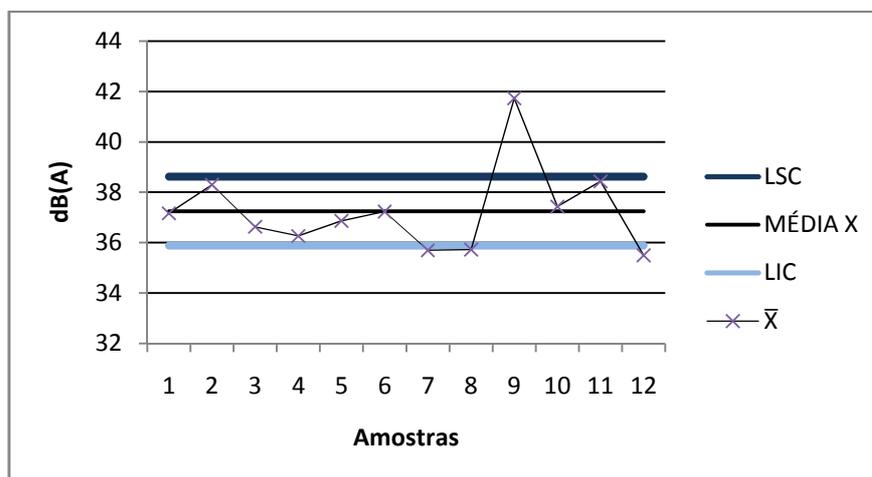


Figura 29 - Gráfico da média para auditório
 Fonte: autoria própria

Após estudo observou-se pontos fora dos limites de controle. Dentre os pontos identificados, dois pontos possuem causas atribuídas. Os dados foram eliminados e o processo precisa ser repetido pois novos gráficos são formados. A figura 30 apresenta o novo gráfico de variância para os valores do auditório.

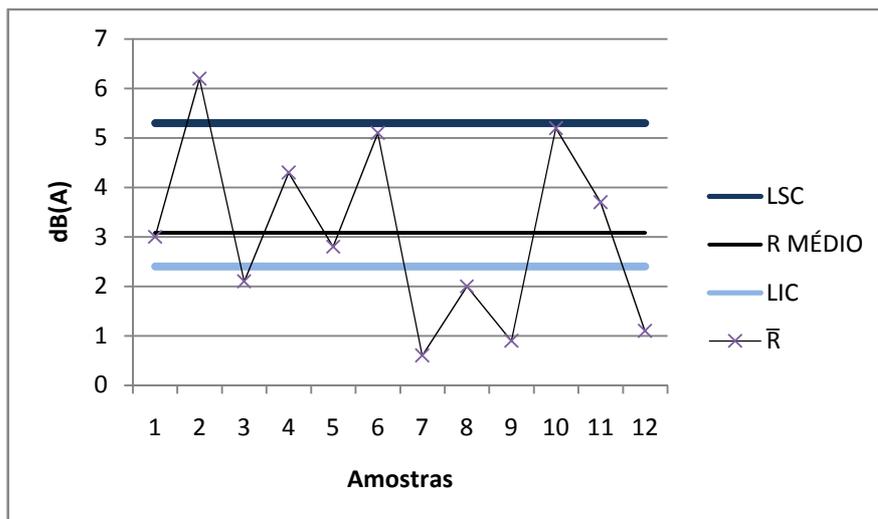


Figura 30 - Gráfico da variância após correções para auditório
 Fonte: autoria própria

Podemos observar que o gráfico continua apresentando variância entre os valores, de forma que, alguns pontos continuam fora dos limites estabelecidos. O gráfico de variância identificou que entre alguns pontos a diferença entre uma amostra a outra foi muito pequena, já em outros maior, ocasionando assim os pontos fora dos limites. Ainda assim será analisado o gráfico de valores médios com os novos dados. A figura 31, apresenta o novo gráfico dos valores médios, referente as medições realizadas em cada intervalo de tempo nos 3 diferentes pontos do auditório.

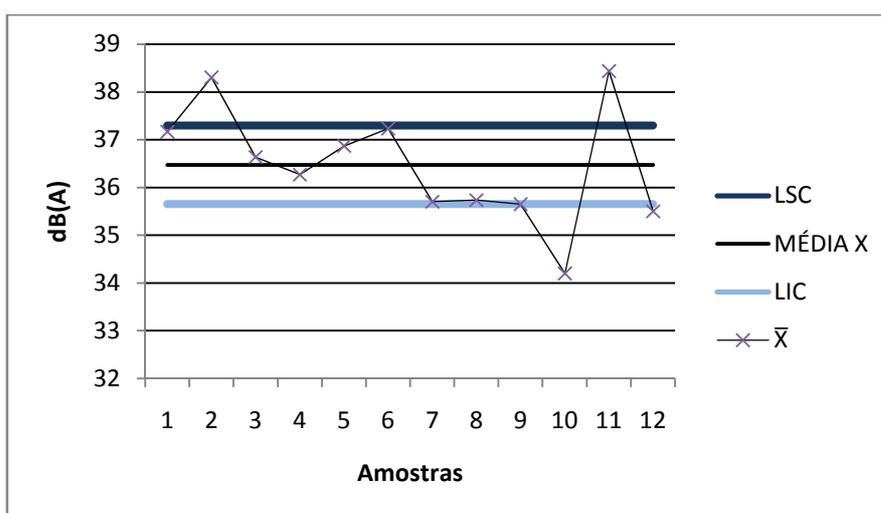


Figura 31 - Gráfico da média após correções para auditório
 Fonte: autoria própria

Como mostra o gráfico, não foi possível estabelecer controle sobre os dados. Constatou-se que isso pode ocorrer devido ao pequeno número de amostras coletadas. Pode-se observar que a variância entre os dados é muito pequena. Isso se deve ao fato do ambiente ser tratado acusticamente. Mesmo os gráficos não acusando uniformidade nos dados, optou-se por dar continuidade a análise acústica do auditório.

6.4 ANÁLISES ACÚSTICAS

6.4.1 Sala F102

A sala F102 foi visitada 6 vezes para compor os dados referente a sua avaliação acústica. Os resultados estão no quadro3 que mostra o dia, horário e situação da sala no momento em que foi obtido os valores de L_{Aeq} . O L_{Aeq} definido no quadro é a resultante da média de 3 valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita.

| Dia | Hora | Situação | L _{Aeq} |
|--------|---------------|----------|------------------|
| terça | 9:00 - 10:00 | em uso | 48,6 |
| | 20:00 - 21:00 | sem uso | 40,5 |
| quarta | 9:00 - 10:00 | em uso | 60,49 |
| | 14:00 - 15:00 | em uso | 56,5 |
| quinta | 9:00 - 10:00 | em uso | 55,22 |
| | 15:00 - 16:00 | sem uso | 58,1 |

Quadro 3 - Dados sala F102
Fonte: Aatoria Própria

A figura 32 apresenta um gráfico com todos os valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 18 dados. Mostra também os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB(A) que devem ser obedecidos por norma.

