

CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DA FEUP

GERSON ABRAÃO DA SILVA BUENO DE CAMPOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

JUNHO DE 2019

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2018/2019

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2018/2019 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

O orientador reserva-se nos direitos sobre os créditos deste documento.

*Porque na muita sabedoria há muito enfado; e o
que aumenta em ciência, aumenta em trabalho.*

Livro de Eclesiastes, 1: 18

Agradecimentos

É com alegria que concluo a minha dissertação e entrego o meu último trabalho como estudante na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Não o teria conseguido sem a preciosa orientação do professor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues. A constante disponibilidade e o prazer por orientar estiveram sempre presentes e por isso, aproveito este espaço para louvar estas qualidades do meu orientador.

Mas não foi só da preciosa ajuda do professor Rui Calejo Rodrigues que esta dissertação andou para a frente. Foi graças a um grupo de pessoas e à sua constante disponibilidade para me auxiliarem que esta dissertação se tornou possível:

Engenheiro Mário Heitor Pires Calejo – Foi o responsável por grande parte das medições e ensaios que foram realizadas e, a sua ajuda revelou-se bastante importante.

Engenheira Daniela Jacinta Dolgner Maio – Teve um papel fulcral para a concretização desta dissertação. Foi quem me ensinou a utilizar o software CATT, componente crucial para a realização desta dissertação.

Professora Maria de Lurdes de Oliveira Simões – Foi quem me lembrou como usar o software SPSS e quem sugeriu como é que deveria de ser feita a análise estatística das respostas ao inquérito realizado aos utentes do caso de estudo.

Engenheiro António Eduardo Batista da Costa – Foi o responsável pelo ensaio RASTI e, dada a sua experiência em acústica de edifícios, foi me dando dicas para que esta dissertação fluísse da melhor maneira.

Os meus amigos – Os grandes culpados pelos grandes momentos.

A todos um muito obrigado pela constante disponibilidade para ajudar e, é com muito apreço que vos agradeço a influência positiva que tiveram nesta dissertação.

Resumo

O presente trabalho visa estudar as patologias acústicas em bibliotecas.

Realiza-se um inquérito para que os utentes do caso de estudo possam dar a sua opinião sobre a acústica do caso de estudo e identifiquem os ruídos que os perturbam com maior frequência.

De forma a avaliar e caracterizar as condições acústicas de bibliotecas recorre-se a um caso de estudo (Biblioteca da FEUP), onde são estudados parâmetros como o tempo de reverberação, o RASTI e o ruído de equipamentos. Para isso são realizadas diversas medições e ensaios para medir a realidade que se comparam com os valores de referência, valores estes regulados em documentos legislativos nacionais, como o RRAE, ou sugeridos em estudos conceituados sobre a matéria.

De forma a perceber os locais onde atuar com maior eficiência, desenvolveu-se um modelo computacional do caso de estudo. Com a ajuda deste modelo recomendam-se medidas para melhorar a experiência dos utentes no caso de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: ACÚSTICA DE BIBLIOTECAS, TEMPO DE REVERBERAÇÃO, RASTI, RUÍDO DE EQUIPAMENTOS, RAY TRACING.

Abstract

The presente study aims to analyze the acoustic pathologies present in libraries.

A survey was caried out so that the users of the study case can give their opinion about the acoustics of the space and identify the noises that disturb them more frequently.

In order to evaluate and characterize the acoustic conditions in libraries, a number of parameters such as reverberation time, RASTI and equipments noise, were studied. In order to do that, several measurementes and tests were performed to assess the reality at the present moment which were compared to reference values, that are regulated in nacional legislations documents, such as the RRAE or that are suggested in higly regarded studies about the subject.

In order to understand were to act with more efficiency, a computational model of the study case was developed. With the help of this model, some recomendations were made to improve the personal experience of the users in the studied space.

KEY WORDS: ACOUSTIC OF LIBRARIES, REVERBERATION TIME, RASTI, NOISE LEVELS OF EQUIPMENTS, RAY TRACING

Índice Geral

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
 CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	 1
1.1 Enquadramento	1
1.1.1 Problemática da acústica da biblioteca.....	1
1.1.2 Implicações históricas, socioculturais, económicas e políticas.....	1
1.2 Objetivo e Âmbito.....	3
1.3 Estrutura	3
CAPÍTULO 2: CONCEITOS	5
2.1 Conceitos base.....	5
2.1.1 Som e Ruído.....	5
2.1.2 Pressão, Intensidade e Potência sonora	5
2.1.3 Níveis.....	6
2.2 Conceitos.....	7
2.2.1 Absorção sonora	7
2.2.2 Tempo de Reverberação.....	7
2.2.3 Difusão	9
2.2.4 RASTI	9
2.2.5 Noise Criterion.....	10
2.2.6 Métodos de modelação	11
2.2.6.1 Métodos empíricos	11
2.2.6.2 Métodos onda.....	11
2.2.6.3 Métodos geométricos	11
2.2.6.3.1 Método Image Source	12
2.2.6.3.2 Método Ray Tracing	12
2.2.6.3.3 Método Cone Tracing.....	13
2.3 Bibliometria	14
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA PROPOSTA E CASO DE ESTUDO.....	19
3.1 Metodologia	19
3.2 Introdução do caso de estudo.....	21
3.2.1 História	21
3.2.2 Missão	21
3.3 Fundamentação da problemática - Inquérito.....	21
3.3.1 Objetivo	21
3.3.2 Apresentação do inquérito	22

3.3.2.1 Aspetos globais	22
3.3.2.2 Amostra do inquérito social	22
3.3.2.3 Levantamento de dados do inquérito social.....	22
3.3.2.4 Condições acústicas	22
3.3.3 Análise das respostas ao inquérito	25
3.3.3.1 Análise Descritiva	25
3.3.3.2 Análise Estatística	32
CAPÍTULO 4: LEGISLAÇÃO, NORMAS E INSTRUMENTOS	37
4.1 Parâmetros de interesse	37
4.2 Legislação.....	37
4.3 Valores ideais	39
4.4 Normas.....	39
4.4.1 Tempo de Reverberação.....	39
4.4.2 Nível de pressão sonora de equipamentos de serviço	40
4.5 Instrumentos	41
CAPÍTULO 5: MEDIÇÕES, ENSAIOS E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	43
5.1 Introdução.....	43
5.2 Tempo de reverberação	43
5.3 RASTI	45
5.4 Ruído de equipamentos	47
5.4.1 Curvas de incomodidade NC	47
5.4.2 Nível de pressão sonora de equipamentos de serviço	49
CAPÍTULO 6: MODELAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	55
6.1 Introdução.....	55
6.2 Procedimento de recolha de informação.....	55
6.3 Modelação.....	56
CAPÍTULO 7: PROPOSTA DE MELHORIA.....	61
7.1 Proposta de melhoria.....	61
7.1.1 Atenuador de ruído.....	61
7.1.1.1 Dimensionamento	61
7.1.1.2 Procedimento	64
7.1.2 Membrana acústica	64
7.1.2.1 Dimensionamento	64
7.1.2.2 Procedimento	65
7.1.3 Biombos.....	65
7.1.3.1 Dimensionamento	66
7.1.3.2 Procedimento	68
7.1.4 Proteções deslizantes nos pés das cadeiras e manutenção das cadeiras	69
7.1.4.1 Dimensionamento	69

7.1.5 Molas para portas.....	69
7.1.5.1 Dimensionamento e procedimento	69
7.1.6 O que não fazer.....	70
7.1.6.1 Alcatifa.....	70
7.1.6.2 Envidraçados.....	71
7.1.7 Resumo das medidas a aplicar	72
CAPÍTULO 8: CONCLUSÃO	73
8.1 Conclusão.....	73
8.2 Propostas de desenvolvimento futuro.....	74
ANEXOS	77

Índice de Figuras

Fig. 1 – Tempo de reverberação [12]	8
Fig. 2 – Tempo ótimo de reverberação [11]	8
Fig. 3 – Curvas de incomodidade: NC [15]	10
Fig. 4 – Método Image Source [23], $S'c1$ fonte sonora virtual espelhada através de uma superfície do teto, $S'c2$ fonte sonora virtual espelhada através de uma superfície do teto, $S'c2 - w$ fonte sonora virtual espelhada através de uma superfície da parede	12
Fig. 5 – Método Ray Tracing [23]	13
Fig. 6 – Método Cone Tracing [[28] Computer Modelling of Urban Noise Propagation; 2003] ..	14
Fig. 7 – Histograma, quantidade por ano de publicação	17
Fig. 8 – Biblioteca da FEUP: esquerda, interior, direita, exterior	21
Fig. 9 – Pergunta 1	25
Fig. 10 – Pergunta 2	25
Fig. 11 – Pergunta 3	26
Fig. 12 – Pergunta 4	26
Fig. 13 – Pergunta 5	27
Fig. 14 – Pergunta 6	27
Fig. 15 – Pergunta 7	28
Fig. 16 – Pergunta 8	28
Fig. 17 – Pergunta 9	29
Fig. 18 – Pergunta 10, parte 1	29
Fig. 19 – Pergunta 10, parte 2	30
Fig. 20 – Pergunta 10, parte 3	30
Fig. 21 – Pergunta 11, pesos	31
Fig. 22 – Pergunta 12	31
Fig. 23 - Inquérito, cruzamento de dados género-ruído, gráfico	33
Fig. 24 - Inquérito, cruzamento de dados ano-ruído, gráfico	34
Fig. 27 – Inquérito, cruzamento de dados piso-ruído, gráfico	35
Fig. 28 – Número mínimo de pontos de medição e de medições	40
Fig. 29 – Sonómetro	42
Fig. 30 – Fonte Sonora	42
Fig. 31 – Emissor e recetor (RASTI)	42
Fig. 32 – Ensaio do tempo de reverberação, posições de fonte sonora ($\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$) e de recetor (01 , 02 , 03 , 04 , 05)	44
Fig. 33 – Medição “ <i>in situ</i> ” do índice RASTI	45
Fig. 34 – Índice RASTI, fonte sonora direcionada para o recetor	46
Fig. 35 – Índice RASTI, fonte sonora direcionada no sentido oposto a B	46
Fig. 36 – Curva de incomodidade NC, ruído de equipamento de ventilação e ar condicionado ..	49
Fig. 37 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, posições de recetor ($\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$)	50

Fig. 38 – Procedimento prévio à modelação.....	56
Fig. 39 – Exemplo da definição de pontos e de planos no software (excerto)	58
Fig. 40 – Modelação do caso de estudo	59
Fig. 41 – Modelo calibrado: tempo de reverberação.....	60
Fig. 42 – Modelo calibrado: RASTI	60
Fig. 43 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: esquerda s/ atenuador, direita c/ atenuador	61
Fig. 44 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: nível de pressão sonora do ruído do equipamento de ventilação e ar condicionado c/ atenuador, por banda de frequência	63
Fig. 45 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: nível de pressão sonora do ruído do equipamento de ventilação e ar condicionado c/ atenuador com os ruídos provenientes do exterior, por banda de frequência	63
Fig. 46 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: dimensões do atenuador.....	64
Fig. 47 – Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: conduta de admissão de ar	64
Fig. 48 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: membrana acústica	65
Fig. 49 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: esquerda s/ atenuador e s/ membrana, centro c/ atenuador s/ membrana, direita c/atenuador e c/ membrana	65
Fig. 50 – Proposta de melhoria – ruído de conversa: biombos entre secretárias	66
Fig. 51 - Proposta de melhoria – ruído de conversa: dimensões do biombo	66
Fig. 53 – Proposta de melhoria – ruído de conversa: RASTI (antes e depois)	67
Fig. 54 – Proposta de melhoria – ruído de conversa: SPL (antes e depois)	68
Fig. 52 – Proposta de melhoria – ruído de conversa: disposição dos biombos () em planta 88	
Fig. 55 – Proposta de melhoria – ruído das cadeiras: 1) colocação de proteções deslizantes, 2) apertar parafusos	69
Fig. 56 - Proposta de melhoria – ruído das cadeiras: proteções deslizantes	69
Fig. 57 – Proposta de melhoria – ruído na zona de elevadores: mola para a porta.....	70
Fig. 58 - Proposta de melhoria – ruído na zona de elevadores: mola para a porta (2)	70
Fig. 59 – Curva de incomodidade NC, equipamento de ventilação e de ar condicionado desligado	71
Fig. 60 – Curva de incomodidade NC, equipamento de ventilação e de ar condicionado ligado com atenuador.....	71

Índice de Tabelas

Tab. 1 – Classificação da inteligibilidade da palavra/ RASTI.....	10
Tab. 2 – Artigos fontes de inspiração: título, ano, autor, referência	15
Tab. 3 – Inquérito, peso de cada frequência.....	32
Tab. 4 - Inquérito, cruzamento de dados género-ruído, dados estatísticos	33
Tab. 5 – Inquérito, cruzamento de dados ano-ruído, comparação do valor p entre anos	33
Tab. 6 - Inquérito, cruzamento de dados ano-ruído, dados estatísticos.....	34
Tab. 7 – Inquérito, cruzamento de dados piso-ruído, comparação do valor p entre pisos.....	35
Tab. 8 – Inquérito, cruzamento de dados piso-ruído, dados estatísticos	35
Tab. 9 – Requisitos acústicos exigidos em edifícios escolares e similares, e de investigação [14].....	39
Tab. 10 – Valores ideais para dos parâmetros de interesse	39
Tab. 11 – Ponderações A e C [16]	41
Tab. 11 – Resultado do tempo de reverberação, 125-8000 Hz	45
Tab. 12 – Índice RASTI, resultados da medição.....	47
Tab. 13 – Medição do Leq para as Curvas de Incomodidade NC	48
Tab. 14 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, (L1), parte 1	51
Tab. 15 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, (L1), parte 2	51
Tab. 16 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, (L2), parte 1	52
Tab. 17 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, (L2), parte 2	52
Tab. 18 – Cálculo do LAr,nT, parte 1	53
Tab. 19 – Cálculo do LAr, nT, parte 2	53
Tab. 20 – Componentes e as suas características acústicas	57
Tab. 20 – Nível de pressão sonora a reduzir, por banda de frequência.....	62
Tab. 21 – Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: escolha do atenuador.....	62
Tab. 22 – Nível de pressão sonora que o atenuador é capaz de reduzir, por banda de frequência.....	62
Tab. 23 - Proposta de melhoria – ruído de conversa: coeficiente de absorção sonora dos biombos	66
Tab. 24 – Produtos a aplicar, quantidades e preços.....	72
Tab. 25 – Produtos a aplicar para o tipo de ruído.....	72

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.1.1 Problemática da acústica da biblioteca

Os dias em que se pensava que uma biblioteca deveria ser um local de silêncio absoluto estão ultrapassados. Atualmente é preciso conciliar as áreas de espaço sociocultural com as áreas de estudo em grupo e, com as áreas de estudo individual onde é necessário o silêncio. Como tal, conceber um espaço com estes requisitos torna-se desafiador para um projetista. Contrariamente ao que se possa pensar, uma boa acústica em bibliotecas não é obtida diminuindo, simplesmente, os níveis de ruído, mas sim, bloqueando eficazmente o ruído vindo de outras áreas nos espaços que assim o requerem.

O que instigou o estudo à acústica da Biblioteca da FEUP foi a abordagem de um seu responsável para a realização de um estudo sobre a mesma. À má experiência vivenciada diariamente pelo responsável, somam-se os constantes comentários negativos, tanto provenientes de funcionários como de alunos. Tomou-se por isso a Biblioteca da FEUP como caso de estudo.

Na opinião do autor, a acústica do espaço em estudo é, de facto, algo preocupante. Nas épocas de exames, o problema é maior. Devido a algum eventual stress que se faz sentir em alguns alunos, preocupação ou, simplesmente, pela necessidade de tirar dúvidas e/ou prestar esclarecimentos, os elevados níveis de ruído marcam frequentemente presença. O ruído proveniente dos equipamentos de ventilação é também, de salientar. Quando o equipamento de ventilação é desligado às 18h, o alívio é tal que por vezes consegue-se ouvir a satisfação dos outros utilizadores.

Tendo isto em conta, foi proposta a realização desta dissertação onde se estuda a condicionamento acústico de bibliotecas tendo como caso de estudo, a já referida, Biblioteca da FEUP. Como questão de investigação considera-se: será possível alterar as condições acústicas de uma biblioteca para melhorar a experiência dos seus utentes?

1.1.2 Implicações históricas, socioculturais, económicas e políticas

Em tempos, o papel desempenhado por uma biblioteca era o de guardar e conservar o acervo de registos em papel cujo acesso era, apenas, permitido aos mais sábios e eruditos. No entanto esse conceito alterou-se. A biblioteca, de mero repositório de livros inacessível à maioria das pessoas, passa a ser um espaço onde os utilizadores podem suprir as suas necessidades de informação. Mas a mudança não ficou por aqui. Com um panorama tecnológico e informacional capaz de substituir as funções que até então eram restritamente de uma biblioteca, a mesma tem vindo a adaptar-se a esta nova realidade. Atualmente, a biblioteca agrega às funções de conservação de acervo, novos serviços, tanto socioculturais, educativos, como também, de lazer [7].

O conceito de biblioteca tem sofrido tantas alterações muito por causa das revoluções e mudanças político-económicas que se fizeram sentir ao longo do tempo. Tomando como exemplo os países

do sul da Europa, tudo começou quando o Estado, sob a influência do pensamento liberal, decidiu intervir, confiscando bens do clero. Enquanto a Espanha cria, simultaneamente com a confiscação dos bens do clero, bibliotecas públicas independentes que pudessem receber todo o património bibliográfico e manuscrito com o objetivo político de o tornar acessível, a França, na sequência do acumular de património bibliográfico que vinha sendo confiscado desde a Revolução Francesa, constrói bibliotecas para evitar que o mesmo se perdesse. Já em Portugal, e também devido à confiscação de bens ao clero, cria-se o Depósito das Livrarias dos Extintos Conventos que acolheria as livrarias expropriadas e, posteriormente, as distribuiria às bibliotecas de instituições tanto públicas como privadas que fossem criadas [8].