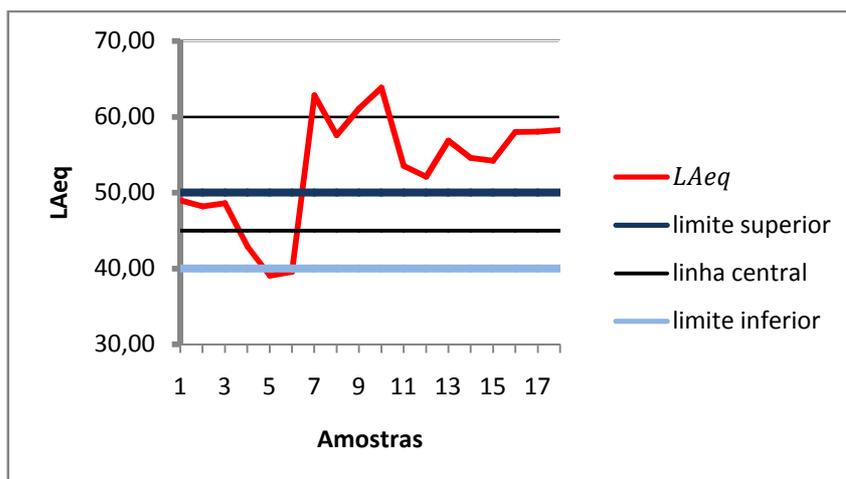


Figura 32 - Gráfico do LAeq referente a cada pontos e medida realizada na sala F102

Fonte: autoria própria

A figura 33 apresenta um gráfico com a média dos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 6 dados. Mostra também uma média desses valores e os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB(A) que devem ser obedecidos por norma.

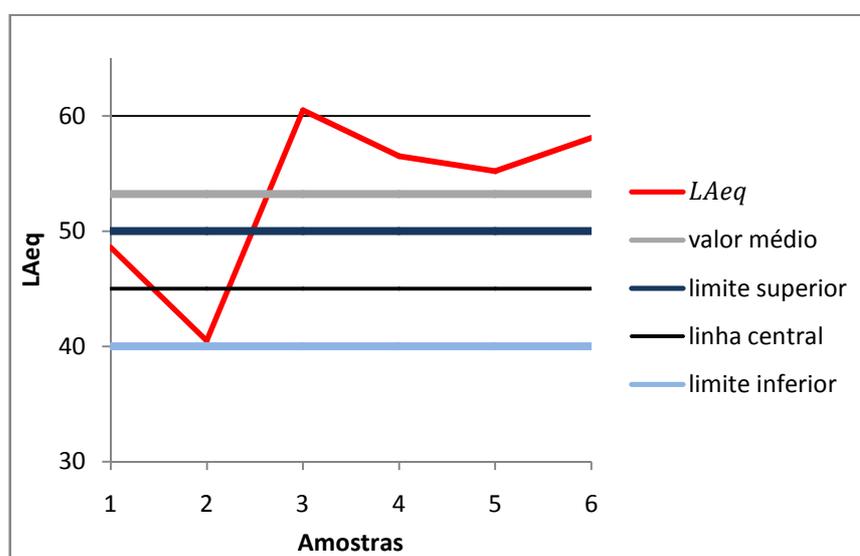


Figura 33 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada na sala F102

Fonte: autoria própria

Segundo análise dos fatores externos e da estrutura interna da sala já era esperado que os valores amostrais estivessem fora dos limites exigidos por norma. Pelos dados observa-se que tanto em uso quanto sem uso, o ambiente é atingido por considerável quantidade de ruído. O ambiente inadequado para o uso sendo prejudicial a saúde e bem estar dos alunos.

6.4.2 Sala B106

A sala B106 foi visitada 6 vezes para compor os dados referente a sua avaliação acústica. Os resultados estão no quadro 4 que mostra o dia, horário e situação da sala no momento em que foi obtido os valores de L_{Aeq} . O L_{Aeq} definido no quadro é a resultante da média de 3 valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita.

| Dia | Hora | Situação | Laeq |
|--------|---------------|----------|-------|
| terça | 8:00 - 9:00 | sem uso | 54,76 |
| | 15:00 - 16:00 | sem uso | 56,86 |
| | 17:00 - 18:00 | sem uso | 59 |
| quarta | 9:00 - 10:00 | sem uso | 53,88 |
| quinta | 9:00 - 10:00 | em uso | 60,92 |
| | 15:00 - 16:00 | em uso | 62,57 |

Quadro 4 - Dados sala B106
Fonte: Aatoria Própria

A figura 34 apresenta um gráfico com todos os valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 18 dados. Mostra também os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB(A) que devem ser obedecidos por norma.

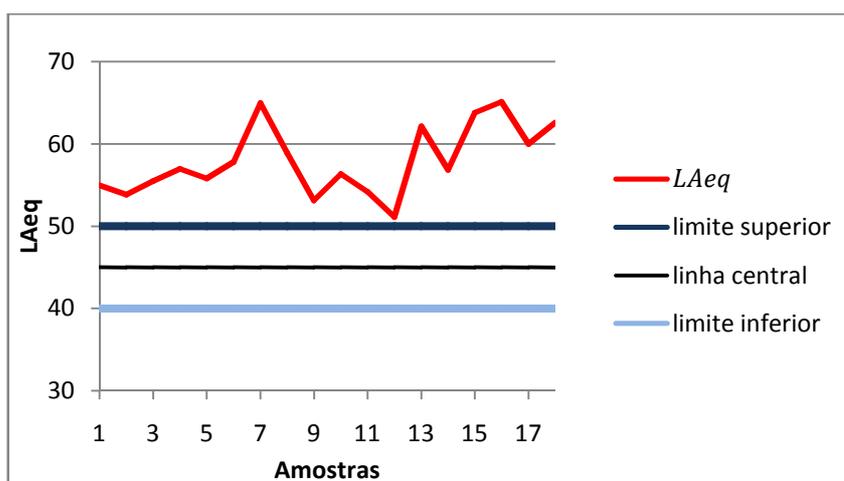


Figura 34 - Gráfico do L_{Aeq} referente a cada pontos e medida realizada na sala B106
Fonte: autoria própria

A figura 35 apresenta um gráfico com a média dos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 6 dados. Mostra também uma média desses valores e os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB(A) que devem ser obedecidos por norma.

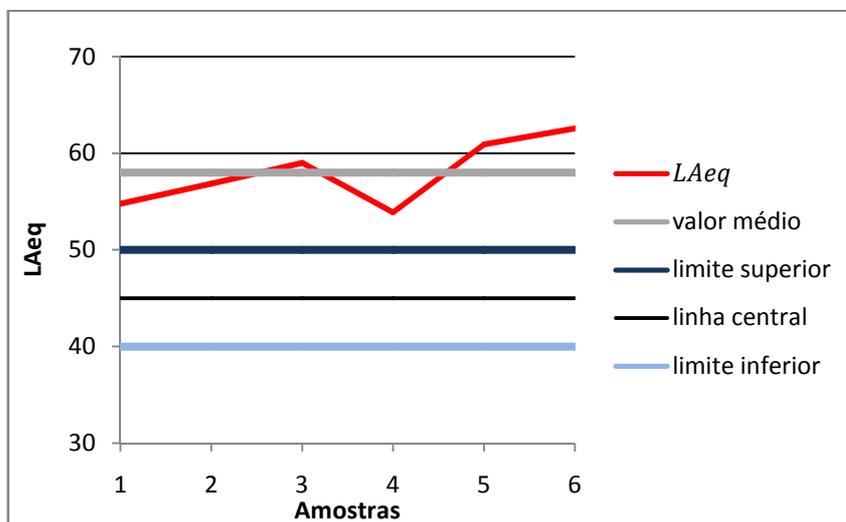


Figura 35 - Gráfico da média dos L_{Aeq} referente a cada medida realizada na sala B106

Fonte: autoria própria

Segundo análise dos fatores externos e da estrutura interna da sala já era esperado que os valores amostrais estivessem fora dos limites exigidos por norma. Pelos dados observa-se que tanto em uso quanto sem uso, o ambiente é atingido por considerável quantidade de ruído estando sempre fora dos limites estipulados em norma. O ambiente inadequado para o uso sendo prejudicial a saúde e bem estar dos alunos.

6.4.3 Sala D102

A sala D102 foi visitada 6 vezes para compor os dados referente a sua avaliação acústica. Os resultados estão no quadro 5 que mostra o dia, horário e situação da sala no momento em que foi obtido os valores de L_{Aeq} . O L_{Aeq} definido no quadro é a resultante da média de 3 valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita.

| Dia | Hora | Situação | Laeq |
|--------|---------------|----------|-------|
| terça | 10:00 - 11:00 | sem uso | 52,16 |
| | 17:00 - 18:00 | sem uso | 54,07 |
| quarta | 9:00 - 10:00 | sem uso | 52,07 |
| | 14:00 - 15:00 | em uso | 60,19 |
| quinta | 9:00 - 10:00 | em uso | 61,67 |
| | 12:00 - 13:00 | sem uso | 57,7 |

Quadro5 - Dados sala D102

Fonte: Autoria Própria

A figura 36 apresenta um gráfico com todos os valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 18 dados. Mostra também os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB(A) que devem ser obedecidos por norma.

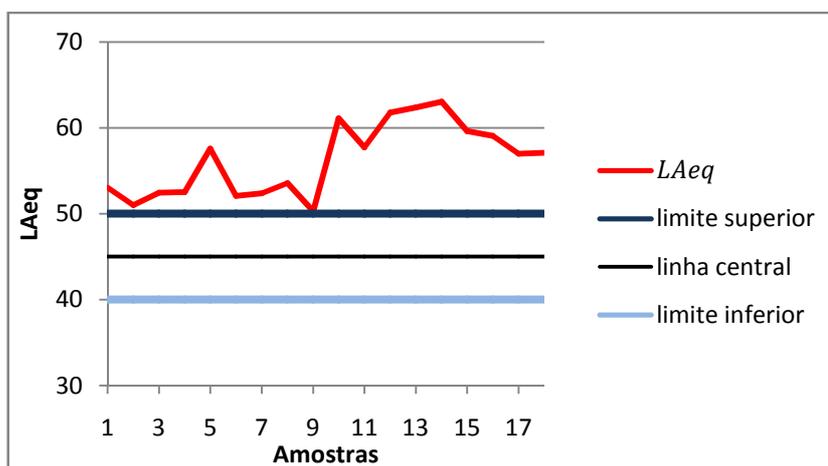


Figura 36 - Gráfico do L_{Aeq} referente a cada pontos e medida realizada na sala D102

Fonte: autoria própria

A figura 37 apresenta um gráfico com a média dos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 6 dados. Mostra também uma média desses valores e os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB(A) que devem ser obedecidos por norma.

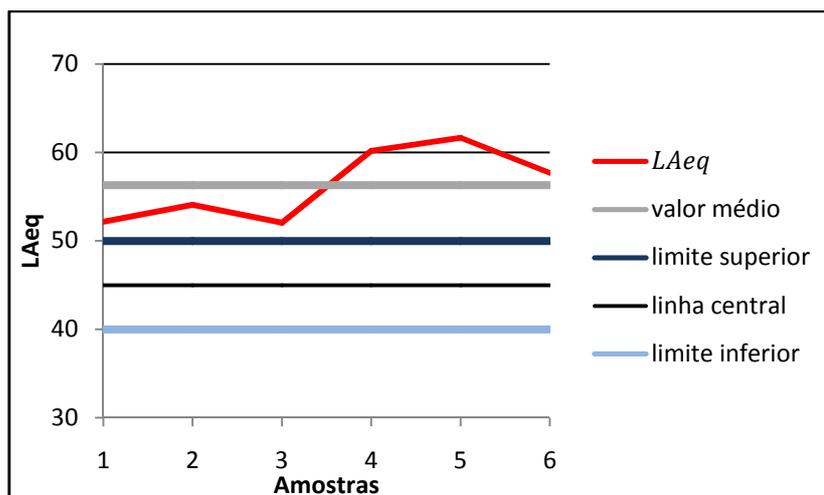


Figura 37 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada na sala D102

Fonte: autoria própria

Segundo análise dos fatores externos e da estrutura interna da sala já era esperado que os valores amostrais estivessem fora dos limites exigidos por norma. Pelos dados observa-se que tanto em uso quanto sem uso, o ambiente é atingido por considerável quantidade de ruído estando sempre fora dos limites estipulados em norma. O ambiente inadequado para o uso sendo prejudicial a saúde e bem estar dos alunos.

6.4.4 Laboratório E007

O laboratório E007 foi visitado 6 vezes para compor os dados referente a sua avaliação acústica. Os resultados estão no quadro 6 que mostra o dia, horário e situação da sala no momento em que foi obtido os valores de L_{Aeq} . O L_{Aeq} definido no quadro é a resultante da média de 3 valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita.

| Dia | Hora | Situação | Laeq |
|--------|---------------|----------|-------|
| terça | 10:00 - 11:00 | em uso | 65,51 |
| | 14:00 - 15:00 | sem uso | 47,25 |
| | 17:00 - 18:00 | sem uso | 45,63 |
| quarta | 8:00 - 9:00 | sem uso | 50,27 |
| quinta | 11:00 - 12:00 | em uso | 60,64 |
| | 13:00 - 14:00 | em uso | 63,88 |

Quadro 6 - Laboratório E007
Fonte: Autoria Própria

A figura 38 apresenta um gráfico com todos os valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 18 dados. Mostra também os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB que devem ser obedecidos por norma.