Com a implantação da República, ocorrem mudanças políticas voltadas para a instrução e cultura. Com o novo regime político, as bibliotecas passaram a estar na ordem do dia. No entanto, embora o interesse pelas mesmas fosse elevado, a conjuntura económica e a carência de recursos financeiros restringiu a concretização de uma rede nacional de bibliotecas populares e móveis. Posteriormente, em 1986 é criado pelo Secretário de Estado da Cultura um grupo de trabalho que viria a propor um projeto para a Política Nacional de Leitura Pública. A proposta desse grupo propunha a criação de bibliotecas públicas numa parceria entre o Estado e os Municípios, com partilha de investimento financeiro e o cumprimento de exigências mínimas do Programa para a criação de bibliotecas. A Política Nacional de Leitura Pública consegue algo inédito para a realidade nacional, obtém continuidade política na sua concretização, o que leva a que durante 20 anos sejam construídas centenas de bibliotecas [8].

Internacionalmente, também são feitos avanços. Com o intuito de atender aos requisitos da sociedade, em 1994 é criado um manifesto resultante da parceria entre a Federação Internacional das Associações de Bibliotecas Públicas (IFLA) e a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO). De acordo com este manifesto, a missão de uma biblioteca pública nas áreas da informação, alfabetização, educação e cultura é a seguinte [9]:

- i. Criar e fortalecer os hábitos de leitura nas crianças, desde a primeira infância;
- ii. Apoiar a educação individual e a autoformação, assim como a educação formal a todos os níveis;
- iii. Assegurar a cada pessoa os meios para evoluir de forma criativa;
- iv. Estimular a imaginação e criatividade das crianças e dos jovens;
- v. Promover o conhecimento sobre a herança cultural, o apreço pelas artes e pelas realizações e inovações científicas;
- vi. Possibilitar o acesso a todas as formas de expressão cultural das artes do espetáculo;
- vii. Fomentar o diálogo intercultural e a diversidade cultural;
- viii. Apoiar a tradição oral;
- ix. Assegurar o acesso dos cidadãos a todos os tipos de informação da comunidade local;
- x. Proporcionar serviços de informação adequados às empresas locais, associações e grupos de interesse;
- xi. Facilitar o desenvolvimento da capacidade de utilizar a informação e a informática;
- xii. Apoiar, participar e, se necessário, criar programas e atividades de alfabetização para os diferentes grupos etários.

Face ao exposto, considera-se que as bibliotecas públicas tendem a tornar-se espaços dinâmicos, que de mero depósito de livros tornam-se, também, em espaços de cultura. Em ambiente académico (não propriamente em bibliotecas públicas), a evolução das bibliotecas é semelhante. Com a disponibilidade digital da informação, os espaços físicos adquiriram funções de estudo e de trabalho em grupo, criando, assim, implicações importantes ao nível do condicionamento acústico.

1.2 Objetivo e Âmbito

O objetivo deste trabalho é responder à pergunta anteriormente colocada: será possível alterar as condições acústicas de uma biblioteca para melhorar a experiência dos seus utentes? Para responder a esta pergunta, a Biblioteca da FEUP funcionará como caso de estudo. Depois de estudada a situação atual da Biblioteca da FEUP, procurar-se-ão medidas que melhorem a experiência dos utentes. A sugestão destas medidas será baseada nas resposta a um inquérito, elaborado propositadamente no âmbito desta dissertação e no resultado obtido de medições e ensaios que descreverão a realidade atual do caso de estudo. De maneira a confirmar que as medidas propostas, depois de aplicadas, serão eficazes, conceber-se-á um modelo do caso de estudo que, depois de calibrado, indicará a influência que algumas das medidas proposta terão.

O âmbito deste trabalho limita-se ao caso concreto estudado, mas a metodologia aplicada, entende-se ser adequada como método para outras situações.

1.3 Estrutura

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira:

O 1º capítulo introduz o trabalho que se pretende apresentar, assim como os objetivos e a estrutura do mesmo, de forma a enquadrar o leitor.

No 2º capítulo abordam-se as matérias basilares para este trabalho e, são identificados trabalhos que foram fontes de inspiração para a realização desta dissertação.

No 3º capítulo desenvolve-se uma metodologia que servirá de guião para a redação desta dissertação e apresentam-se o caso de estudo (Biblioteca da FEUP), o inquérito, o seu resultado e é feita uma análise do mesmo.

No 4º capítulo apresentam-se a legislação e as normas seguidas para a realização dos diversos ensaios e medições assim como os instrumentos necessários para a realização destes mesmos ensaios e medições.

No 5º capítulo descrevem-se os ensaios e as medições, apresentam-se os resultados obtidos e faz-se uma análise destes mesmos resultados.

No 6º capítulo apresenta-se o *software* que será usado na realização do estudo acústico e desenvolve-se um modelo do caso de estudo.

Quanto ao 7º capítulo, apresentam-se as propostas de melhoria.

Por fim, no 8º capítulo apresenta-se a conclusão e propõem-se trabalhos para desenvolvimento.

CAPÍTULO 2: CONCEITOS

2.1 Conceitos base

2.1.1 Som e Ruído

O estímulo sonoro não é mais do que a variação de pressão num meio elástico, no ar ou na água, captada por um sistema auditivo. Na ótica do ouvinte, o que distingue se é um som ou um ruído são duas coisas: se a variação de pressão tem significado e é agradável então é um som, se a variação de pressão não tem significado e é desagradável então é um ruído.

2.1.2 Pressão, Intensidade e Potência sonora

A Pressão sonora é a variação de pressão atmosférica de forma bipolar em relação ao valor de 101400 Pa.

A Intensidade sonora (I) traduz-se na quantidade média de energia que atravessa por segundo, perpendicularmente a uma dada direção uma área de 1 m² e, quantifica-se em W/m^2 [10].

A Potência sonora (W) caracteriza a fonte. É definida como a energia total que atravessa, por segundo, uma esfera fictícia de raio r e, quantifica-se em W [10].

$$I = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$$

Onde:

I – Intensidade sonora (W/m^2);

W – Potência sonora (W);

r – Distância (m);

p – Pressão sonora (Pa);

ρ – Massa volúmica do meio;

c – Celeridade (m/s).

2.1.3 Níveis

O ouvido saudável de um ser humano consegue captar variações de pressão entre 10^{-5} Pa e 10^2 Pa, limiar da audição e limiar da dor, respetivamente. Dado que a gama de valores é muito grande (a pressão pode variar 10^7 Pa) e o ouvido de um ser humano saudável responde aos estímulos de forma quase logarítmica, uma escala linear torna-se pouco prática. Daí usar-se uma outra unidade para determinar esta grandeza, o decibel (dB) que pode ser calculada da seguinte forma [10]:

$$L_p = 20 \times \log \frac{p}{p_0}$$

Onde:

L_p – Nível de pressão sonora (dB);

p_0 – Pressão sonora de referência (2×10^{-5} Pa).

Para além da pressão, a potência e a intensidade sonora também podem ser determinadas por uma escala logarítmica cuja unidade é o decibel [10]:

$$L_W = 10 \times \log \frac{W}{W_0}$$

$$L_I = 10 \times \log \frac{I}{I_0}$$

Onde:

L_W – Nível de potência sonora (dB);

W_0 – Potência sonora de referência (10^{-12} W);

L_I – Nível de intensidade sonora (dB);

I_0 – Intensidade sonora de referência (10^{-12} W/m²).

Quando se pretende calcular o nível de pressão sonora de um equipamento de serviço, juntamente com a ponderação A, ou a ponderação C (opcional), usa-se o nível de pressão máximo que ocorre durante um ciclo de funcionamento especificado do equipamento de serviço ou o nível sonoro contínuo equivalente (Leq), para um determinado tempo de integração específico, com a ponderação A, ou a ponderação C [16].

$$L_A = 10 \times \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \times (L_i + A_i)}$$

Onde:

A_i – Correção da ponderação A [dB]

L_i – Nível de pressão sonora na banda de oitava i [depende do tipo de grandeza, podendo ser qualquer um dos parâmetros referidos abaixo:

- L_{eq} : nível sonoro contínuo equivalente, em bandas de oitava;
- $L_{Smáx}$: nível de pressão sonora máximo, em bandas de oitava, determinado com a ponderação no tempo, “S”;
- $L_{Smáx,nT}$: nível de pressão sonora máximo, em bandas de oitava, determinado com a ponderação no tempo, “S”, e normalizado para um tempo de reverberação de $T_0 = 0,5$ s;

- $L_{Smáx,n}$: nível de pressão sonora máximo, em bandas de oitava, determinado com a ponderação no tempo, “S”, e normalizado para uma área de absorção sonora equivalente de 10 m^2 ;
- $L_{Fmáx}$: nível de pressão sonora máximo, em bandas de oitava, determinado com a ponderação no tempo, “F”;
- $L_{Fmáx,nT}$: nível de pressão sonora máximo, em bandas de oitava, determinado com a ponderação no tempo, “F”, e normalizado para um tempo de reverberação de $T_0 = 0,5 \text{ s}$;
- $L_{Fmáx,n}$: nível de pressão sonora máximo, em bandas de oitava, determinado com a ponderação no tempo, “S”, e normalizado para uma área de absorção sonora equivalente de 10 m^2 .].

2.2 Conceitos

2.2.1 Absorção sonora

Em acústica de edifícios, há dois tipos de situações que importa estudar [12]:

- Correção acústica – são as medidas corretivas a aplicar num determinado espaço fechado para que haja um correto funcionamento acústico, adequado ao seu volume e às suas funções;
- Isolamento sonoro – é o tratamento dado a um compartimento para isolar ruídos provenientes do exterior, de/para locais contíguos.

Na correção acústica, um dos aspetos mais importantes, se não o mais importante, a estudar é a absorção sonora. A absorção sonora é a propriedade que certos materiais possuem de poderem transformar parte da energia sonora que sobre eles incide em outra qualquer modalidade de energia, geralmente térmica [13].

Designa-se como coeficiente de absorção sonora (α), ao quociente entre a energia sonora absorvida pelo material em questão e a energia que é sobre ele incidida:

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorvida}}}{E_{\text{incidente}}}$$

O coeficiente de absorção sonora varia entre 0 e 1. Mesmo quando, devido ao tipo de ensaios e metodologias de determinação, se chega a um coeficiente de absorção sonoro superior à unidade, o mesmo não deverá ser aplicado em cálculos. Para um material ser considerado acusticamente absorvente, α terá, sempre, de ser superior a 0,5 enquanto que, para um material ser considerado acusticamente refletor, α ter de ser quase nulo.

2.2.2 Tempo de Reverberação

Na definição da qualidade acústica de um espaço, um dos parâmetros que é importante analisar, é o tempo de reverberação. Por definição, o tempo de reverberação (T) é o tempo, em segundos, que um som demora a perder 60 dB do seu nível de pressão sonora Fig. 1. O mesmo pode ser calculado através de várias fórmulas, no entanto, a mais corrente é equação de Sabine, do físico Wallace Clement Sabine, considerado por muitos o pai da acústica arquitetónica:

$$T = \frac{0,16 * V}{\sum_i (\alpha_i * S_i)}$$

Onde:

V- Volume [m^3];

α - Coeficiente de absorção do material;

S- Superfície real do material [m^2].

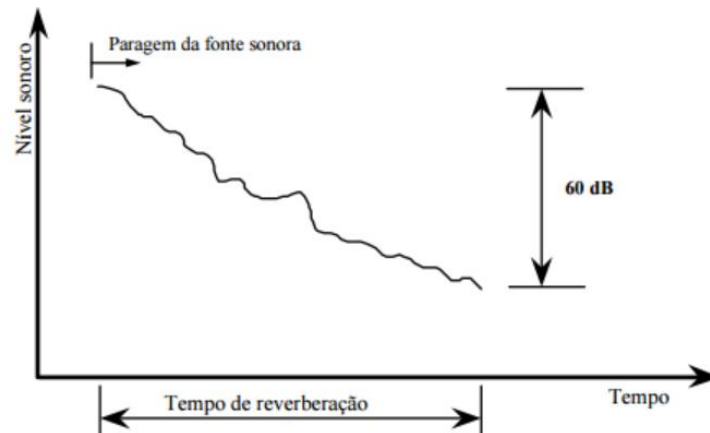


Fig. 1 – Tempo de reverberação [12]

É, também, usual medir-se o T30 e o T15, o tempo que demora um som a decair em 30 dB ou 15 dB, respetivamente, sendo a posteriori realizada a extrapolação dos valores para se obter o T. Suponha-se que se pretende medir o tempo de reverberação de um café com um ruído de fundo de 40 dB. Para medir um decaimento de 60 dB é preciso gerar um ruído superior a 100 dB algo pouco prático e inconveniente. É por conveniência que são medidos os T30 ou T15.

O tempo ótimo de reverberação deverá variar com a frequência do som. Para as frequências mais baixas, o tempo de reverberação poderá ser mais elevado ao passo que para as frequências mais altas o tempo de reverberação deverá ser inferior.

Embora o trabalho de Sabine sobre a reverberação tenha abrangido o intervalo de frequência 64 Hz a 4096 Hz, em bandas de oitava, inicialmente, o seu foco foi tal na frequência 512 Hz que, atualmente, quando se fala em tempo de reverberação (T) sem se especificar a frequência, remete-se para a frequência 512 Hz (agora mais frequentemente 500 Hz).

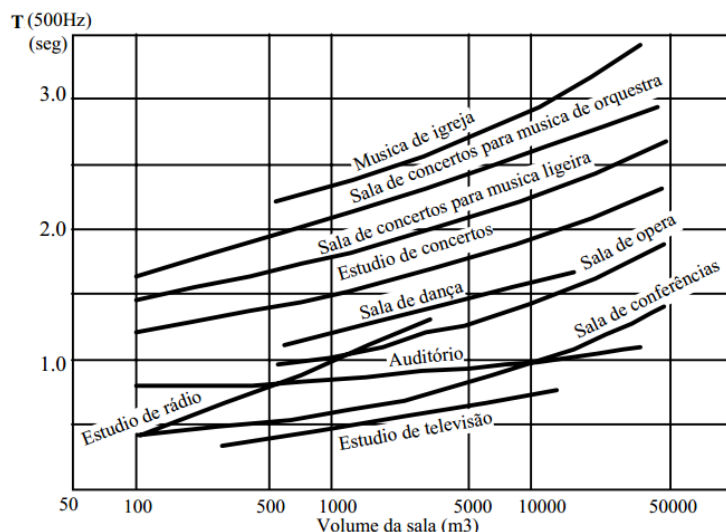


Fig. 2 – Tempo ótimo de reverberação [11]

A dependência da frequência da absorção de cada superfície é tal, que é necessário que o tempo de reverberação seja determinado para todo o intervalo de frequência para o qual a música e a fala são importantes. Essas frequências são 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz.

Tanto as características de absorção sonora de um recinto como as suas condições geométricas estão profundamente relacionadas com o tempo de reverberação. Como tal, o valor ideal do tempo de reverberação varia consoante a utilização do espaço em causa. Enquanto que um estúdio de gravação tem tempos de reverberação de 0,4 s, pavilhões gimno-desportivos e grandes igrejas terão tempos de reverberação de 4 a 6 s, Fig. 2.

2.2.3 Difusão

Quando o som incide numa superfície poderão acontecer três fenómenos: transmissão, absorção e reflexão. Focando-se o fenómeno de reflexão, a energia poderá ser refletida com o mesmo ângulo de incidência – reflexão especular – onde a energia é direcionada para um curto espaço de tempo. Quando a energia é refletida em várias direções, para um espaço de tempo mais longo, ocorre reflexão difusa.

A reflexão difusa poderá provir de três mecanismos: da rugosidade superficial, da difração nos bordos e de um tratamento dado a uma determinada superfície que permite a criação de um difusor numérico. Um difusor numérico é uma estrutura formada por reentrâncias com a mesma largura, mas com profundidades diferentes, dispersando em várias direções as ondas sonoras incidentes – difusão.

Curiosamente, nem os designers nem os fabricantes de difusores estão de acordo sobre qual é o coeficiente mais adequado para caracterizar um dispositivo de difusão: a difusão ou o espalhamento. Portanto, e também na tentativa de anular os defeitos de cada um, é importante conciliar estes dois coeficientes. Segundo Peter d'António e Trevor J. Cox, o coeficiente de difusão mede a uniformidade com que o som é refletido relacionando a resposta polar da energia espalhada a uma distribuição uniforme. Um bom coeficiente de difusão é o que:

- Apresenta uma base física sólida e é claro na sua definição e conceito, encontrando-se relacionado com o papel da difusão na acústica de espaços;
- É consistente na avaliação e classificação do comportamento dos difusores;
- É aplicável a uma grande variedade de superfícies e geometrias;
- É previsível e mensurável através de um processo normalizado; [20]

Ou seja, para que um painel tenha um coeficiente de difusão adequado, o coeficiente de difusão terá de estar de acordo com a hierarquia de qualidade anteriormente enunciada.

Quanto ao coeficiente de espalhamento, é a relação da energia refletida em ângulos diferentes do ângulo de energia incidente - energia difundida de forma não direta - com a energia total refletida. Visto que este coeficiente mede a dispersão da energia sonora nas direções não diretas, ele torna-se bastante útil na modulação acústica de espaços. É através deste coeficiente que se caracteriza com maior precisão e exatidão os fenómenos de difusão. De salientar que, se estes fenómenos não forem tidos em conta, poderão levar a sobre considerações do tempo de reverberação, adulterando, assim, a realidade.

Enquanto uns preferem um estúdio de gravação de música morto, ou seja, muito absorvente, a maioria prefere que tenha alguma vivacidade, ou seja, uma combinação de absorventes com difusores. Portanto, o ideal é, em função do espaço e do ambiente pretendido, encontrar o equilíbrio entre materiais absorventes e difusores [21].

2.2.4 RASTI

Devido à complexidade do método STI (*Speech Transmission Index*), que o torna pouco aplicável e implica muito tempo despendido, surge, como uma simplificação do cálculo do STI, o RASTI

(*Rapid Speech Transmission Index*). Enquanto o cálculo do STI é feito para cada uma das sete bandas de oitava, desde os 125 aos 8000 Hz, o RASTI apenas trabalha em duas bandas de frequência, a 500 e 2000 Hz.

É recorrendo à medição do índice RASTI que se consegue obter, de forma experimental, uma quantificação rigorosa do parâmetro de quantificação subjetivo, inteligibilidade dos sons ou de palavras. Este parâmetro avalia numa escala de 0 a 100% (ou de 0 a 1), a quantidade de sons (ou palavras) inteligíveis relativamente à totalidade de sons (ou palavras) emitidos onde “0” corresponde a uma inteligibilidade nula enquanto que o valor “100” corresponde a uma inteligibilidade perfeita. Na prática, estes limites nunca são atingidos. Na maioria das situações, pode-se considerar uma inteligibilidade razoável entre 0,45 e 0,60, boa entre 0,60 e 0,75 e excelente acima de 0,75, Tab 1. [19].

RASTI	[0–0,30[	[0,30–0,45[	[0,45–0,60[	[0,60–0,75[	[0,75–1[
Inteligibilidade da palavra	Má	Pobre	Razoável	Boa	Excelente

Tab. 1 – Classificação da inteligibilidade da palavra/ RASTI

Dado que o tempo de reverberação está, diretamente, relacionado com o efeito causado pelos ruídos nas salas de leitura e, o RASTI encontra-se diretamente relacionado com a categoria “ruído de conversação dentro da própria sala de leitura”, através da quantificação da inteligibilidade da palavra, tanto um como outro serão preponderantes neste estudo.

2.2.5 Noise Criterion

O *Noise Criterion* (NC) pertence a um grupo de Curvas de Incomodidade (NC, *Noise Rating* (NR), *Room Criterion* (RC), *Balance Noise Criterion* (NCB), entre outros) que têm como objetivo principal avaliar a incomodidade num espaço interior face ao ruído de fundo provocado por equipamentos.

Este método de classificação do ruído foi introduzido por Leo Beranek em 1957 com o objetivo de se perceber qual a distribuição do nível de pressão sonora nas várias bandas de frequência. Cada curva NC é definida pelos seus níveis de pressão sonora para 8 bandas de oitava entre os 63 Hz e os 8000 Hz. O cálculo é feito com o método da tangente. A classificação NC para uma dada situação significa o valor da menor curva NC que não é excedida por nenhum nível de pressão sonoro por bandas de 1/1 oitava, isto é, que é tangente inferiormente ao espectro dos valores de níveis por frequência [13].

As curvas de incomodidade NC são as seguintes:

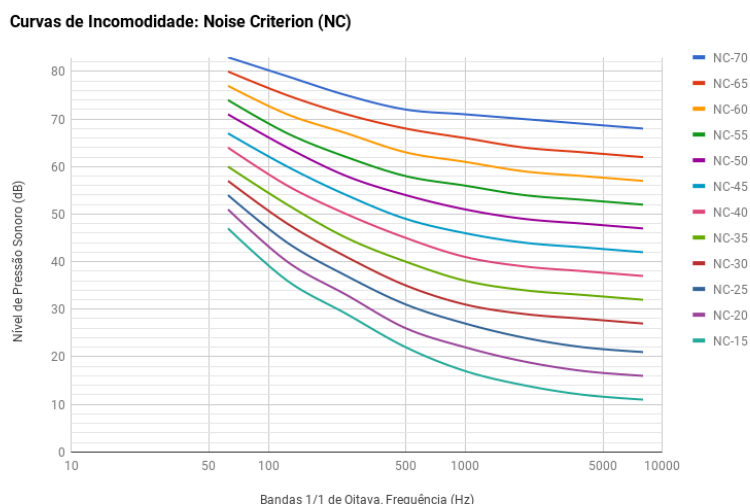


Fig. 3 – Curvas de incomodidade: NC [15]

2.2.6 Métodos de modelação

O fenómeno físico que envolve a propagação sonora em espaços interiores é tão numeroso como complexo, tornando a modelação analítica difícil de concretizar. Como é necessário envolver muitos parâmetros para corresponder à realidade, apenas recorrendo a aproximações é que se torna possível a modelação. O problema destas aproximações é que não são eficazes, tanto para as baixas como para as altas frequências. Na ótica computacional existem 3 abordagens possíveis: métodos empíricos, métodos de onda (*wave based*) e por métodos geométricos.

2.2.6.1 Métodos empíricos

Tanto o método de Sabine como o de Eyring pertencem a este a método empírico. Os seus métodos permitam calcular, de forma aproximada, parâmetros como o tempo de reverberação e o nível de pressão sonora. Partem do princípio de que existe um campo sonoro difuso no espaço e, como tal, só o volume do compartimento e a absorção dos materiais é que são tidos em conta, ignorando a localização de cada superfície presente nesse mesmo compartimento. A teoria do campo difuso baseia-se em suposições, limitando a sua aplicabilidade. No entanto, é frequente esquecer-se as suposições desta teoria, aplicando-a, erradamente, para prever os campos sonoros para todo o tipo de compartimento. Se um determinado compartimento não verificar as suposições teóricas, a previsão poderá não estar correta. Exemplo de um caso a não aplicar esta teoria é o de compartimentos altamente absorventes.

2.2.6.2 Métodos de onda

Estes métodos tentam aproximar-se, numericamente, a uma solução. Eles dividem o espaço em pequenos nós ou elementos e, de acordo com os princípios básicos do movimento de onda, estes elementos interagem entre si, por exemplo, como combinações lineares de parâmetros de números finitos. Para cada frequência, o tamanho de cada elemento terá de ser menor do que o comprimento de onda, tornando-se um problema para as altas frequências isto porque, o método de onda está, tipicamente, restrito às baixas frequências e a espaços pequenos. Uma das características que estes métodos têm presente é o de obter resultados bastante precisos para cada frequência. De tal forma precisos que são preteridos na acústica de edifícios por preferir os resultados em banda de oitava [22]. Alguns destes métodos são o *finite element method*, FEM e o *boundary element method*, BEM.

2.2.6.3 Métodos geométricos

Contrariamente aos métodos onda, os métodos geométricos são muito adequados para estudar o som em altas frequências e em espaços grandes e complicados. Este método considera a propagação do som no ar em linha reta, ignorando a típica oscilação da onda, e quando essa onda encontra um obstáculo, este obstáculo reflete-a. Existem diversas maneiras de conseguir modelar desta maneira. Tanto se pode fazer através do traçado de raios, partículas, cones e até pirâmides, e implementando difração e/ou difusão. Estes métodos também são conhecidos como métodos de energia (*energy-based methods*) dado que, no fim, a energia designada para cada raio ou onda é a única coisa que consideram. De notar que estes métodos não passam de aproximações estatísticas, no entanto, as suas previsões para os diversos parâmetros são aceitavelmente precisas. Um outro fator que joga a seu favor é o de conseguirem uma distribuição espaço-temporal de reflexões, permitindo, assim, a auralização [23].

Para a simulação do som em grandes espaços, os métodos mais usados são o *Ray Tracing* e o *Image Source*. No entanto, estes métodos também têm defeitos. Tanto para um como para outro, o comprimento de onda e a frequência do som não estão intrínsecos no modelo o que leva o modelo a criar demasiadas reflexões [22]. A seguir serão abordados alguns dos métodos

geométricos, mas o foco recairá no *Ray Tracing* devido a ser o método que será usado no modelo elaborado. Abordar-se-ão os seus princípios e as suas inconveniências.

2.2.6.3.1 Método *Image Source*

A maneira ideal para modelar a resposta a um impulso é descobrindo todos os caminhos que as reflexões sonoras poderão tomar. Este método torna isso possível. Permite determinar, com precisão, o nível, o tempo de chegada das ondas sonoras e a sua direção, assim como, as primeiras reflexões. São estas as características que provocam as sensações auditivas subjetivas mais importantes para um ouvinte [24].

O método *Image Source* baseia-se no princípio de que reflexões fictícias podem ser construídas geometricamente, espelhando a fonte no plano da superfície refletora, considerando assim fontes sonoras virtuais. Por cada fonte sonora virtual considerada, pode construir se uma reflexão fictícia através da interseção de um segmento de linha desde a fonte ao recetor, envolvendo o plano da superfície refletora Fig. 4.

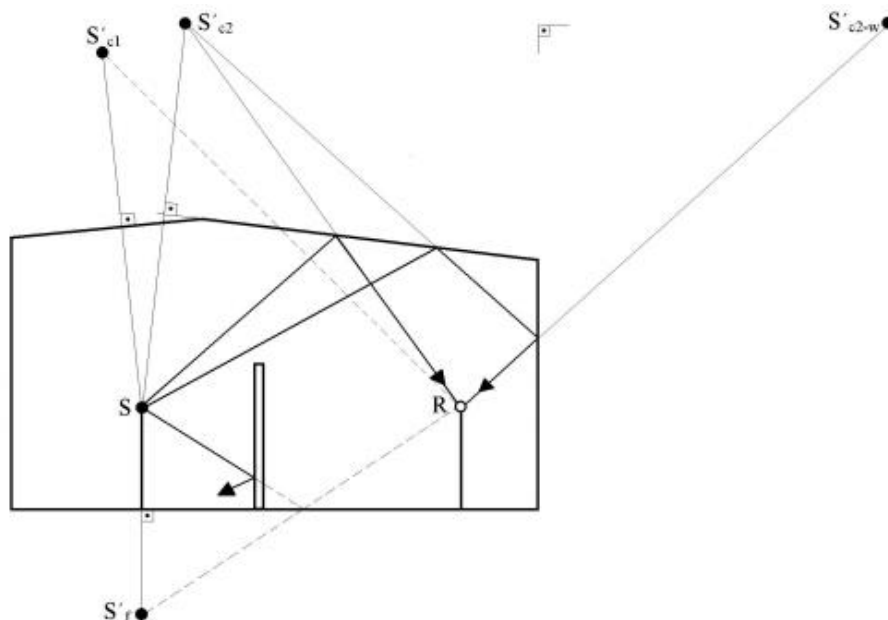


Fig. 4 – Método *Image Source* [23], S'_{c1} fonte sonora virtual espelhada através de uma superfície do teto, S'_{c2} fonte sonora virtual espelhada através de uma superfície do teto, S'_{c2-w} fonte sonora virtual espelhada através de uma superfície da parede

Este método tem a vantagem de ser robusto, garantindo que todos os caminhos fictícios, até um dado número, sejam encontrados. No entanto, o grande contratempo criado por este método é tempo que demora a calcular todas as reflexões, quando são muitas e quando a geometria do espaço é mais complexa que uma caixa retangular. Com o aumento de reflexões o tempo de cálculo aumenta exponencialmente, tornado este método ineficaz.

2.2.6.3.2 Método *Ray Tracing*

O conceito de *ray tracing* é bastante simples. A potência sonora emitida pela fonte sonora é descrita por um determinado número de raios, raios esses que viajam à velocidade do som e que são refletidos sempre que encontram uma superfície. Ao mesmo tempo, a energia vai diminuindo, consequência da absorção sonora do ar e dos materiais das superfícies que se encontram pelo caminho e, quando os raios chegam ao recetor pré-definido, é calculada a energia recebida e a

informação é armazenada. Por fim, é obtida a resposta ao impulso em cada recetor e os parâmetros acústicos que dele derivam.

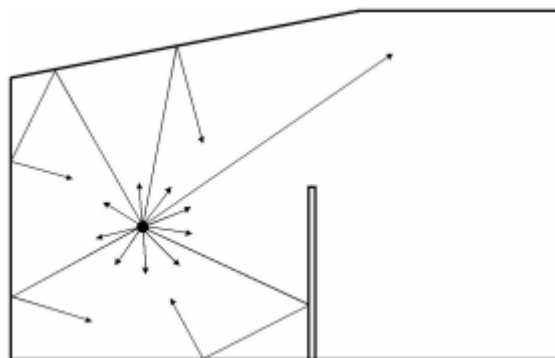


Fig. 5 – Método *Ray Tracing* [23]

O *ray tracing* tem provado que consegue prever com bastante precisão os níveis de pressão sonora embora, para as baixas frequências, essa precisão seja inferior. No entanto, esta falta de precisão não lhe retira crédito sendo considerado um dos métodos mais elegantes para representar as reflexões difusas. Mas este método tem mais limitações do que a falta de precisão na previsão do nível de pressão sonora nas baixas frequências. Tanto a frequência como o comprimento de onda não estão inerentes no modelo *ray tracing*, só existindo dependência da frequência no coeficiente de absorção sonora e na difusão. Como a natural oscilação da onda é substituída por uma onda linear, a difração é um dos efeitos importantes que é ignorado. As restrições e limitações não se ficam por aqui, sendo introduzidas outras quando se define a quantidade de raios para representar o campo sonoro e a modelação da distribuição angular do som refletido existe um grande problema sendo umas das opções disponíveis para a representar a difusão, porém não o faz corretamente quando a reflexão é proveniente de uma superfície irregular.

2.2.6.3.3 Método *Cone Tracing*

O método *cone tracing* é uma mistura do método *image source* com o método *ray tracing* num único algoritmo. É com a combinação da natureza determinística do método *image source* com as características do método *ray tracing* que se reduz, significativamente, o tempo de computação.

Neste método a fonte emite raios cónicos e a sua propagação pelo compartimento é mantida por um algoritmo de raios acústicos aplicado nos eixos dos cones. Quando um ponto de receção se encontra dentro do volume varrido pelo cone, entre duas reflexões consecutivas, uma fonte imagem visível é encontrada. A sua contribuição pode ser calculada através da divergência esférica no cone [27].

Neste método são observados dois problemas. O primeiro refere-se à não reconstrução da onda esférica pelo cruzamento das seções circulares dos cones e o segundo está relacionado ao estreitamento do feixe de raios. Este efeito ocorre devido à frente do cone em propagação crescer à medida que se distancia da fonte, aumentando a probabilidade de este atingir uma aresta. Assim, algumas das fontes imagem visíveis serão associadas a um caminho de reflexão errado, podendo não ser consideradas, tornando-se fontes imagem perdidas [26].

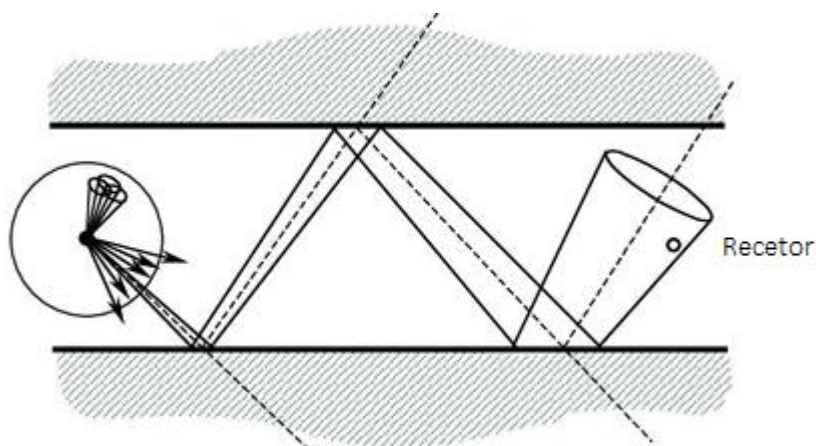


Fig. 6 – Método Cone Tracing [29]

2.3 Bibliometria

Na redação desta dissertação, para além das citações devidamente identificadas, existem artigos, outras dissertações, publicações, que foram fontes de inspiração e, que são identificados neste subcapítulo.

Data	Título	Autor	Ref.
2002	Acoustics for Libraries	Charles M. Salter, P.E	[1]
2009	Aplicação de método multi-critério para avaliação acústica de bibliotecas públicas	António P. O. Carvalho João F. O. Maganinho	[2]
2009	Aplicação da metodologia multi-critério à qualidade acústica de bibliotecas públicas	João F. O. Maganinho	[3]
Desconhecida	RASTI measurements	Thomas R. Horrall, BBN, Cambridge, M.A. Torben Jacobsen, Bruel & Kjasr, Denmark	[4]
2007	Recomendações – Condicionamento Acústico	Direção-Geral do livro, dos arquivos e das bibliotecas	[5]
Desconhecida	Designing Libraries & Learnig Centres for Good Acoustics	Ros Lambert-Porter	[6]
2010	A Biblioteca Pública como espaço de interação social e cultural	Maria da Conceição Ferreira Messias	[7]
2012	Bibliotecas públicas, resiliência organizacional e evolução concetual	Ângela Salgueiro Pereira	[8]
1994	Manifesto da IFLA e UNESCO sobre bibliotecas públicas 1994	IFLA e UNESO	[9]
1992	Noise and vibration control engeneering: principles and applications	Leo L. Beranek, István L. Vér	[10]

2008	Acústica de Edifícios e Controlo de Ruídos	Diogo Mateus	[11]
2017	Acústica de infantários – caso de estudo: Associação Infantário e Jardim de Infância Carolina Michaëlis	Pedro Filipe Jesus Moreira	[12]
2018	Acústica Ambiental e de Edifícios	António P. O. Carvalho	[13]
2008	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios		[14]
2001	AES information document for room acoustics and sound reinforcement systems - Characterization and measurement of surface scattering uniformity	Peter d'António Trevor John Cox	[20]
2003	Technical Bulletin on the Application of Diffusion in Critical Listening Rooms- Theory, Design and Application	Peter d'António Trevor John Cox	[21]
2001	The Use of Computer Modeling in Room Acoustics	Jens Holger Rindel	[22]
2005	Room acoustics modeling using the ray-tracing method: implementation and evaluation	David Elorza	[23]
2011	Análise acústica de um auditório pelo método da acústica de raios: uma comparação entre os <i>softwares</i> Raynoise e Odeon	L.C.A. Pereira N.S. Soeiro G.V. Melo	[26]
Desconhecida	RAYNOISE, revision 3.1, users manual	LMS International	[27]

Tab. 2 – Artigos fontes de inspiração: título, ano, autor, referência

Temática de cada artigo:

“Acoustics for Libraries” aborda um pouco as noções base: onda sonora, frequência, decibel. Para além disso, também aborda um pouco da acústica para diferentes espaços, da absorção sonora, do isolamento sonoro, dos equipamentos de ventilação, entre outros.