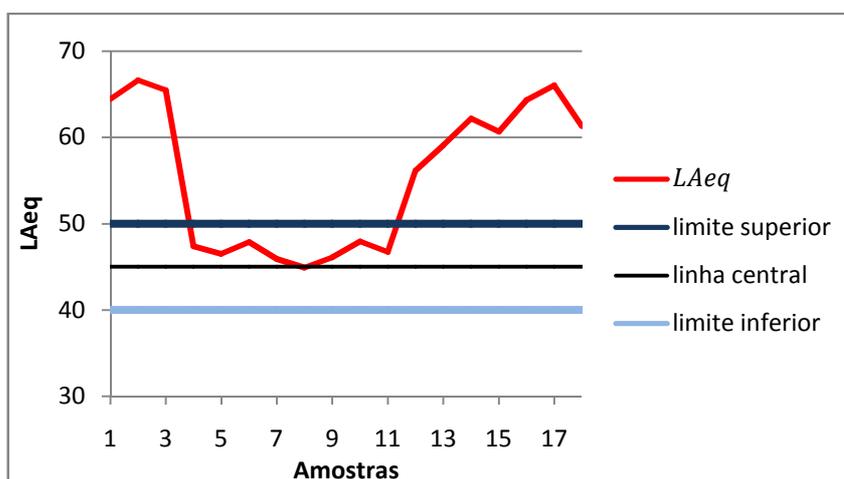


Figura 38 - Gráfico do LAeq referente a cada pontos e medida realizada no laboratório E007
Fonte: autoria própria

A figura 39 apresenta um gráfico com a média dos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 6 dados. Mostra também uma média desses valores e os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB que devem ser obedecidos por norma.

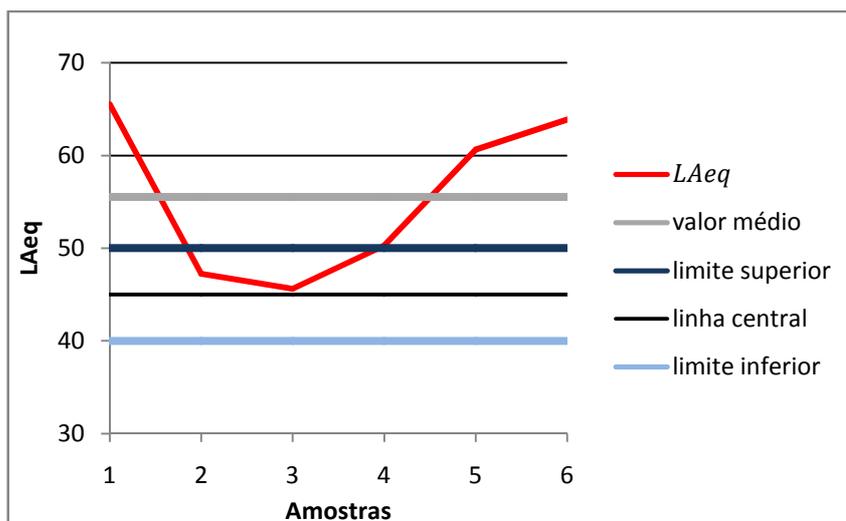


Figura 39 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada no laboratório E007

Fonte: autoria própria

Segundo análise dos fatores externos e da estrutura interna da sala já era esperado que os valores amostrais estivessem fora dos limites exigidos por norma. Pela análise do gráfico observa-se que quando sem uso, apresenta características dentro de norma, porém, apesar de ser uma sala com ar condicionado e estar sempre com as aberturas fechadas, quando em uso, ainda apresenta ruídos acima do exigido em norma. O ambiente inadequado para o uso sendo prejudicial a saúde e bem estar dos alunos.

6.4.5 Biblioteca

A biblioteca foi visitada 6 vezes para compor os dados referente a sua avaliação acústica. Os resultados estão no quadro 7 que mostra o dia, horário e situação da sala no momento em que foi obtido os valores de L_{Aeq} . O L_{Aeq} definido no quadro é a resultante da média de 3 valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita.

| Dia | Hora | Situação | Laeq |
|--------|---------------|----------|-------|
| terça | 15:00 - 16:00 | em uso | 58,63 |
| | 20:00 - 21:00 | em uso | 50,56 |
| quarta | 8:00 - 9:00 | em uso | 50,82 |
| | 14:00 - 15:00 | em uso | 53,86 |
| quinta | 9:00 - 10:00 | em uso | 52,43 |
| | 15:00 - 16:00 | em uso | 59,76 |

Quadro7 - Dados Biblioteca

Fonte: Aatoria Própria

A figura 40 apresenta um gráfico com todos os valores obtidos nos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 18 dados. Mostra também os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB que devem ser obedecidos por norma.

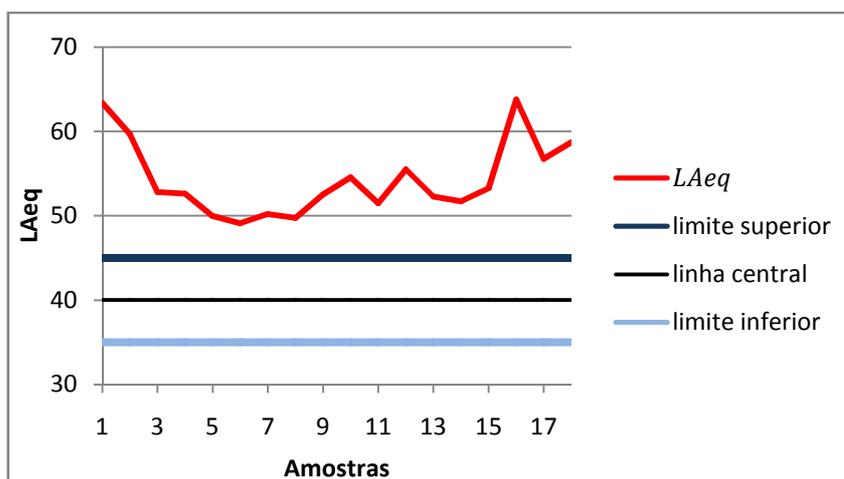


Figura 40 - Gráfico do LAeq referente a cada pontos e medida realizada na biblioteca

Fonte: autoria própria

A figura 41 apresenta um gráfico com a média dos 3 pontos estudados em cada visita, totalizando 6 dados. Mostra também uma média desses valores e os limites superior e inferior de L_{Aeq} em dB que devem ser obedecidos por norma.