“Aplicação de método multi-critério para avaliação acústica de bibliotecas públicas” é um trabalho realizado por João Maganinho e António Carvalho. Desenvolveram um algoritmo que permite avaliar a qualidade acústica de bibliotecas.

“Aplicação da metodologia multi-critério à qualidade acústica de bibliotecas públicas” é a tese desenvolvida por João Maganinho. É um estudo da qualidade acústica de bibliotecas públicas em Portugal.

“RASTI measurments” é um texto desenvolvido por Thomas R. Horrall, M.A. Torben Jacobsen e Bruel & Kjar. Nele abordam a metodologia por detrás do speech transmission index e quais deverão ser os índices de cada espaço: para anfiteatro, para um coliseu e para um escritório open-plan.

“Recomendações – Condicionamento Acústico” é um documento elaborado pela Direção-Geral do livro, dos arquivos e das bibliotecas onde refere os valores limites que deverão de ser cumpridos.

“Designing Libraries & Learning Centres for Good Acoustics” é um guião de como se deve projetar, acusticamente, uma biblioteca e de um centro de estudo segundo as normas britânicas.

“A Biblioteca Pública como espaço de interação social e cultural” é um trabalho de conclusão de curso para o grau de Bacharel de Maria da Conceição F. Messias onde é abordada a evolução das funções de uma biblioteca, o modelo atual de uma biblioteca, projetos sociais e culturais e, reflete sobre o momento atual, na perspetiva de profissional da informação.

“Bibliotecas públicas, resiliência organizacional e evolução concetual” resulta de um projeto de investigação desenvolvido por Ângela S. Pereira no âmbito do Programa de Doutoramento. É um texto que aborda a evolução das bibliotecas em diversos países e, faceta política e económica por detrás dessa mesma evolução.

“Manifesto da IFLA e UNESCO sobre bibliotecas públicas 1994” é o resultado da parceria da IFLA com a UNESCO. No mesmo são referenciados os deveres de uma biblioteca pública no que toca ao seu funcionamento, à sua gestão, ao seu financiamento, à sua legislação e redes, como também a sua missão.

“Noise and vibration control engineering: principles and applications” é um livro da autoria de Leo L. Beranek e de István L. Vár onde também contribuíram muitos outros físicos. Abordam-se os conceitos base de acústica como também conceitos mais aprofundados sobre acústica de edifícios.

“Acústica de Edifícios e Controlo de Ruídos” é um texto de Diogo Mateus onde são abordadas noções gerais de acústica, acústica aplicada aos edifícios, aspetos legais e normativos e exemplos de materiais e de sistemas construtivos.

“Acústica de infantários – caso de estudo: Associação Infantário e Jardim de Infância Carolina Michaëlis” é a tese desenvolvida por Pedro Moreira que, tal como título indica, é estudada a acústica de infantários com base na Associação Infantário e Jardim de Infância Carolina Michaëlis.

“Acústica Ambiental e de Edifícios” são os apontamentos da cadeira de especialização Acústica Ambiental e de Edifícios, do Mestrado Integrado de Engenharia Civil da FEUP. Elaborados pelo Engenheiro António Carvalho, onde aborda conceitos teóricos básicos de acústica, o sistema auditivo, acústica de interiores, a acústica de edifícios, a acústica arquitetónica, o ruído na comunidade, a reabilitação acústica de edifícios antigos, as vibrações e a instrumentação.

“Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios” é um documento aprovado pelo Dec. Lei n.º 129/2002 de 11/05 e alterado pelo Dec. Lei n.º 96/2008 de 09/06 que visa regular a vertente do conforto acústico no regime da edificação e contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações, pela melhoria no projeto e construção de edifícios.

“The Use of Computer Modeling in Room Acoustics” é um artigo do *Journal of Vibroengineering*, redigido por Jens Rindel. Neste artigo são abordados a modelação computacional para a acústica de compartimentos. São abordados os métodos existentes, as suas vantagens e as suas desvantagens.

“Room acoustics modeling using the ray-tracing method: implementation and evaluation” é a dissertação de licenciatura de David Elorza. São apresentados vários métodos para a modelação computacional e vários conceitos de acústica.

“Análise acústica de um auditório pelo método da acústica de raios: uma comparação entre os softwares Raynoise e Odeon”, tal como o nome indica, é um documento onde são comparados os softwares Raynoise e Odeon.

“RAYNOISE, revision 3.1, users manual” é o manual de utilização do software Raynoise. Para além de instruir como é que o utilizador deve de usar o programa, aborda a teoria por detrás do software.

No histograma da Fig. é possível identificar a quantidade de referências por ano de publicação, desde 1992 a 2018. Com esta análise consegue-se interpretar de que época é que estas referências foram publicadas e a sua influência nesta tese.

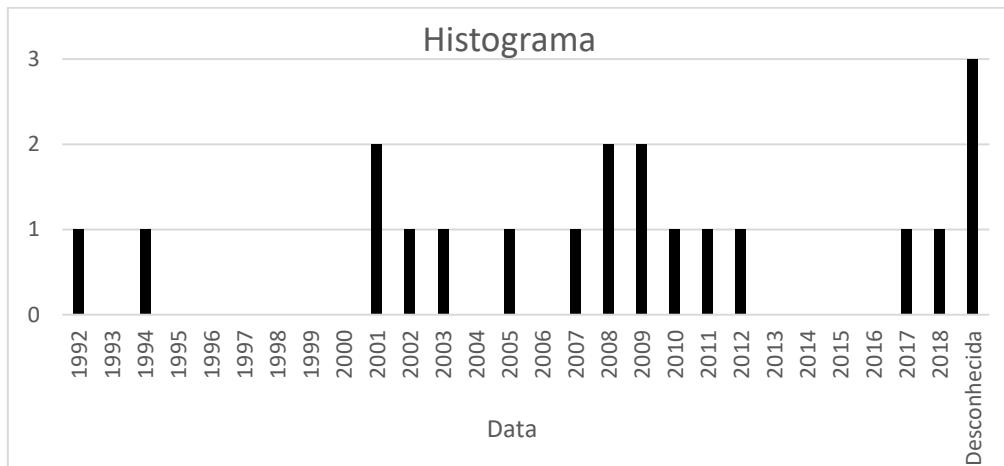
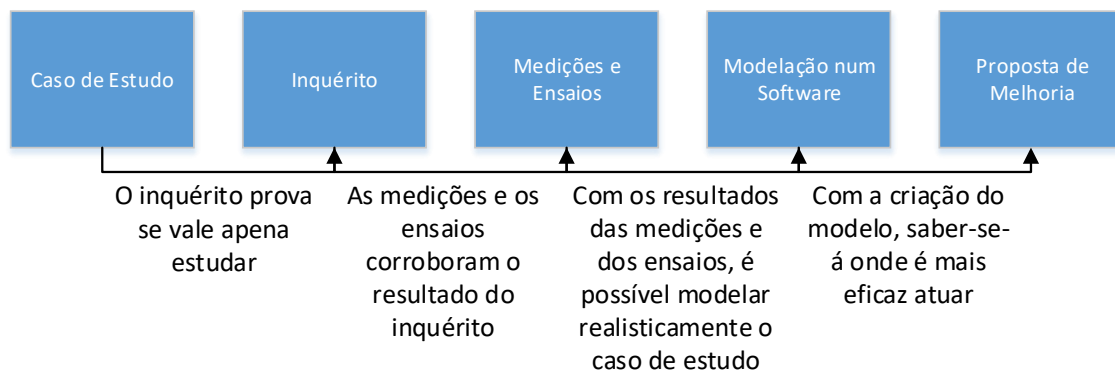


Fig. 7 – Histograma, quantidade por ano de publicação

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA PROPOSTA E CASO DE ESTUDO

3.1 Metodologia

De forma a avaliar e a caracterizar as condições acústicas do caso de estudo, desenvolveu-se uma metodologia que tornou possível a elaboração desta dissertação. Esta metodologia segue a seguinte sequência:



1º Definir caso de estudo

As opções de caso de estudo são bastantes. Só no distrito do Porto existem 16 bibliotecas municipais: Biblioteca Municipal Amarante, Biblioteca Municipal Felgueiras, Biblioteca Municipal Gondomar, Biblioteca Municipal Lousada, Biblioteca Municipal Maia, Biblioteca Municipal Marco de Canaveses, Biblioteca Municipal Matosinhos, Biblioteca Municipal Paços de Ferreira, Biblioteca Municipal Paredes, Biblioteca Municipal Penafiel, Biblioteca Municipal Póvoa de Varzim, Biblioteca Municipal Santo Tirso, Biblioteca Municipal Trofa, Biblioteca Municipal Valongo, Biblioteca Municipal Vila do Conde, Biblioteca Pública Municipal Vila Nova de Gaia [25]. Se se contabilizar todas as outras bibliotecas, quer de instituições de ensino público como de privado, entre outras, existem dezenas de bibliotecas, só no distrito do Porto, candidatas a caso de estudo. No entanto, tal como já foi referido no capítulo 1, optou-se por estudar a Biblioteca da FEUP, uma vez que as condições acústicas, daquele que viria a ser o caso de estudo, poderiam ser melhoradas por, atualmente, se verificarem algumas patologias acústicas.

2º Decidir se o caso de estudo definido é uma boa opção de estudo

O passo seguinte passa por recolher a opinião dos utilizadores. O sistema adotado para a execução dessa tarefa passa pela elaboração de um inquérito. Neste inquérito pretende-se identificar os

ruídos que ocorrem com mais frequência, identificar o tipo de utilizador, e muito mais. Mediante o resultado do inquérito decidir-se-á se o caso de estudo definido é uma boa opção. De salientar que nem todos os inquiridos são bons candidatos para responderem ao inquérito e, o inquérito deverá ser claro para todos que o preencham, de modo a não surgirem respostas dúbias.

3º Se o resultado do inquérito provar que é realmente necessário intervir no caso de estudo, através de medições e de ensaios acústicos no caso de estudo, corroborar-se-á a veracidade do resultado do inquérito.

Retiradas conclusões sobre o inquérito, serão executadas medições e ensaios acústicos. O objetivo para a realização destas medições e ensaios é a de corroborar a veracidade das conclusões obtidas no inquérito, comparando os valores obtidos nas medições e ensaios, com os valores estipulados na Lei, caso existam, ou em documentos de referência. Mas não só, através das medições e dos ensaios, também se pretende ficar com a noção da realidade do caso de estudo, que será fundamental para a realização do passo seguinte.

4º Modelação computacional do caso de estudo

Como o verdadeiro objetivo é chegar a uma proposta de melhoria (caso se verifique necessária), este passo considera-se crucial para a obtenção de uma proposta de melhoria eficaz. É com a modelação do caso de estudo num software de acústica, que se introduzirão parâmetros geométricos e parâmetros acústicos, como o coeficiente de absorção sonoro e a difusão, para cada superfície e material, de modo a replicar, de forma aproximada, a realidade do caso de estudo. Feita a modelação computacional do caso de estudo, valida-se por comparação dos resultados com as medições “*in situ*” e, identificam-se as zonas que com a menor intervenção apresentarão maiores benefícios acústicos.

5ª Proposta de melhoria

O passo que se segue pretende enunciar um conjunto de medidas a adotar no caso de estudo para que os utentes do caso de estudo possam ter uma melhor experiência, caso seja necessário. Será sugerido como e onde atuar, assim como o custo de cada medida a implementar.

3.2 Introdução do caso de estudo

3.2.1 História

Tal com já foi dito anteriormente, o caso de estudo é a Biblioteca da FEUP. A data da sua conclusão de construção remonta a 2001, na mesma altura em que a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto concluiu a construção das suas instalações. Inicialmente, na fase de projeto, o motivo que estava por detrás da construção da Biblioteca da FEUP era o de disponibilizar, a toda a comunidade da FEUP, um espaço que permitisse aceder e consultar conteúdo científico, no formato de livros, jornais, revistas, etc., armazenado nesse mesmo local. Nas instalações anteriores, devido à falta de espaço, as condições não eram apropriadas. Daí a necessidade de construir a nova Biblioteca da FEUP. No entanto, com a informatização da informação, existe uma mudança de paradigma. As bibliotecas deixam de ter como objetivo principal o objetivo enunciado anteriormente e, passam a ser museus de livros, jornais, revistas, etc. e, principalmente, espaços de estudo. Com esta mudança de paradigma, as condições necessárias passam a ser outras. Dado que a biblioteca não ter sido projetada para ser um espaço de estudo, o seu desempenho para tal uso não é o indicado.

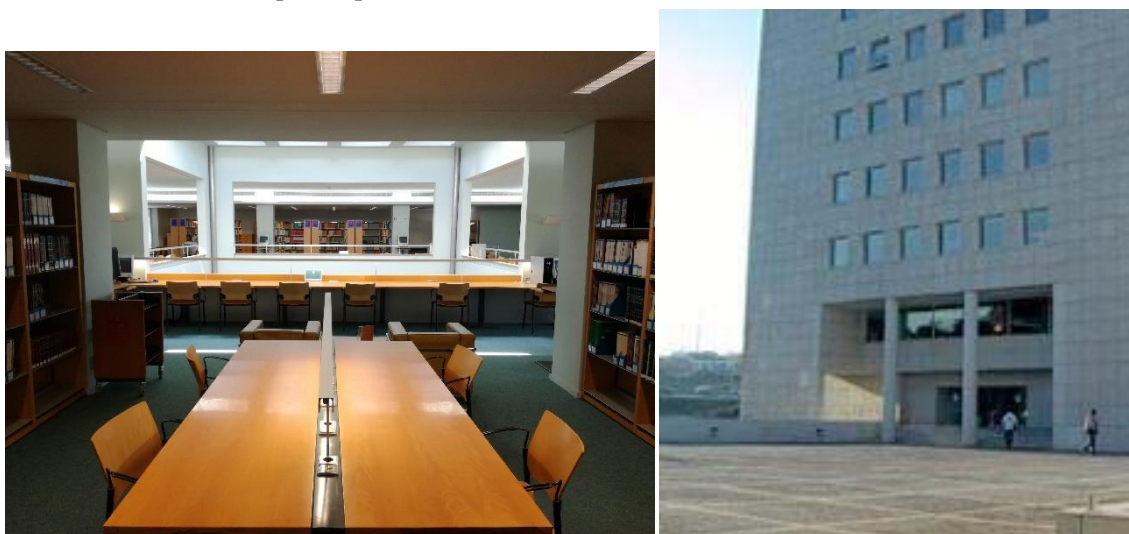


Fig. 8 – Biblioteca da FEUP: esquerda, interior, direita, exterior

As plantas e os cortes da Biblioteca da FEUP encontram-se nos Anexos.

3.2.2 Missão

A Biblioteca da FEUP tem como missão fornecer aos alunos, docentes, investigadores e técnicos informação de cariz científico, pedagógico, técnico e cultural de suporte às suas atividades académicas e funcionais, ao seu desenvolvimento cultural e à sua integração social [28].

3.3 Fundamentação da problemática - Inquérito

3.3.1 Objetivo

Primeiramente, o objetivo deste inquérito era descobrir se a Biblioteca da FEUP seria uma opção viável para caso de estudo. Tal como o resultado do inquérito veio a confirmar, os utilizadores da Biblioteca da FEUP afirmaram que o caso de estudo continha várias patologias acústicas que necessitavam ser investigadas. O segundo motivo por detrás deste inquérito é saber quais as patologias acústicas presentes no caso de estudo. Como tal, o inquérito foi enviado, por correio eletrónico, a membros específicos da comunidade da FEUP, aos 8590 estudantes inscritos em 2018.

O inquérito foi desenvolvido na plataforma Formulários Google seguindo alguns aspetos estipulados pela Norma Portuguesa 4476 de 2008. Esta Norma recomenda um procedimento de avaliação à prevalência da incomodidade induzida pelo ruído. Este inquérito foi aprovado pela Unidade de Proteção de Dados da Universidade do Porto e pela Direção da Biblioteca da FEUP.

3.3.2 Apresentação do inquérito

3.3.2.1 Aspetos globais

- Data do inquérito: realizado entre fevereiro e março de 2019;
- Objetivo de estudo: ruído na Biblioteca da FEUP e a sua incomodidade;

3.3.2.2 Amostra do inquérito social

- Seleção da amostra: alunos inscritos em 2018 na FEUP;
- Tamanho e qualidade da amostra: dum total de 8590 estudantes contactados, apenas responderam 389 (4,5%). Dos 389 apenas 374 (96,1%) foram considerados válidos: a afirmação “*Não*” à 1ª pergunta do inquérito era critério obrigatória para a validação da resposta ao inquérito;

3.3.2.3 Levantamento de dados do inquérito social

- Métodos do inquérito: preenchimento autónomo por parte do inquirido;
- Exatidão da estimativa da amostra: 374 respostas para análise;

3.3.2.4 Condições acústicas

- Fonte de ruído: acústica de edifícios – ruídos de condução aérea, ruídos de percussão e ruídos de equipamentos e instalações;
- Exatidão da estimativa do ruído: estimativa exata, de acordo com os dados obtidos;

3.3.2.5 Perguntas e respetivas opções de resposta

- 1) Tens algum trauma auditivo?
(*Selecione apenas uma opção*)
 - Não
 - Sim *Pare de preencher este formulário*
- 2) Género
(*Selecione apenas uma opção*)
 - Masculino
 - Feminino
- 3) Em que ano estás?
(*Selecione apenas uma opção*)
 - 1º
 - 2º
 - 3º
 - 4º
 - 5º
 - 6º ou mais

- 4) Costumas frequentar a Biblioteca da FEUP?
(*Selecione apenas uma opção*)
- Não
 - Sim
- 5) (*Se “Sim” à pergunta 4)*) Porquê? (Qual é o maior motivo?)
(*Selecione apenas uma opção*)
- Fica longe de casa
 - Há muito ruído
 - Está sempre cheia
 - Outra: ...
- 6) (*Se “Sim” à pergunta 4)*) Quais são as melhorias que teriam de ser efetuadas para frequentares a Biblioteca da FEUP?
- ... *Pare de preencher este formulário*
- 7) Qual é o piso que costumás frequentar?
(*Selecione apenas uma opção*)
- 1º
 - 2º
 - 3º
 - 4º
 - 5º
 - 6º
 - Indiferente/ Onde houver lugar
- 8) Qual é o piso que preferes frequentar?
(*Selecione as opções que forem aplicáveis*)
- 1º
 - 2º
 - 3º
 - 4º
 - 5º
 - 6º
- 9) Qual é a explicação para a tua preferência?
(*Selecione apenas uma opção*)
- É sossegado
 - É o piso destinado ao meu curso
 - Outra: ...

10) Identificas algum destes ruídos quando estás na Biblioteca da FEUP?
(Selecione apenas uma opção por linha)

	Não	Raramente	Às vezes	Frequentemente
▪ Carros				
▪ Música vinda do exterior				
▪ Música vinda do interior				
▪ Elevador a subir/descer				
▪ Ventilação/ ar condicionado				
▪ Pessoas a conversar				
▪ Canalização				
▪ Arrastar de mobília				
▪ Passos (pessoas a andar)				
▪ Outro tipo de ruído exterior				
▪ Outro tipo de ruído interior				

11) Quais são os 3 ruídos que queres ver eliminados?
(Selecione apenas três opções)

- Carros
- Música vinda do exterior
- Música vinda do interior
- Elevador a subir/descer
- Ventilação/ ar condicionado
- Pessoas a conversar
- Canalização
- Arrastar de mobília
- Passos (pessoas a andar)
- Outro tipo de ruído exterior
- Outro tipo de ruído interior

12) Qual é a melhoria que gostavas que fosse realizada de forma a diminuir o ruído na Biblioteca da FEUP?

- ... Pare de preencher este formulário

3.3.3 Análise das respostas ao inquérito

3.3.3.1 Análise Descritiva

À pergunta 1, 374 alunos responderam “*Não*” e 15 alunos responderam “*Sim*”. Os 15 alunos que afirmaram “*Sim*” foram considerados inválidos para continuar a responder ao inquérito porque pessoas com possíveis debilidades auditivas poderiam adulterar a realidade do caso de estudo.

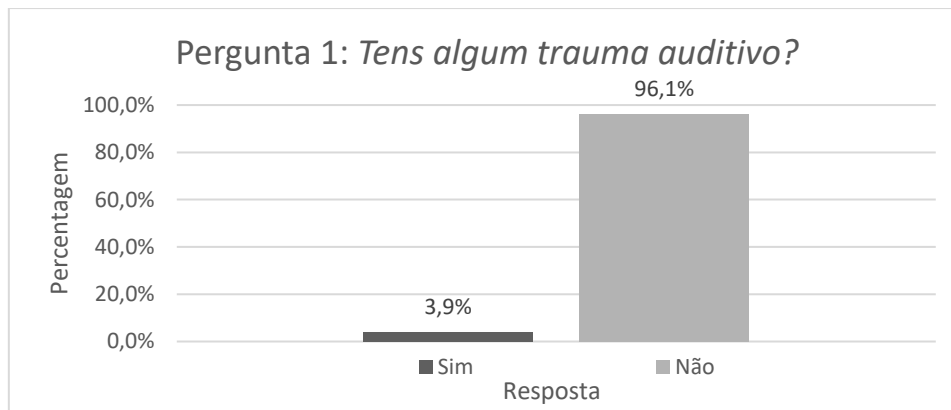


Fig. 9 – Pergunta 1

Quanto à pergunta 2 como à pergunta 3, ambas são de identificação pessoal. À pergunta 2, 218 alunos identificaram-se como sendo do género masculino, 154 alunos sendo do género feminino e 2 alunos preferiram não identificar o seu género. Já à pergunta 3, apenas 1 aluno preferiu não identificar o ano em que estava, sendo que o ano que mais respondeu ao inquérito foi 1º ano com 89 alunos a responder contrastando com os apenas 23 alunos do 6º ano ou superior que responderam ao inquérito.

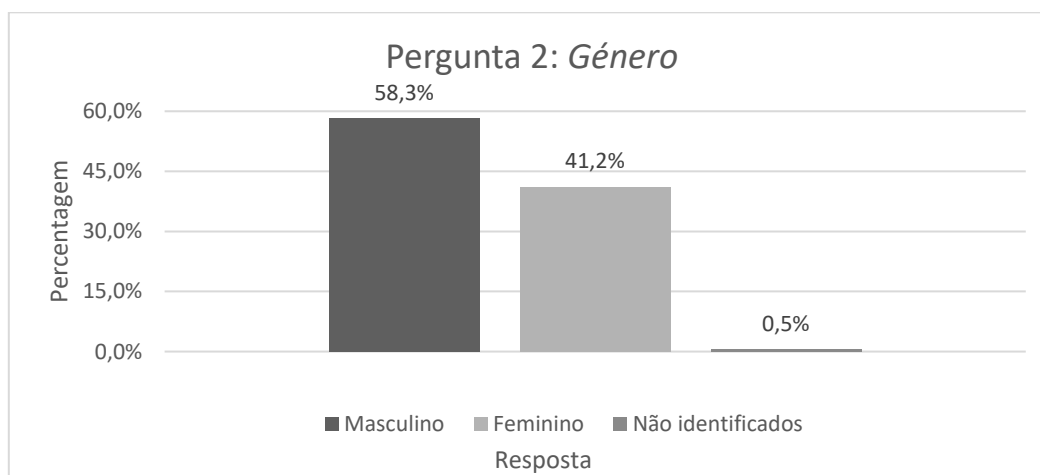


Fig. 10 – Pergunta 2

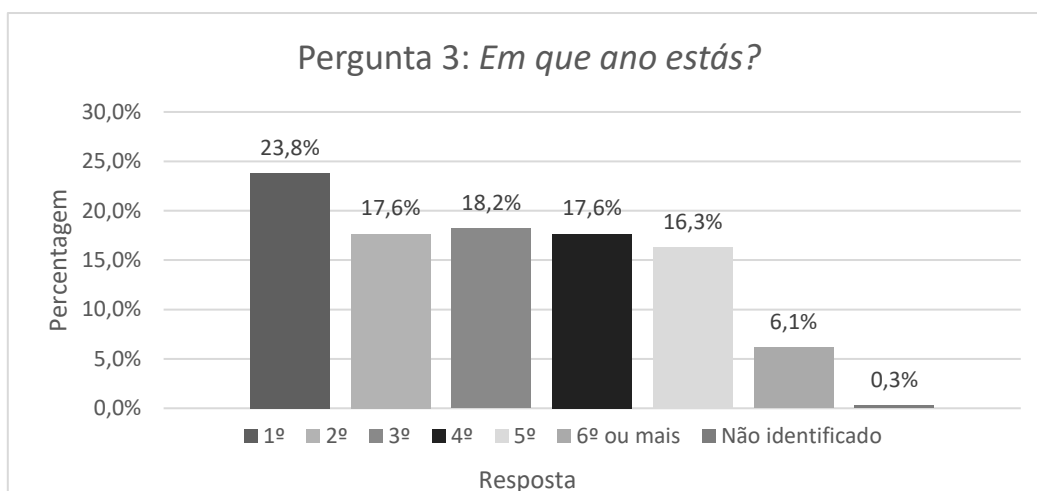


Fig. 11 – Pergunta 3

Quanto à pergunta 4, 59 alunos afirmaram não frequentar a Biblioteca da FEUP contrariamente aos 315 alunos que afirmaram frequentar.

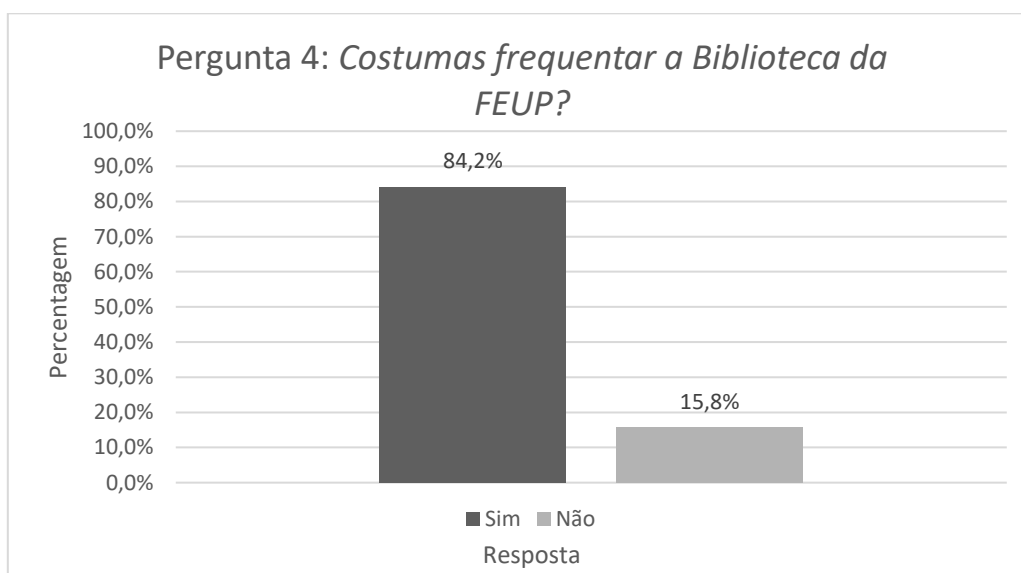


Fig. 12 – Pergunta 4

Para quem respondeu “*Não*” na pergunta 4, segue-se a pergunta 5 onde se questiona qual o maior motivo para não frequentar a Biblioteca da FEUP. Dos 59 que responderam “*Não*”, apenas 1 aluno não respondeu, 3 alunos afirmaram não frequentar por “*haver muito ruído*”, 5 alunos por “*ficar longe de casa*”, 38 alunos por “*estar sempre cheia*” e, 12 alunos afirmaram que era devido a “*outro motivo*”.

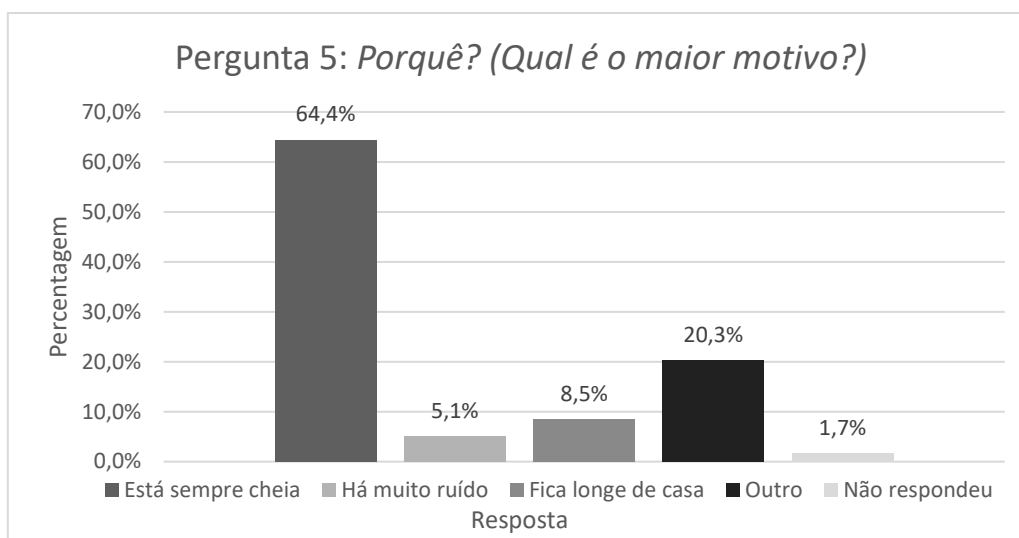


Fig. 13 – Pergunta 5

Na sequência de quem respondeu “Não” na pergunta 4, segue-se a última questão, a pergunta 6. Nesta pergunta questiona-se quais seriam as melhorias que teriam de ser efetuadas de para que o aluno em questão passasse a frequentar a Biblioteca da FEUP. Dos 59 alunos, apenas 38 optaram por dar a sua opinião sendo que as respostas mais frequentes foram “*mais lugares*”, “*mais espaço*”. Mais uma vez, o ruído não foi considerado o fator mais decisivo na opinião dos inquiridos que na pergunta 4 afirmaram não frequentar a Biblioteca da FEUP.

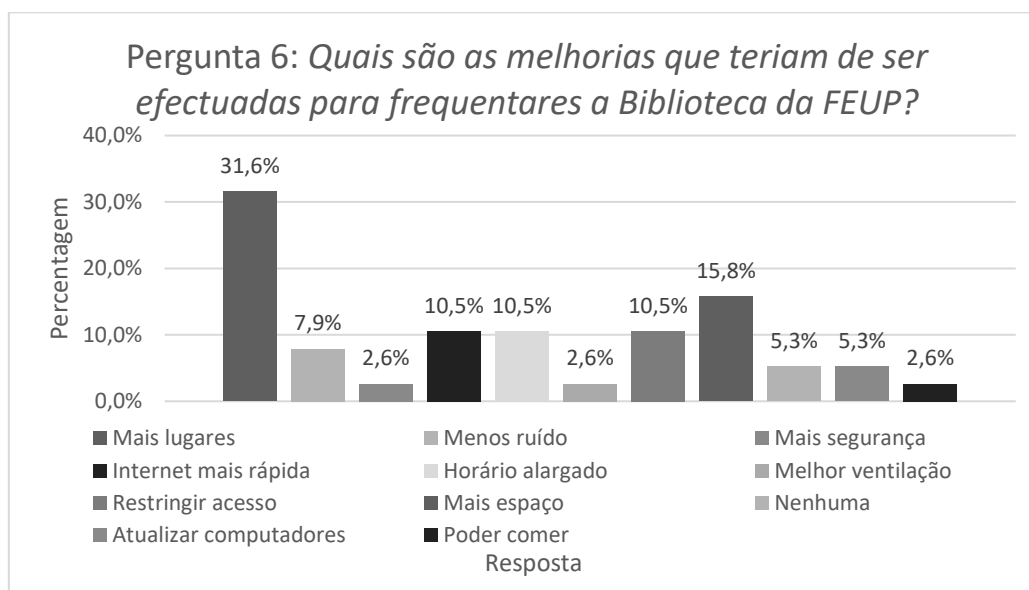


Fig. 14 – Pergunta 6

Para quem respondeu “Sim” na pergunta 4, segue-se a pergunta 7. Nesta pergunta, questiona-se qual o piso que costuma frequentar. À pergunta 7 seguem-se as perguntas 8 e 9: “qual é o piso que preferes frequentar?” e, “qual é a explicação para a tua preferência?”, respetivamente. Tanto as perguntas 7, 8 e 9, são feitas para se tentar descobrir se existe alguma relação entre o piso que costumam frequentar, o piso que preferem frequentar e o motivo da sua preferência. Dos 315 alunos que responderam “Sim” na pergunta 4, não responderam à pergunta 7 14 alunos, à pergunta 8 3 alunos e, à pergunta 9 5 alunos.

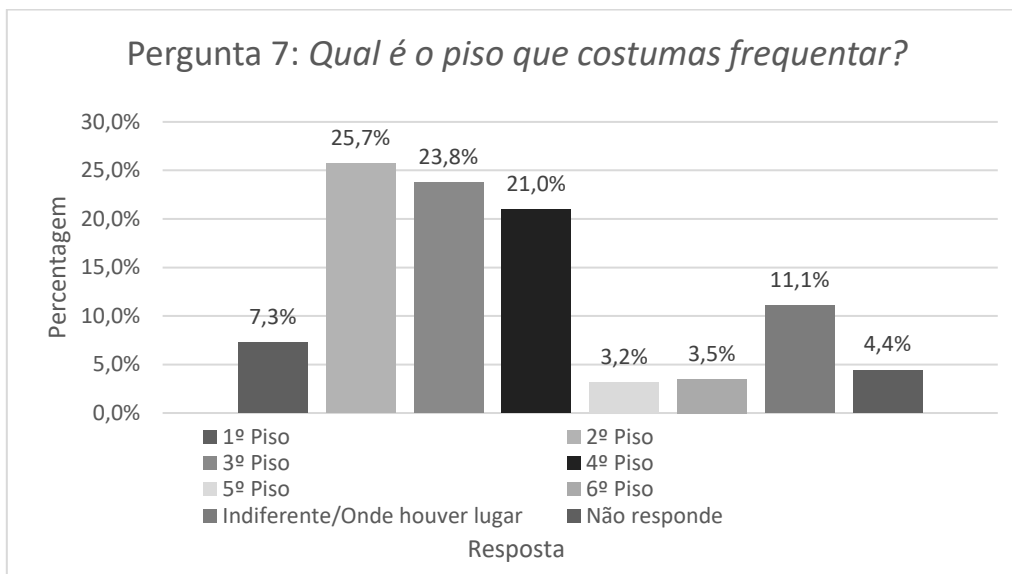


Fig. 15 – Pergunta 7

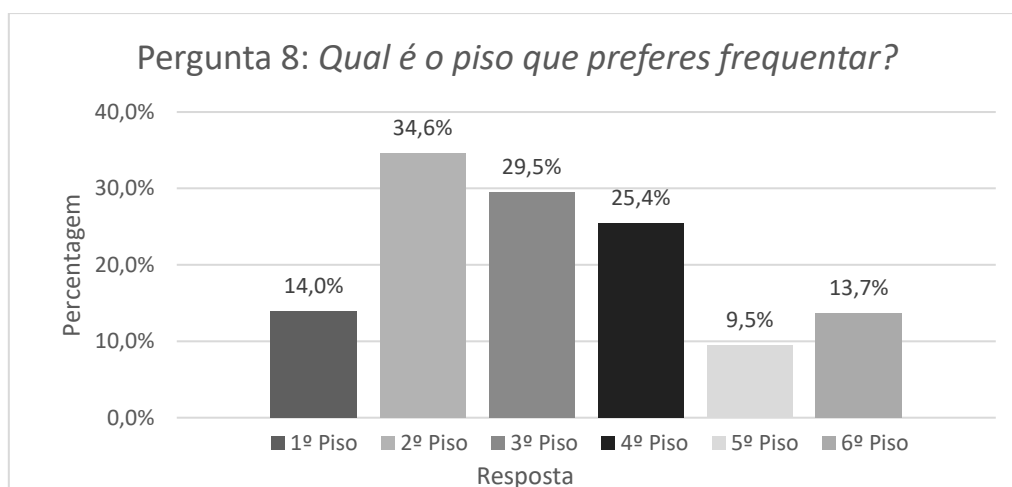


Fig. 16 – Pergunta 8

De notar que, para esta pergunta 8, podiam se referir mais do que um piso como piso preferido.