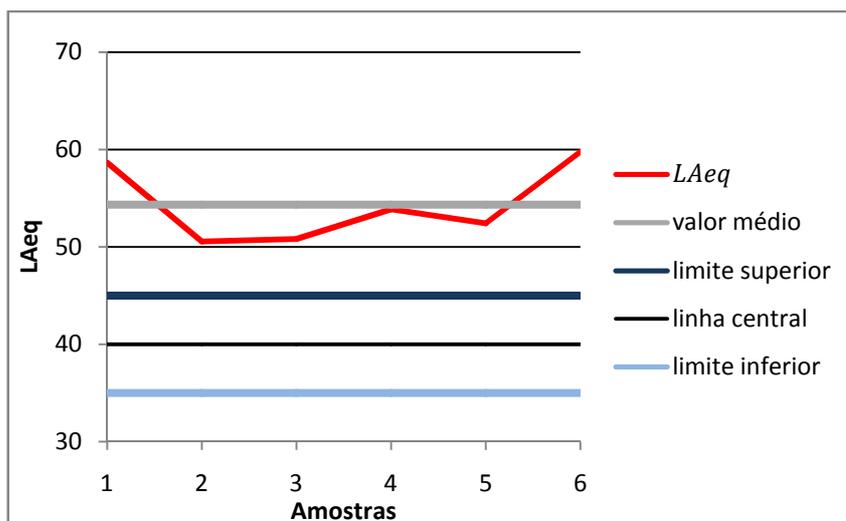


Figura 41 - Gráfico da média dos LAeq referente a cada medida realizada na biblioteca

Fonte: autoria própria

Segundo análise dos fatores externos e da estrutura interna do ambiente já era esperado que os valores amostrais estivessem fora dos limites exigidos por norma. Pelos dados observa-se que o ambiente é atingido por considerável quantidade de ruído estando sempre fora dos limites estipulados em norma. O ambiente inadequado para o uso sendo prejudicial a saúde e bem estar dos alunos.

6.4.6 Auditório

O auditório foi visitado apenas 1 vez para compor os dados referente a sua avaliação acústica. Para apresentar os resultados foi confeccionado o gráfico apresentado na figura 42. O gráfico mostra o valor de todos os dados obtidos em dB a cada 5 segundo nos 3 diferentes pontos.

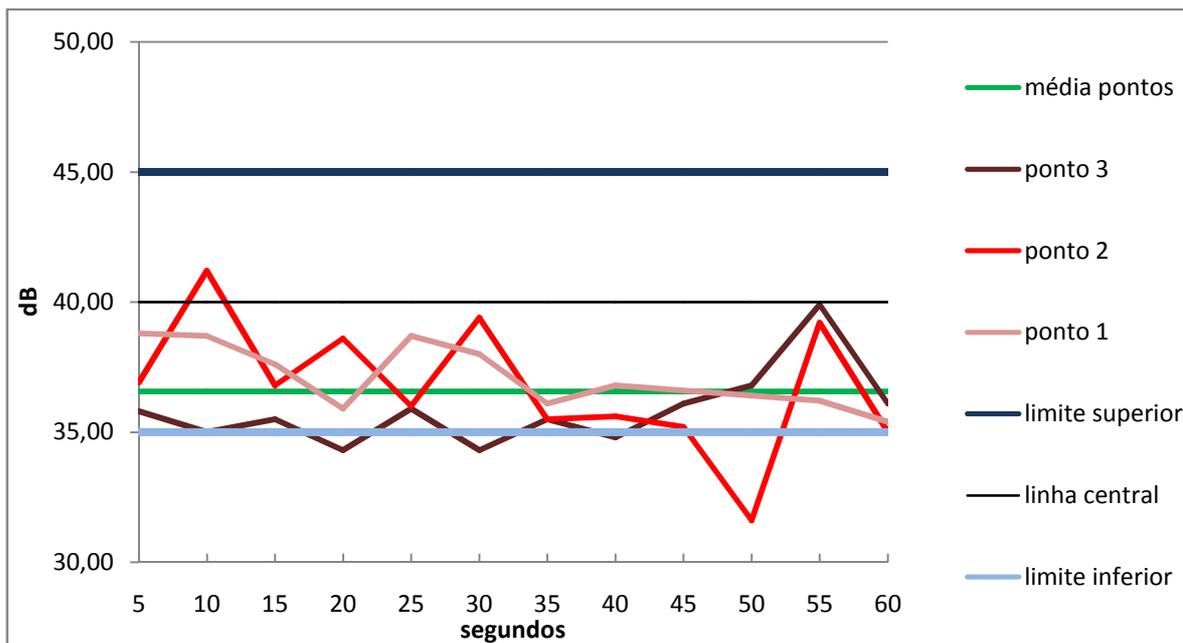


Figura 42 - Gráfico com todos os valores amostrais referente a única medição realizada no auditório
Fonte: autoria própria

Com os dados da figura 42, foi calculado os 3 valores referente ao L_{Aeq} apresentado no gráfico da figura 43, junto aos limites cobrados por norma e o valor médio.

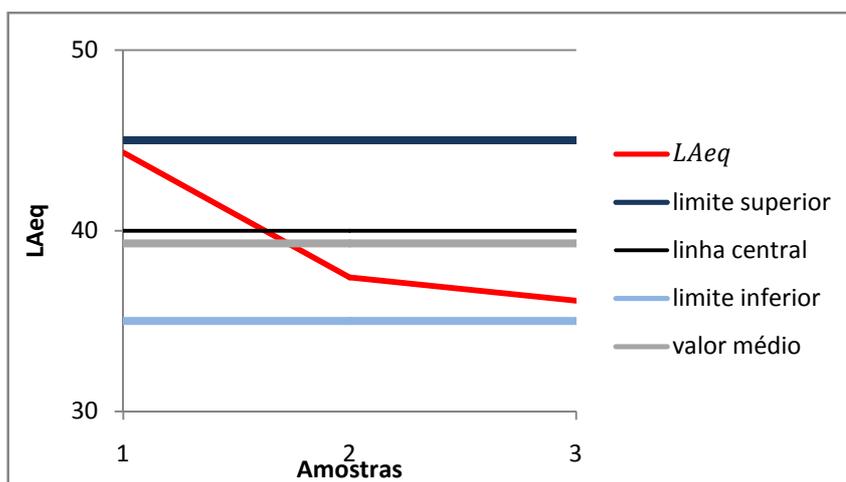


Figura 43 - Gráfico com o L_{Aeq} referente aos 3 pontos da medição realizada no auditório
Fonte: autoria própria

A média do nível de pressão sonora equivalente para os 3 pontos é igual a 39,30dB. Observa-se pelos gráficos, que durante todo o tempo o auditório esteve dentro dos limites estipulados em norma. A constatação já era esperada devido ao

refinado tratamento acústico que o ambiente recebe. Sendo assim trata-se de um ambiente que não causa danos a saúde e bem estar de quem faz uso.