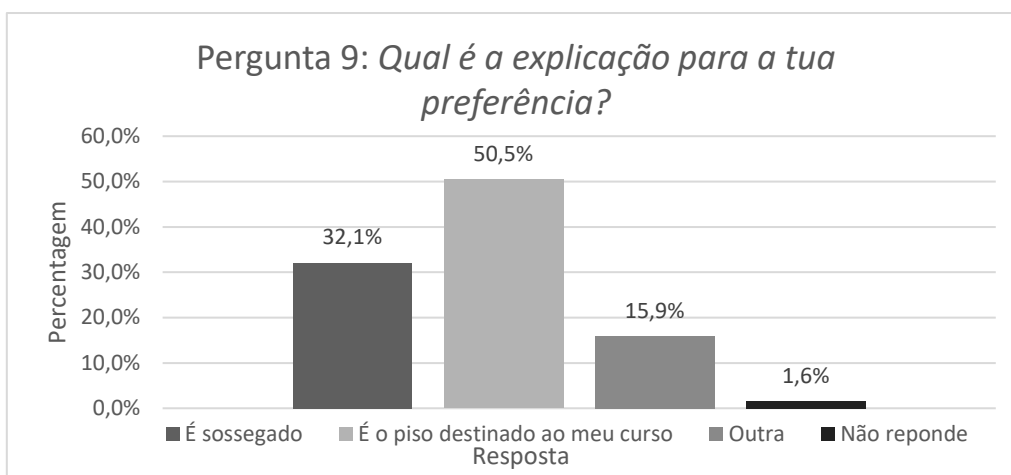


Fig. 17 – Pergunta 9

A opção de resposta “Outra” acolhe uma grande variedade de respostas, no entanto, verifica-se pouca repetição na explicação, daí não se salientar nenhuma.

Quanto à pergunta 10, questionou-se se os alunos identificavam determinados ruídos e a frequência com que os detetavam. A deteção do ruído foi avaliada da seguinte maneira: “Não”, “Raramente”, “Às vezes”, “Frequentemente”. Os 11 ruídos avaliados são “carros a passar”, “música vinda do exterior”, “música vinda do interior”, “elevador a subir/ descer”, “ventilação/ ar condicionado”, “pessoas a conversar”, “canalização”, “arrastar de mobília”, “passos (pessoas a andar)”, “outro tipo de ruído exterior”, “outro tipo de ruído interior”. Destes ruídos determinados, os que são mais detetados “frequentemente” são “pessoas a conversar”, “ventilação/ ar condicionado” e, “passos (pessoas a andar)”.

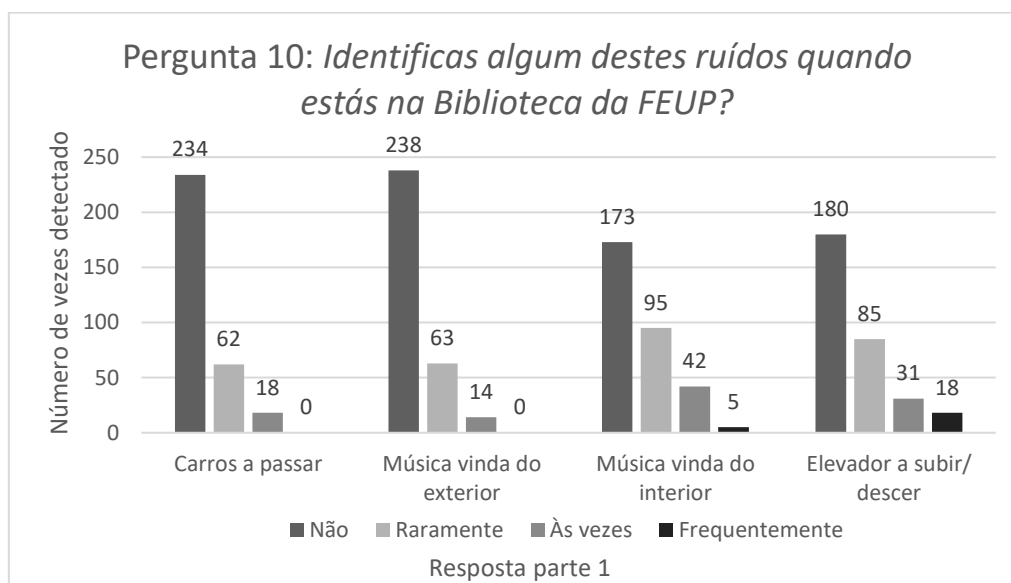


Fig. 18 – Pergunta 10, parte 1

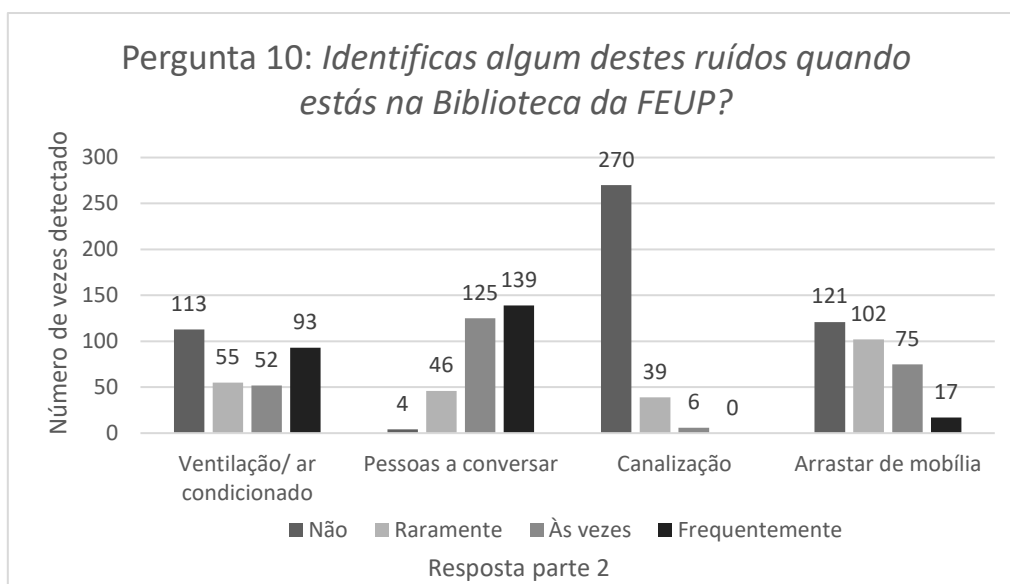


Fig. 19 – Pergunta 10, parte 2

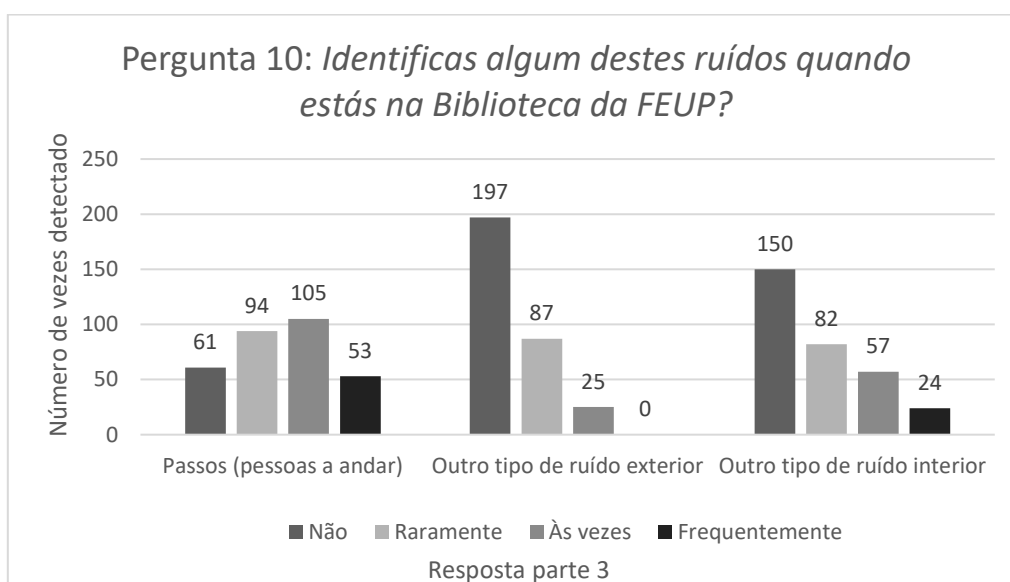


Fig. 20 – Pergunta 10, parte 3

Quanto à pergunta 11, foi questionado dos 11 ruídos anteriormente avaliados, quais seriam os 3 ruídos que mais queriam ver eliminados. Devido a nem todos os inquiridos terem respondido quais seriam os 3 ruídos que queriam ver eliminados, para o tratamento estatístico serão atribuídos pesos onde o primeiro ruído selecionado terá um peso de 3, o segundo ruído selecionado terá um peso de 2 e o terceiro ruído selecionado terá um peso de 1. Nesta pergunta, selecionaram os 3 ruídos 246 inquiridos, 2 ruídos 23 inquiridos e, apenas 1 ruído 46 inquiridos. Os 3 ruídos que mais se querem ver eliminados são o de “pessoas a conversar”, “ventilação/ ar condicionado” e “arrastar de mobília”.

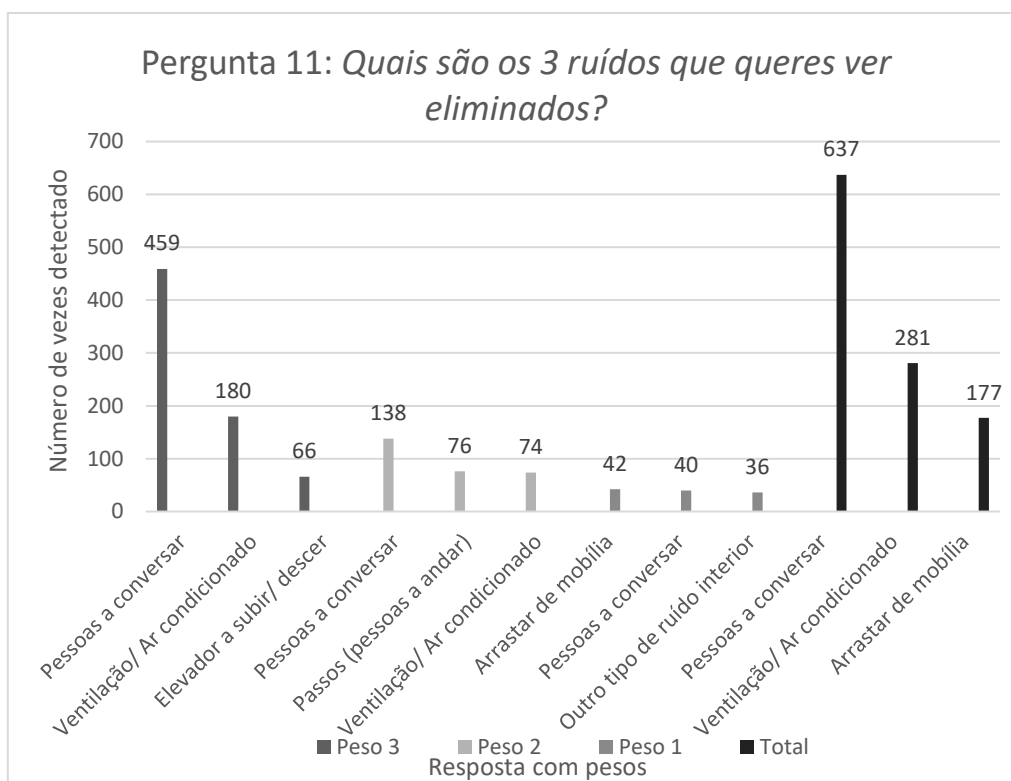


Fig. 21 – Pergunta 11, pesos

Quanto à pergunta 12 e última, foi questionado qual seria a melhoria que o inquirido gostava que fosse realizada de forma a diminuir o ruído na Biblioteca da FEUP. As respostas variaram bastante, no entanto existem 3 tipos de resposta que foram recorrentes. De notar que embora a esta pergunta tenham respondido 107 pessoas, os inquiridos, por vezes, sugeriram mais do que uma melhoria que gostavam de ver implementada. Como tal, o somatório de melhorias a concretizar supera as 107 e, portanto a Fig. 22 não poderá ser representada percentualmente. A Fig. 22, representa as melhorias mais requisitadas. Apesar da melhoria mais requisitada ser sobre a diminuição do ruído proveniente de conversa, é a única melhoria sobre ruído que consta do top 5 de melhorias a implementar. A segunda melhoria a concretizar relacionada com o ruído tem a ver com ruído proveniente do ar condicionado/ventilação, contudo, apenas foram feitas 9 referências a este ruído.

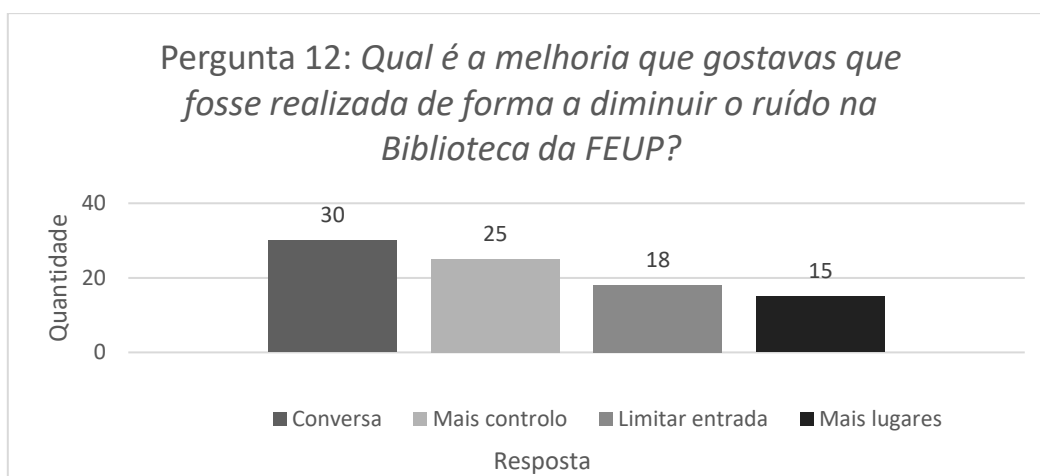


Fig. 22 – Pergunta 12

3.3.3.2 Análise Estatística

As perguntas de identificação pessoal 2) e 3) e as perguntas de frequência e preferência do piso a frequentar 7), 8) e 9), foram feitas para se relacionar com a pergunta de identificação de ruído 10). O objetivo passa por perceber se há alguma relação entre o ruído identificado com o género, o ano de estudo e, a preferência pelo piso a frequentar. Tal como foi referido anteriormente, apenas serão tratadas, no máximo, 315 respostas isto porque, dependendo da pergunta, alguns inquiridos optaram por não responder. Através das respostas dadas pelos inquiridos, cruzaram-se diferentes dados para se perceber se existia alguma relação entre os mesmos.

Inicialmente é analisada a associação entre o nível de ruído sentido e o género dos utentes da biblioteca e, posteriormente, é analisada a diferenciação do nível de ruído por ano e por piso.

Para isso foi preciso atribuir pesos à frequência com que se identificava cada ruído, Tab. 3, para depois se somar os pesos dos diversos ruídos e saber qual a intensidade total que cada inquirido identifica os ruídos.

Frequência	Peso
Não	0
Raramente	1
Às vezes	2
Frequentemente	3

Tab. 3 – Inquérito, peso de cada frequência

Com base nesta classificação, foram realizados testes estatísticos para comparação do nível total de ruído sentido por diferentes géneros, anos e pisos. Foram usados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney. O primeiro foi usado quando se comparou dois ou mais grupos independentes, caso do ano e piso, e o segundo foi usado para comparar apenas dois grupos independentes. Em qualquer um dos testes será usado o nível de significância de 5%.

No teste de Kruskal-Wallis tem-se,

$$H_0: \mu_1 = \dots = \mu_k,$$

No teste de Mann-Whitney, tem-se.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2,$$

Na primeira comparação, entre o género e a identificação do nível de ruído, obtém-se um valor de p igual a 0,04 para a hipótese $H_0: \mu_1 = \mu_2$, onde n=1 e n=2 são os géneros feminino e masculino, respetivamente. Quem não identificou o seu género, mesmo tendo respondido à identificação de cada ruído, não fez parte desta análise estatística. Quer isto dizer que estes dois géneros identificam a frequência com que os vários ruídos ocorrem de forma distinta. Analisando a Fig. 23 e a Tab. 4, constata-se que o género feminino identifica com mais frequência a ocorrência do ruído comparativamente ao género masculino.

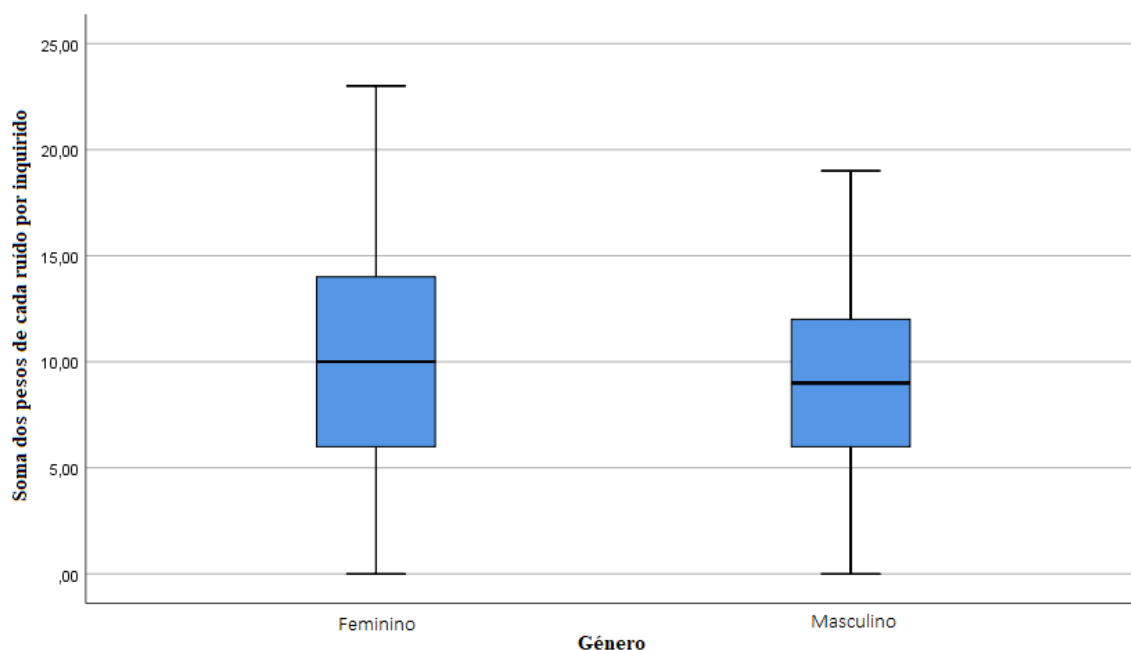


Fig. 23 - Inquérito, cruzamento de dados gênero-ruído, gráfico

	Feminino	Masculino
Média	10,2	8,9
Mediana	10	9
Desvio-padrão	5,02	3,94
Mínimo	0	0
Máximo	23	19
Contagem	135	178

Tab. 4 - Inquérito, cruzamento de dados gênero-ruído, dados estatísticos

Na segunda comparação, entre o ano em que o inquirido frequenta e a identificação do nível de ruído, também se constata que o valor de p é inferior a 5% para a hipótese $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$, onde cada valor de n corresponde ao 1º ano, 2º ano, 3º ano, 4º ano, 5º ano, 6º ano ou mais, respetivamente. Neste cruzamento de dados, entre todos os anos, o valor de p é igual a 0,003. Assim, existem diferenças estatisticamente significativas entre pelo menos dois dos grupos (anos) comparados. Quem não identificou o ano em que está mesmo tendo respondido à identificação de cada ruído, não fez parte desta análise estatística.

Comparando ano com ano, verifica-se que cinco das quinze combinações possíveis não aceitam a condição H_0 :

Ano	1º	2º	3º	4º	5º	6º ou mais
1º		38,1%	9,5%	0,7%	0,1%	1,3%
2º			44,7%	8,9%	1,6%	4,6%
3º				40,7%	11,9%	13,9%
4º					37,3%	30,8%
5º						77,4%
6º ou mais						

Tab. 5 – Inquérito, cruzamento de dados ano-ruído, comparação do valor p entre anos

Por observação da Tab. 5 deteta-se que os inquiridos mais novos identificam a ocorrência do ruído de forma diferente dos inquiridos mais velhos. Através da Fig. 24 e da Tab. 6 aferimos que, à medida que o ano que o inquirido frequenta aumenta, é identificado com maior frequência a ocorrência do ruído. Portanto, deste cruzamento de dados conclui-se que os inquiridos no 1º ano identificam com menor frequência a ocorrência de ruídos e que os inquiridos no 6º ano ou superior identificam com maior frequência a ocorrência de ruídos. Apenas se verificam diferenças estatisticamente significativas entre os estudantes do 1º e 4º, 1º e 5º, 1º e 6º, 2º e 5º e 2º e 6º.

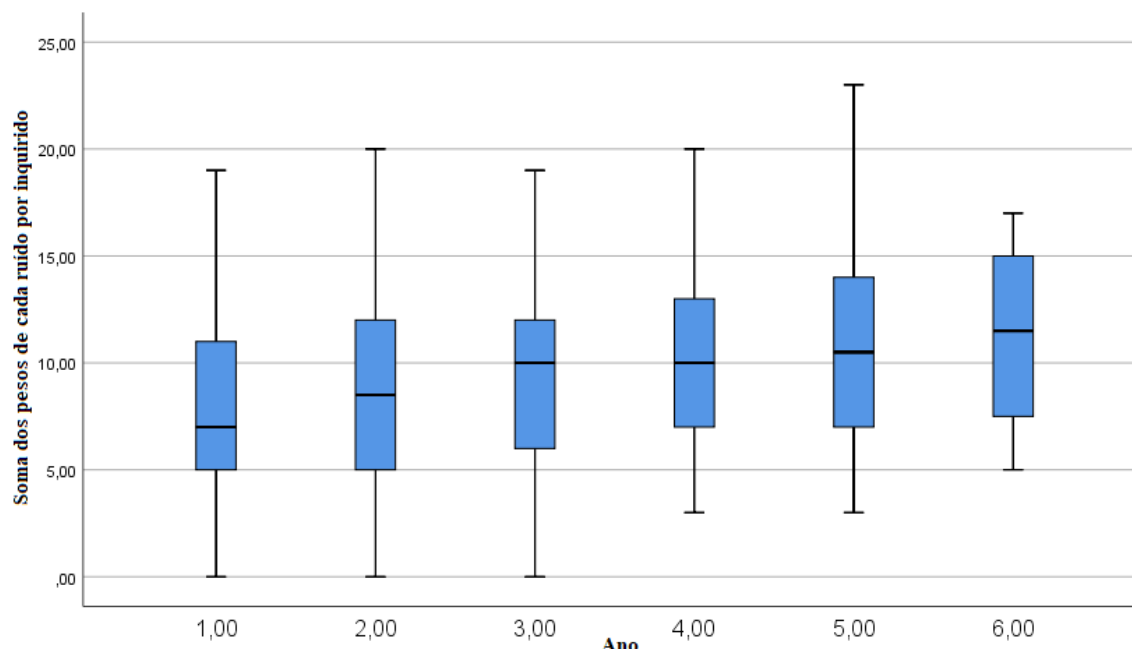


Fig. 24 - Inquérito, cruzamento de dados ano-ruído, gráfico

	1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	5º Ano	6º Ano ou mais
Média	8,1	8,7	9,3	10,1	10,9	11,1
Mediana	7	8,5	10	10	10,5	11,5
Desvio-padrão	4,55	4,52	4,54	3,84	4,44	4,01
Mínimo	0	0	0	3	3	5
Máximo	22	20	19	20	23	17
Contagem	78	58	52	56	54	16

Tab. 6 - Inquérito, cruzamento de dados ano-ruído, dados estatísticos

Da terceira e última comparação, entre o piso que o inquirido costuma frequentar e a identificação do nível de ruído, também se constata que o valor de p é inferior a 5% para a hipótese $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$, onde cada valor de n corresponde ao 1º piso, 2º piso, 3º piso, 4º piso, 5º piso, 6º piso, respetivamente. Neste cruzamento de dados, entre todos os pisos, o valor p é igual 0,028. Ou seja, existem diferenças estatisticamente significativas entre pelo menos dois dos grupos (pisos) comparados. Quem não identificou o piso que costuma frequentar, mesmo tendo respondido à identificação de cada ruído, não fez parte desta análise estatística.

Comparando piso com piso, verifica-se que apenas três combinações não aceitam a condição H_0 :

Piso	1º	2º	3º	4º	5º	6º
1º		62,0%	9,4%	1,6%	32,4%	64,4%
2º			8,2%	0,7%	45,6%	45,7%
3º				36,9%	78,4%	9,0%
4º					36,7%	2,8%
5º						15,3%
6º						

Tab. 7 – Inquérito, cruzamento de dados piso-ruído, comparação do valor p entre pisos

Observando a Tab. 7, constata-se que os inquiridos que costumam frequentar o 4º Piso identificam a frequência com que os ruídos ocorrem distintamente dos inquiridos que costumam frequentar o 1º Piso, o 2º Piso e o 6º Piso. Através da Fig. 25 e da Tab. 8 conclui-se que o piso onde é identificado com maior frequência ruído é o 4º Piso e o piso onde é identificado com menor frequência ruído é o 6º Piso.

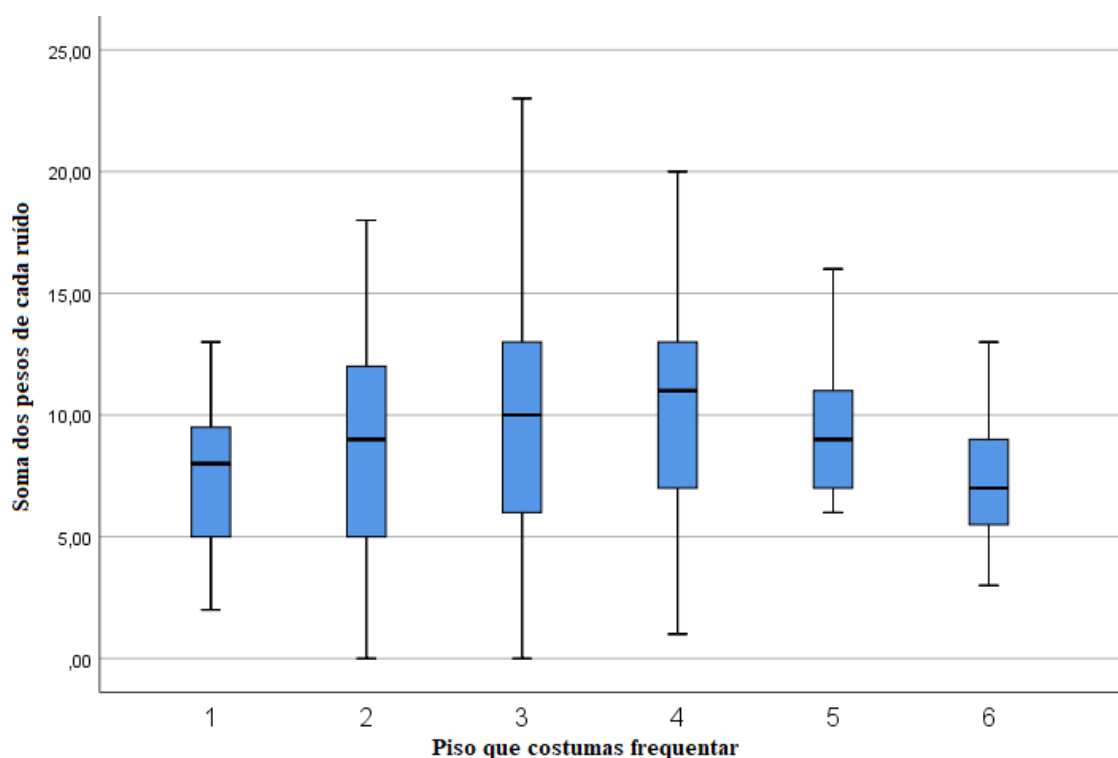


Fig. 27 – Inquérito, cruzamento de dados piso-ruído, gráfico

	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	Piso 6
Média	8,1	8,6	10,0	10,4	9,4	7,4
Mediana	8	9	10	11	9	7
Desvio-padrão	3,98	4,34	4,99	4,28	3,37	3,41
Mínimo	2	0	0	1	6	3
Máximo	17	18	23	20	16	13
Contagem	23	81	75	66	10	11

Tab. 8 – Inquérito, cruzamento de dados piso-ruído, dados estatísticos

3.3.4 Conclusão

Depois de analisadas as respostas ao inquérito, retiram-se diversas conclusões:

- i. Os ruídos identificados como os mais ocorrentes e, também, como os que mais se pretende ver eliminados são o ruído proveniente da conversa e o ruído proveniente da ventilação/ ar condicionado,
- ii. São os inquiridos do género feminino, os inquiridos do 5º e 6º ano e, os inquiridos que costumam frequentar o 4º piso, quem identificam, em média, a ocorrência dos ruídos com maior frequência,
- iii. As melhorias que mais se querem ver concretizadas de forma a diminuir o ruído são a diminuição da conversa, maior controlo nos pisos executado pelos bibliotecários e/ ou seguranças e, restringir a entrada no caso de estudo a alunos da FEUP,
- iv. A acústica do caso de estudo tem de ser estudada e melhorada.

CAPÍTULO 4: LEGISLAÇÃO, NORMAS E INSTRUMENTOS

4.1 Parâmetros de interesse

Retiradas as conclusões do resultado inquérito, serão estudados determinados parâmetros para avaliar e caracterizar a situação atual da acústica do caso de estudo.

Os parâmetros de interesse são: o tempo de reverberação (T), o RASTI, o nível de avaliação padronizado ($L_{Ar,nT}$) e, as curvas de incomodidade NC.

Diminuir a propagação do som em *open space* é introduzir absorção sonora para que a energia produzida não se propague a uma distância tão grande. O parâmetro que, indiretamente, permite avaliar a absorção é o tempo de reverberação, parâmetro que só por isso será estudado.

O ruído proveniente da conversa é um problema no caso de estudo para os utentes. É daí que surge a necessidade de estudar a inteligibilidade da palavra através do índice RASTI. Este índice demonstrará subjetivamente a realidade do caso de estudo.

Os outros dois parâmetros referenciados, o nível de avaliação padronizado e as curvas de incomodidade NC, serão estudados com o objetivo de perceber os níveis de ruído proveniente de equipamentos de ventilação e de ar condicionado, que foram, sistematicamente, referenciados pelos inquiridos como sendo demasiado perturbadores.

Os valores de referência destes 4 parâmetros seguirão os valores estabelecidos pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios e por documentos de referência sobre acústica de edifícios. Tanto as medições como os ensaios realizados seguirão as Normas Portuguesas e as Normas Europeias (se aplicáveis).

4.2 Legislação

Em 1983, a Assembleia Regional dos Açores aprova, o primeiro texto legislativo português dirigido à acústica, o Decreto Legislativo Regional n.º 22/83/A. O que motivou a redação deste documento foi a elevada preocupação pelos efeitos nefastos que a poluição sonora estaria a provocar no meio ambiente, na comunidade e no cidadão [17].

Só em 1987 é que a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora se encontra regulada no ordenamento jurídico português através do Regulamento Geral sobre o Ruído, aprovado pelo decreto-lei 251/87 [18].

Entretanto, foram surgindo outros documentos e atualizações aos mesmos e aos enunciados anteriormente, no entanto, para o presente trabalho, será em conformidade com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (DL 96/2008) que serão estabelecidas comparações.

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), inicialmente aprovado pelo Dec. Lei n.º 129/2002 de 11/05 e alterado pelo Dec. Lei n.º 96/2008 de 09/06 visa regular a vertente do conforto acústico no regime na edificação e contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações.

Este Regulamento aplica-se aos seguintes tipos de edifícios, em função do uso dos mesmos:

- a) Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- b) Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- c) Edifícios escolares e similares, e de investigação;
- d) Edifícios hospitalares e similares;
- e) Recintos desportivos;
- f) Estações de transporte de passageiros;
- g) Auditórios e salas.

Do RRAE, para efeitos de estudo deste trabalho, apenas interessa analisar o Capítulo I que aborda as disposições gerais e o Artigo 7º do Capítulo II que especifica os requisitos acústicos para edifícios escolares e similares, e de investigação [14]:

Ref.	Elemento/ local	Mínimo Regulamentar		
1a)	Entre o exterior e os compartimentos receptores	$D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) \geq 28$ dB – em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º1 do art. 11 do RGR $D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) \geq 33$ dB – em zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º1 do art. 11 do RGR C ou Ctr, somados a $D_{2m,nT,w}$, quando área translúcida superior a 60% do elemento de fachada (função do tipo de ruído dominante na emissão).		
1b)	Locais de receção – Locais de emissão	Salas de aula (incluindo musical), de professores, administrativas	Bibliotecas e gabinetes médicos	Salas polivalentes e berçários
	Sala de aula, de professores, administrativas	$D_{nT,w} \geq 45$ dB	$D_{nT,w} \geq 45$ dB	$D_{nT,w} \geq 45$ dB
	Sala de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	$D_{nT,w} \geq 58$ dB	$D_{nT,w} \geq 50$ dB
	Bercários	$D_{nT,w} \geq 53$ dB	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	$D_{nT,w} \geq 48$ dB
	Corredores de grande circulação	$D_{nT,w} \geq 30$ dB +15 dB se não existir porta	$D_{nT,w} \geq 35$ dB +15 dB se não existir porta	$D_{nT,w} \geq 30$ dB +15 dB se não existir porta
1c)	Em compartimentos receptores*, proveniente de outros locais do edifício	$L'_{nT,w} \leq 60$ dB se o local emissor for corredor de grande circulação, ginásio, refeitório ou oficina $L'_{nT,w} \leq 65$ dB se o local emissor for salas de aula, berçário ou salas polivalentes		
1d)	Tempo de reverberação médio (entre 500, 1000 e 2000 Hz), T, com mobiliário e sem ocupação	$T - 0,15 \times V^{1/3}$ [s] em salas de aula, salas polivalentes, bibliotecas, refeitórios e ginásios		
1e)	Área de absorção sonora equivalente média (entre 500, 1000 e 2000 Hz), A,	$A \geq 0,25 \times S_{planta}$		

	em átrios e corredores de grande circulação:	
1f)	Em compartimentos receptores* o valor de $L_{Ar,nT}$ do ruído particular de equipamentos do edifício deve ser:	Bibliotecas: $L_{Ar,nT} \leq 35 \text{ dB(A)}$ se o funcionamento for intermitente $L_{Ar,nT} \leq 30 \text{ dB(A)}$ se o funcionamento for contínuo Restantes compartimentos receptores: $L_{Ar,nT} \leq 40 \text{ dB(A)}$ se o funcionamento for intermitente $L_{Ar,nT} \leq 35 \text{ dB(A)}$ se o funcionamento for contínuo
4 e 5	Nas avaliações <i>in situ</i> destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	+3 dB para $D_{2m,nT,w}$ e para $D_{nT,w}$ -3 dB/dB(A) para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$ -25% para T

* - Compartimentos receptores – Blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de consulta ou exame, enfermarias, salas de tratamento, salas administrativas e de convívio. Refira-se que existe uma gralha no artigo 8º do RRAE, visto que este remete para os locais receptores indicados no quadro vi do anexo do RRAE, mas estes encontram-se no quadro v do mesmo anexo.