7 CONCLUSÕES

A pesquisa desenvolvida neste estudo buscou verificar as condições acústicas dos ambientes utilizados para ensino na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A partir do estudo das características individuais de cada ambiente, foi possível observar que, com exceção do auditório, todos os ambientes sofrem com interferências acústicas externas e não possuem isolamento para conter o ruído. Já internamente a questão é agravada visto que, a maioria dos ambientes possuem equipamentos ruidosos, e não possuem nenhum tratamento afim de absorver o ruído gerado.

Afim de se trabalhar com dados concretos e assim assegurar um estudo com mais uniformidade e segurança foi utilizada a ferramenta estatística de controle de processo para variância e média. A ferramenta se mostrou eficaz e de fundamental importância, uma vez que, apontou nos conjuntos de amostras dados que possuíam causas atribuídas e que não caracterizavam os ambientes estudados.

Através dos resultados encontrados, constatou-se que, os níveis de pressão sonora equivalente estão acima dos limites estabelecidos por norma nas salas de ensino e biblioteca.

As salas grandes, assim como a sala D102, de dimensões reduzidas, e a biblioteca apresentaram praticamente os mesmos problemas. Esses ambientes foram projetados aplicando os mesmos métodos construtivos, alvenaria em blocos e tijolos cerâmicos, forro em pvc e piso de granitina ou cimento. Esse materiais, da forma aplicada, desempenham pouca função como isolantes acústicos e absorventes do ruído.

As salas não possuem ar condicionado e devido ao clima da região as janelas estão sempre abertas. Neste caso não há barreiras que impeçam a entrada do ruído externo e há potencialização do ruído pelo uso ventiladores ruidosos.

A biblioteca é o caso mais agravante pois possui por norma valores mais rígidos, entre 35 e 45 dB, e apresenta o mesmo desempenho das salas de aula. Deveria receber em sua estrutura maior isolamento acústico contra ruídos externos e principalmente absorção dos ruídos internos assim como no auditório, que possui

grande dimensão mas. devido ao tratamento que recebe, filtra as interferências externas e suas faces absorvem os ruídos internos seguindo assim os valores normativos.

Ao analisar os gráficos, as únicas amostras de dados que ficam dentro dos limites normativos ocorreram na sala F102 no período da noite e na E007, que normalmente fica com suas aberturas fechadas. São poucas as atividades que ocorrem a noite na universidade, sendo esse um período de pouca interferência externa. Sendo assim, fica claro que o principal fator que prejudica o desempenho dos ambientes e interfere no ruído de fundo é o isolamento acústico deficiente.

Como sugestões para melhora dos ambientes, em relação ao canteiro de obras que está próximo a sala F102, seria ideal a sua mudança para um local onde não possa interferir no ruído de fundo dos ambientes de ensino. Na biblioteca substituir as catracas de entrada e saída por outro modelo com baixa emissão de ruído e adotar em suas faces o tratamento acústico próximo ao utilizado no auditório da Universidades. Em comum a todos os ambientes substituir ventiladores por aparelhos ar condicionado com baixa emissão de ruído junto ao uso de 2 placas de vidro de 6mm com camada de ar intermediária. Adotar paredes internas dos blocos em tijolos assentados à cutela ou uso de estrutura mista com blocos cerâmicos e painel de gesso com camada de ar intermediária, obtendo, no mínimo, 40 dB no isolamento entre ambientes.

Quanto a absorção acústica dos ambientes, não foi um tema tratado neste trabalho, porém, é visível a sua falta. Essa é uma sugestão de trabalho que pode ser realizado futuramente na Universidade.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 10151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<https://www.gedweb.com.br/utfpr/>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico Rio de Janeiro, 1987. Disponível em: <<https://www.gedweb.com.br/utfpr/>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

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

DIAS, Adriana. **Avaliação das condições de conforto térmico e acústico de salas de aula em escola de tempo integral**-estudo de caso da escola Padre Josimo em Palmas (TO).2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Minter UnB-UFT, Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <<http://btd.d.bce.unb.br/tesesimplificado/>>. Acesso em: 07/03/2013

ENIZ, Alexandre de Oliveira. **Poluição sonora em escolas do distrito federal**. 2004. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Gestão Ambiental) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.btd.d.ucb.br>>. Acesso em: 07/03/2013

EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C. **Master Handbook of Acoustics**. 5. ed. New York: McGrawHill, 2009

FERREIRA, Bruno João Chaves. **Análise de níveis sonoros em salas de aula**. 2010. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2010. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt> >. Acesso em: 07/03/2013

FERREIRA, Andressa Maria Coelho. **Avaliação do conforto acústico em salas de aula**: estudo de caso na Universidade Federal do Paraná. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace>>. Acesso em: 24/02/2013

NAGEM, Míriam Pompeu. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e Metodologia**. 2004. Dissertação (Mestrado em Edificações) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br>. Acesso em: 01/03/2013

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004

OLIVEIRA, Nádia Freire. **Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Construção) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br>. Acesso em: 01/03/2013

RENNER, Gilberto. **Ruído Urbano: o caso da rua integração na cidade de Entre-Ijuís,RS**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br>>. Acesso em: 03/04/2013

THOMÉ, Caroline Prá da Silva. **A importância do conforto térmico, acústico e visual para o aprendizado em uma sala de aula**. 2011. Monografia (Pós-graduação em Docência do Ensino Superior) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011. Disponível em: <<http://200.18.15.27/>>. Acesso em: 07/03/2013

VASCONCELOS, Maria Alice de Oliveira Costa; NAKATA, Camila Mayumi. Avaliação dos níveis de ruído em ambientes de ensino. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 2, p. 16-21, fev. 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br>>. Acesso em: 07/03/2013

ANEXO A

BLOCO B – PRIMEIRA LAJE

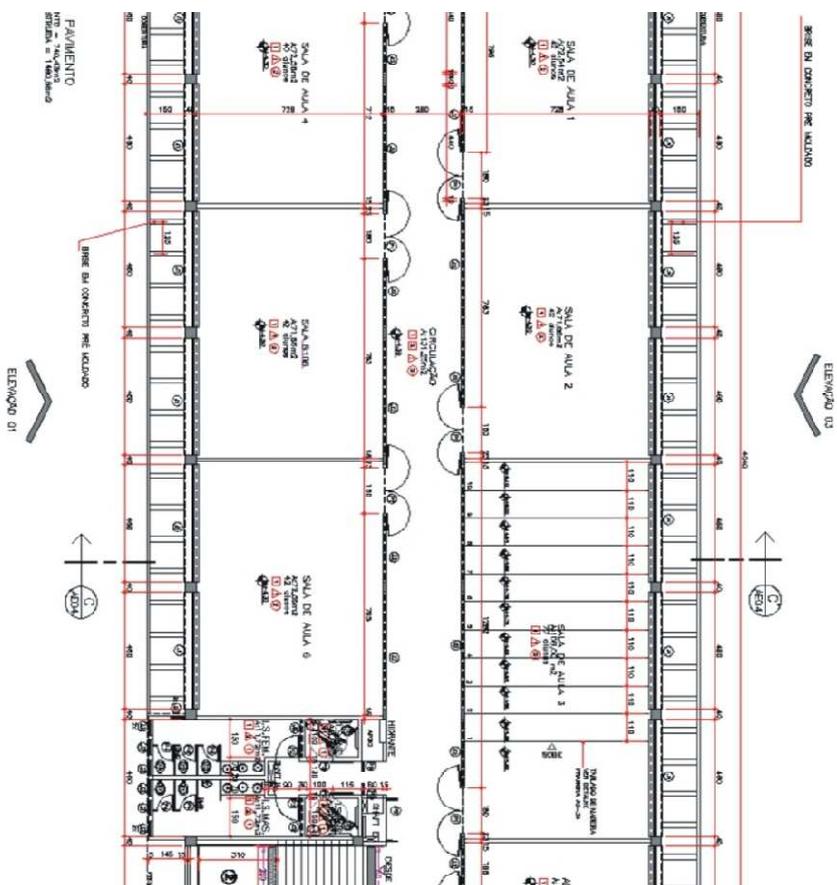


Figura 44 - Planta bloco B - primeira laje
 Fonte: Engenheiro responsável pelo *campus* Campo Mourão

BLOCO D - TERREO

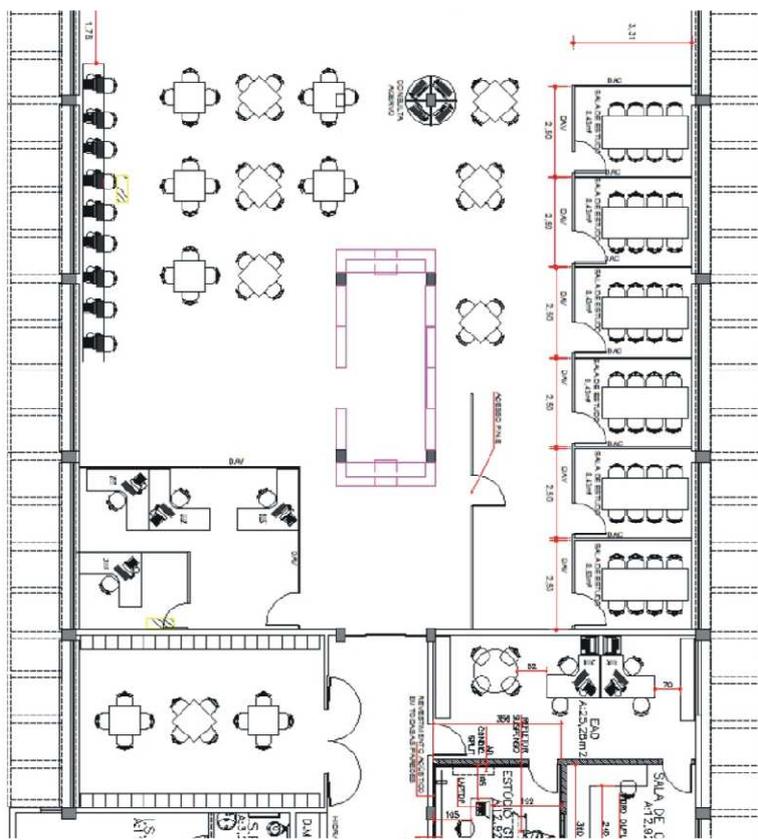


Figura 45 - Planta bloco D-térreo

Fonte: Engenheiro responsável pelo *campus* Campo Mourão

BLOCO D – PRIMEIRA LAJE

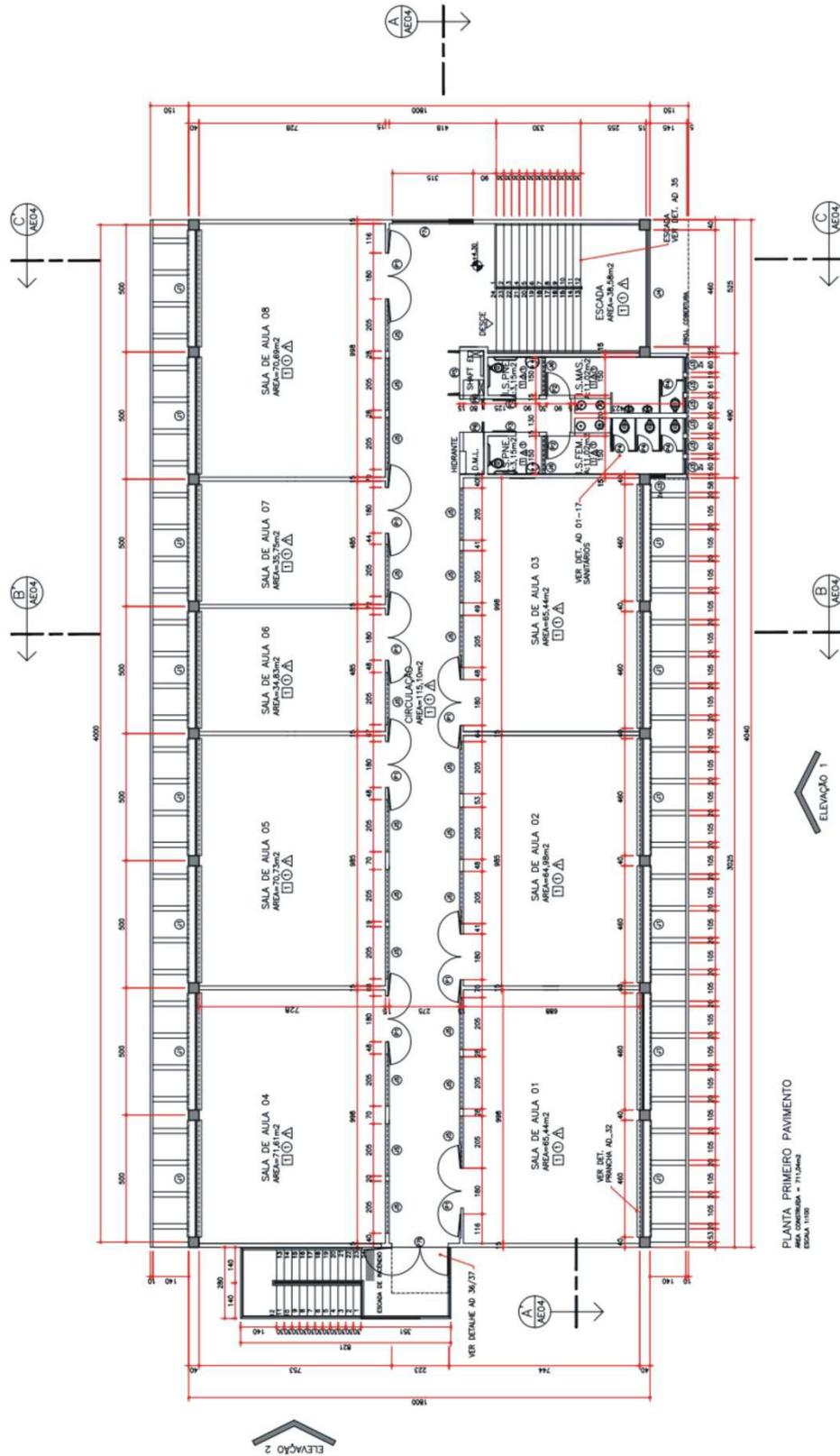


Figura 46 - Planta bloco D - primeira laje
 Fonte: Engenheiro responsável pelo *campus* Campo Mourão

BLOCO E – PRIMEIRA LAJE

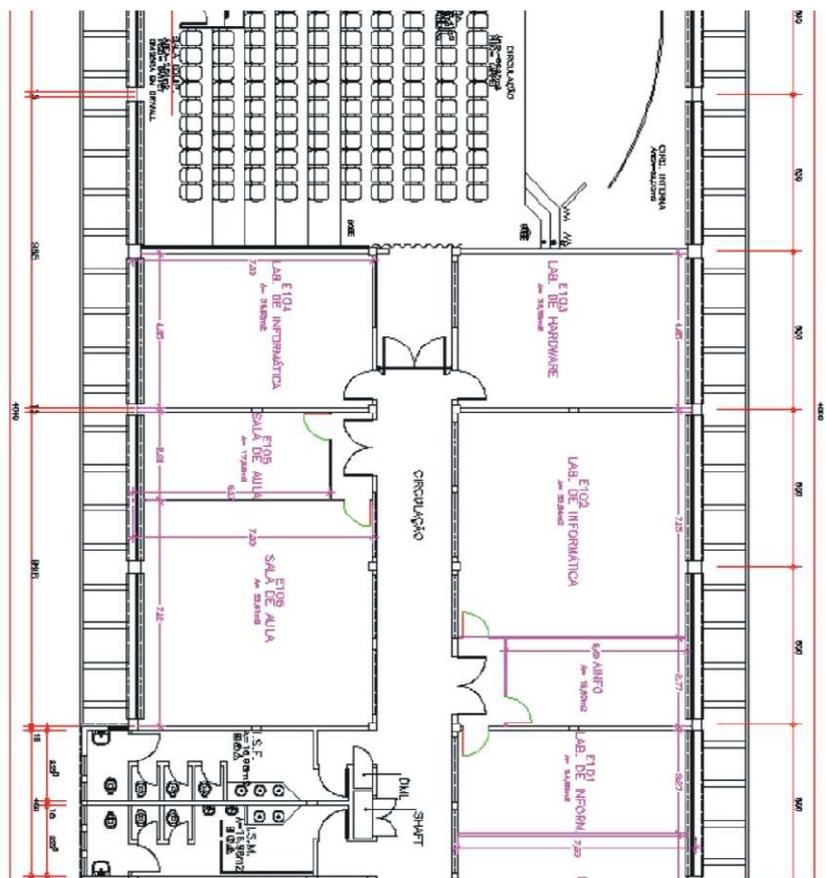


Figura 48 - Planta bloco E - primeira laje

Fonte: Engenheiro responsável pelo *campus* Campo Mourão

BLOCO F – PRIMEIRA LAJE

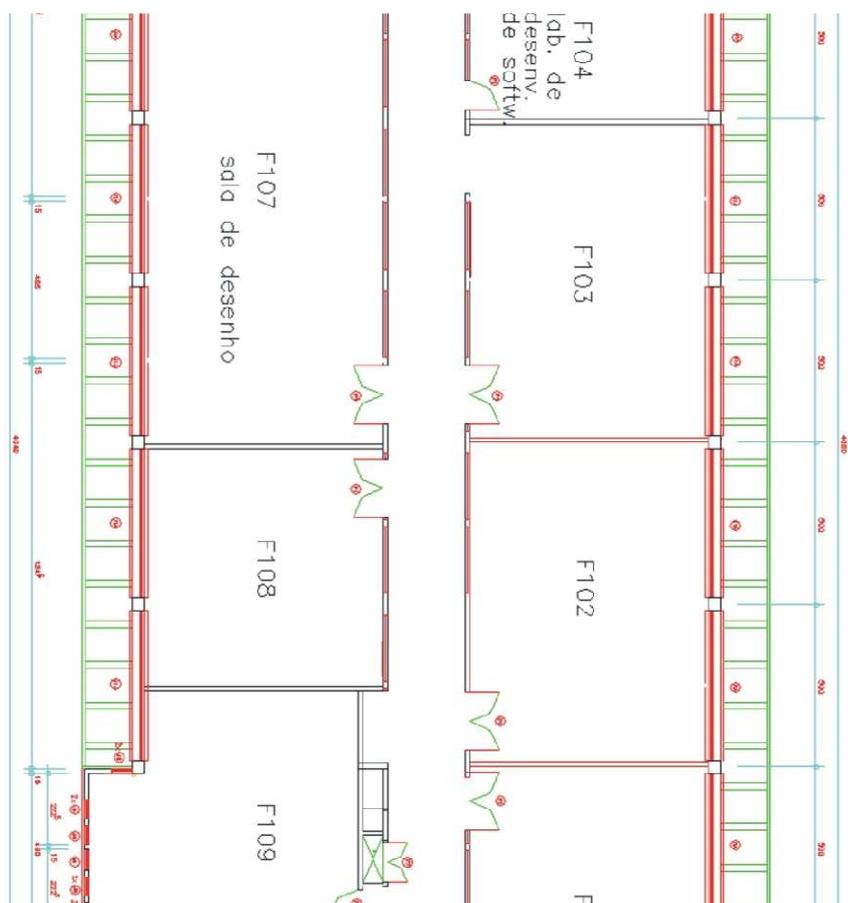


Figura 49 - Planta bloco F - primeira laje
 Fonte: Engenheiro responsável pelo *campus* Campo Mourão