Tab. 9 – Requisitos acústicos exigidos em edifícios escolares e similares, e de investigação [14]

4.3 Valores ideais

Tempo de Reverberação [s]	RASTI	$L_{Ar,nT}$ [dB(A)]	NC
$\leq 0,15 \times V^{1/3}$	$\leq 0,45$	≤ 30	≤ 30

Tab. 10 – Valores ideais para dos parâmetros de interesse

Embora não haja nenhum valor de referência a abordar a inteligibilidade da palavra e consequentemente, nenhuma referência ao valor que deveria ser respeitado para o índice RASTI, o valor proposto na Tab. 10 vem dos estudos realizados sobre a matéria onde se considera que uma inteligibilidade da palavra razoável a partir do valor 0,45 [19]. Tal como já foi referido, o ruído proveniente de conversa é um grande problema identificado pelos utentes do caso de estudo. Portanto, pretende-se que a inteligibilidade da palavra tenha um baixo índice RASTI de forma a melhorar a experiências dos utentes do caso de estudo.

O valor estabelecido para curva de incomodidade NC como valor ideal é uma recomendação do documento “Acoustics for libraries”, que sugere que a curva NC máxima para bibliotecas e espaços de leitura seja a curva NC 25 ou a curva NC 30 [1].

4.4 Normas

4.4.1 Tempo de Reverberação

Para a realização do ensaio do tempo de reverberação seguir-se-ão as especificações da Norma EN ISO 3382-2. Segundo esta Norma, a medição do tempo de reverberação deverá de ser efetuada na ausência de pessoas. No entanto, mesmo que estejam presentes até duas pessoas na sala, a sala considera-se desocupada.

Em salas grandes, a contribuição da absorção do ar poderá ter de ser levada em conta. Dado que a atenuação devida ao ar influencia diretamente a absorção do ar, apenas se poderá desprezar o contributo da absorção do ar se o tempo de reverberação medido for inferior a 1,5 s e a 0,8 s, para as frequências 2 kHz e 4 kHz, respetivamente. Caso contrário, para medições precisas, a temperatura e a humidade relativa do ar deverão ser avaliadas.

A disposição dos recetores terá de respeitar a distância mínima, d_{min} , em metros. A mesma pode ser determinada através da seguinte equação:

$$d_{min} = 2 * \sqrt{\frac{V}{c\check{T}}}$$

Onde:

V- Volume [m^3]

c- Velocidade do som [m/s]

$\check{T}$ - Estimativa do tempo de reverberação [s]

Quanto mais pontos de medição e mais medições, maior será a cobertura da sala a ser estudada. Como tal, dependendo do tipo de precisão que se pretende, maior ou menor será o número mínimo de pontos de medição e, maior ou menor será o número mínimo de medições. A Fig. 28 mostra os requisitos impostos por esta Norma EN ISO 3382-2 quanto ao número mínimo de pontos de medição e de medições:

	Controlo	Engenharia ^{a)}	Precisão
Combinações fonte sonora-microfone	2	6	12
Posições da fonte sonora ^{b)}	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Posições do microfone ^{c)}	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Número de decaimentos em cada posição (método da fonte interrompida)	1	2	3
^{a)} Quando os resultados são utilizados como termo de correção para outras medições ao nível de engenharia, apenas uma posição da fonte e três posições do microfone são necessários. ^{b)} Para o caso do método de ruído interrompido podem ser usadas em simultâneo fontes não correlacionadas. ^{c)} Para o caso do método de ruído interrompido e quando os resultados são utilizados como termo de correção poderão ser utilizados sistemas de microfones rotativos em lugar de múltiplas posições de microfone.			

Fig. 28 – Número mínimo de pontos de medição e de medições

No âmbito desta dissertação, o método escolhido foi o método de precisão visto pretender-se uma elevada precisão das medições. Como tal, serão feitas, pelo menos, 12 combinações de fonte sonora com recetor, definidas, pelo menos, 2 posições de fonte sonora e 3 posições de recetor e, terá de ser 3 o número de decaimentos em cada posição.

Para excitação da sala, o método utilizado foi o Método de ruído interrompido. Na aplicação do mesmo, a fonte deverá de ser capaz de produzir níveis de pressão sonora suficientemente elevados, pelo menos de 45 dB superiores ao nível de ruído de fundo, de maneira a medir o T_{30} . É crucial que o som seja emitido por um período mínimo de $T/2$ s, onde T é o tempo de reverberação, para que o campo sonoro atinja um regime estacionário antes da fonte ser desligada. Em compartimentos de volume elevado, a excitação deverá de ser alguns segundos. A outra opção, era a utilização do Método da resposta impulsiva integrada.

4.4.2 Nível de pressão sonora de equipamentos de serviço

Para a realização da medição do nível de pressão sonora de equipamento de serviço em edifícios seguir-se-ão as especificações da Norma NP EN ISO 16032. Segundo esta Norma, a medição do nível de pressão sonora de equipamento de serviço deverá compreender a gama de frequência 31,5 – 8000 Hz, por banda de oitava, “como um espectro linear correspondente ao nível sonoro máximo, com ponderação A ou C, que ocorre durante um ciclo de funcionamento de serviço em avaliação” [16].

Para esta avaliação do nível de pressão sonora de equipamento de serviço será determinado o nível sonoro contínuo equivalente, com um tempo de integração específico em vez de se recorrer às ponderações temporais “S” ou “F”.

Depois de obtidos os resultados, os mesmos são corrigidos do ruído de fundo (se necessário). De seguida poderão ser padronizados para um tempo de reverberação de 0,5 s ou normalizados para uma área de absorção sonora equivalente de 10 m^2 . Por fim, com os resultados corrigidos calculam-se os níveis de pressão sonora ponderados A (ou C).

Frequência [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ponderação A [dB]	-	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1
Ponderação C [dB]	-3,0	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3,0

Tab. 11 – Ponderações A e C [16]

As posições do microfone utilizadas durante as medições do nível de pressão sonora do equipamento de serviço deverão de ser as mesmas devem de ser as mesmas para a medição do nível de ruído de fundo.

A correção do ruído de fundo deverá, ou não, ser aplicada para as seguintes condições:

Se, ao subtrair 10 dB ao nível de pressão sonora do equipamento de serviço, o nível de ruído de fundo for igual ou inferior, então não se deverá aplicar nenhuma correção. Se o nível de ruído de fundo estiver situado entre 4 dB a 10 dB comparativamente ao nível de pressão sonora do equipamento de serviço, o nível de ruído de fundo deverá ser corrigido da seguinte forma:

$$L = L_1 - K$$

$$K = -10 \times \log(1 - 10^{-0,1 \times \Delta L})$$

$$\Delta L = L_1 - L_2$$

Onde:

L – É o nível de pressão sonora, corrigido, [dB];

L_1 – Nível de pressão sonora do equipamento de serviço, em bandas de oitava, incluindo o ruído de fundo, [dB];

L_2 – Nível de pressão sonora do ruído de fundo, em bandas de oitava, [dB];

K – É o valor de correção, em bandas de oitava, [dB].

Se o nível de ruído de fundo for inferior a 4 dB, então o valor da correção deverá ser limitado a 2,2 dB.

4.5 Instrumentos

Para a realização das medições e dos ensaios serão usados os seguintes instrumentos:

- Sonómetros: são instrumentos de medida da pressão acústica, basicamente constituídos por um microfone, um circuito integrador, filtros de ponderação e um mostrador (analógico ou digital) [13]. A Fig. 29 é o sonómetro usado nos ensaios.



Fig. 29 – Sonómetro

- Fonte Sonora: são sistemas que amplificam e emitem os sons gerados [13]. Para a realização dos ensaios deverá ser usada uma fonte sonora tão omnidirecional quanto possível. A Fig. 30 é a fonte sonora usada nos ensaios.



Fig. 30 – Fonte Sonora

- Emissor e recetor (RASTI): avaliam a inteligibilidade da palavra por meios objetivos indiretos. A Fig. 31 são os emissor e recetor usados no ensaio.



Fig. 31 – Emissor e recetor (RASTI)

CAPÍTULO 5: MEDIÇÕES, ENSAIOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentadas as condições sob as quais as medições e os ensaios foram realizados assim como, os resultados obtidos. Será feita uma análise aos resultados, comparando-os com os valores estipulados como valores ideais a respeitar.

5.2 Tempo de reverberação

O ensaio do tempo de reverberação realizou-se entre as 7h e as 8h. Escolheu-se este horário para a realização deste ensaio devido ao horário de funcionamento do caso de estudo ser das 8h30 - 19h30 e por o sistema de ventilação e de ar condicionado ser ligado automaticamente às 8h. Quer isto dizer que até às 8h não haverá ruído proveniente de ventilação e de ar condicionado e, até às 8h30, o ruído proveniente dos utentes e dos bibliotecários será inexistente. No entanto, a partir das 7h30 até ao caso de estudo abrir as suas portas ao público, são efetuados serviços de limpeza e de manutenção. Como tal, foi pedida a autorização ao Diretor da Biblioteca da FEUP para que estes mesmos serviços de limpeza e de manutenção fossem suspensos, por cerca de 45 minutos, de forma a não adulterarem as medições do ensaio do tempo de reverberação. Porém, provou-se difícil ausentar os técnicos de limpeza do caso de estudo nesse período. Há medida que se realizava o ensaio, foram precisas várias tentativas, junto das técnicas de limpeza, para que as mesmas suspendessem as suas atividades. Como tal, algumas das medições obtidas ficaram adulteradas devido a ruídos como o ruído de cadeiras a serem movidas, de coisas a caírem, entre outros. Do conjunto de medições obtido, as medições adulteradas serão filtradas e não entrarão no estudo do tempo de reverberação.

No total foram feitas 15 medições. Foram escolhidas 3 diferentes posições para a fonte sonora e, para cada posição da fonte sonora, escolheram-se 5 posições diferentes para o recetor, tal como se pode observar na Fig. 32. As razões por detrás da escolha destas posições são bastante distintas. A primeira posição de fonte fica mesmo debaixo do desvão central que liga os quatro primeiros pisos do caso de estudo. Dada esta ligação entre pisos, presume-se que a reverberância será maior neste local, tornando-se, assim, uma zona com elevado interesse de estudo. A segunda posição de fonte situa-se no local onde se presume que a reverberância será menor, entre estantes cheias de livros, onde o pé-direito é de apenas 2,80 m quando comparado com os quase 15 m de pé-direito na primeira posição. Por fim, é na terceira posição de fonte que se julgam encontrar valores intermédios do tempo de reverberação, isto quando comparado com as outras duas posições de fonte, pois o seu pé-direito igual ao pé-direito na segunda posição de fonte e por estar num espaço aberto, sem estantes cheias de livros a limitar o espaço.

A distância mínima entre recetores foi de 3 metros de forma a respeitar a $d_{\min}$ determinada pela Norma EN ISO 3382-2. Considerando o volume $V = 915 \text{ m}^3$, a velocidade do som $c = 343 \text{ m/s}$, e a estimativa do tempo de reverberação $\tilde{T} = 1,45 \text{ s}$, obteve-se uma distância mínima entre recetores $d_{\min} = 2,71 \text{ m}$. De maneira a que a fonte sonora emitisse um nível de pressão sonora suficiente elevado, 45 dB acima do nível de ruído de fundo, para medir o T_{30} , a fonte emitiu níveis de pressão sonora de 90 dB, aproximadamente, em todas as medições, por um período de $t = 3 \text{ s}$, aproximadamente.

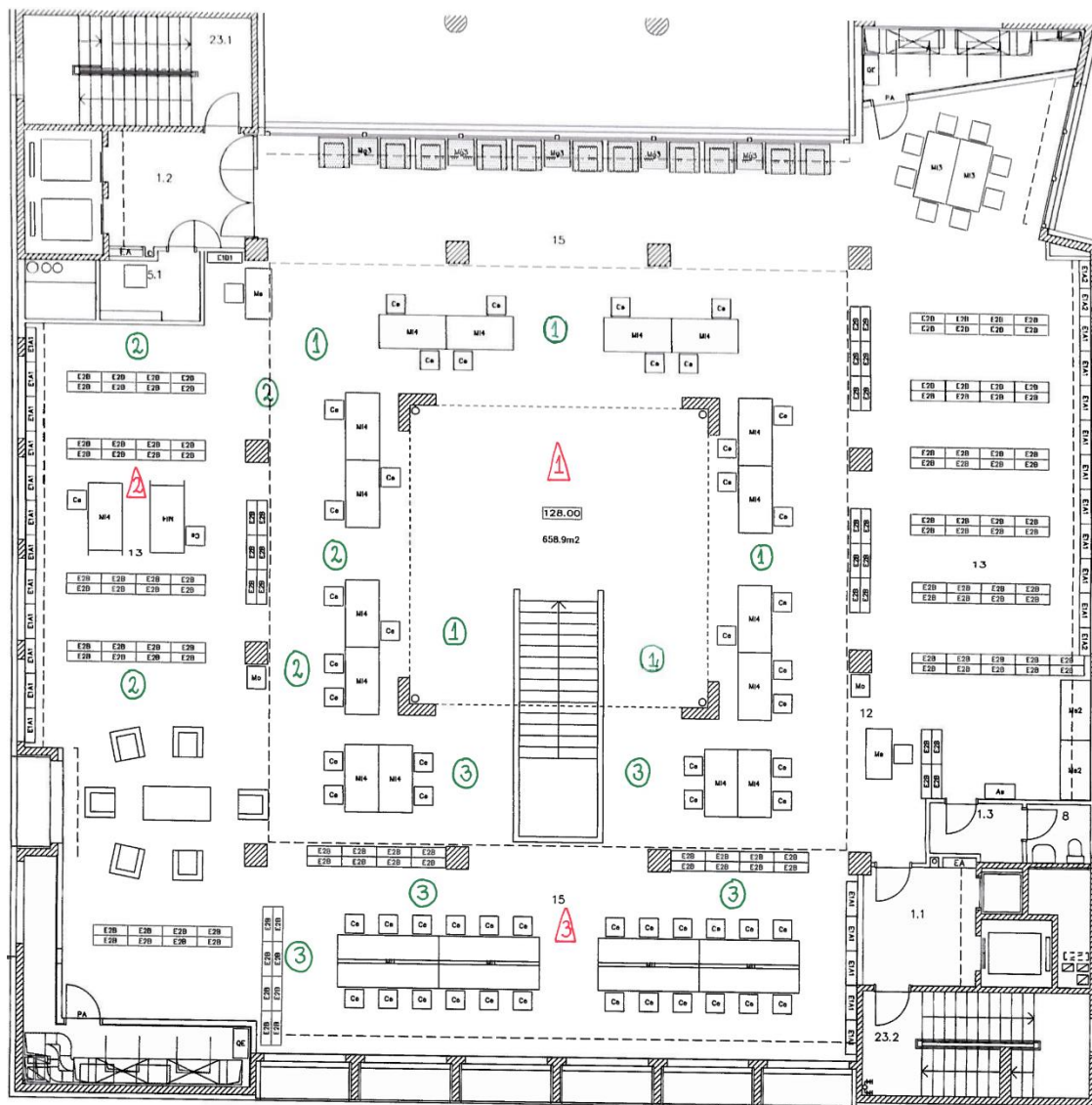


Fig. 32 – Ensaio do tempo de reverberação, posições de fonte sonora (Δ_1 , Δ_2 , Δ_3) e de recetor (O_1 , O_2 , O_3 , O_4 , O_5)

Os resultados das medições comprovam o esperado. Muitas das medições estão adulteradas pelos motivos já enunciados, e os tempos de reverberação medidos nas diferentes posições revelam que a reverberância é maior na primeira posição da fonte sonora e menor na segunda posição da fonte sonora.

Tempo de reverberação, T [s]							
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Fonte Δ_1	1,53	1,56	1,48	1,37	1,18	0,91	0,61
	1,31	1,31	1,4	1,34	1,07	0,86	0,57
Fonte Δ_2	1,52	1,08	1,15	1,15	0,91	0,69	0,49
	1,26	1,22	1,14	1,06	0,89	0,67	0,49
Fonte Δ_3	1,34	1,2	1,22	1,15	1,01	0,77	0,51
	1,5	1,43	1,4	1,34	1,16	0,91	0,65
Valo médio	1,41	1,30	1,30	1,24	1,04	0,80	0,55
T (500, 1000, 2000 Hz) médio			1,19 s				

Tab. 11 – Resultado do tempo de reverberação, 125-8000 Hz

Como o RRAE pretende que seja cumprido o tempo de reverberação médio para as bandas de frequência 500, 1000 e 2000 Hz, será para este conjunto de bandas de frequência que se comparará o tempo de reverberação médio medido. O valor obtido para este parâmetro, medido segundo a Norma EN ISO 3382-2, com mobiliário e sem ocupação é de 1,19 s.

Dado que o volume do 1º piso, V, é de 915 m³, o tempo de reverberação médio ideal, T, é de $T \leq 0,15 \times 915^{1/3} = 1,45$ s. Pode-se então concluir que o tempo de reverberação no caso de estudo respeita o valor estipulado pelo RRAE e, como tal, não será necessário realizar melhorias para diminuir o valor deste parâmetro.

5.3 RASTI

A medição do índice do RASTI realizou-se entre as 11h e 12h, sob condições normais de funcionamento do caso de estudo. A zona onde foram realizadas as medições foi, aproximadamente, no centro geométrico do caso de estudo, em frente às escadas tal como mostra a Fig. 33. O motivo para se decidir realizar as medições nesta zona foi por esta se encontrar exatamente abaixo do desvão central. É neste local que, teoricamente, se encontram as condições mais desfavoráveis para a inteligibilidade da palavra por este receber diretamente o ruído proveniente dos outros pisos e das secretárias circundantes.



Fig. 33 – Medição “in situ” do índice RASTI.

Optou-se por definir uma posição para a fonte sonora e nove posições para o recetor. Definiram-se 3 direções para analisar e, para cada direção marcaram-se 3 posições diferentes para o recetor. Cada posição está espaçada de metro em metro, até uma distância máxima de 3 metros entre a

fonte sonora e o recetor. Em cada posição, fizeram-se 3 medições. As primeiras 27 medições foram feitas com a fonte direccionada para o recetor Fig. 34. As restantes 27 medições foram feitas com a fonte sonora direccionada no sentido oposto a B Fig. 35.

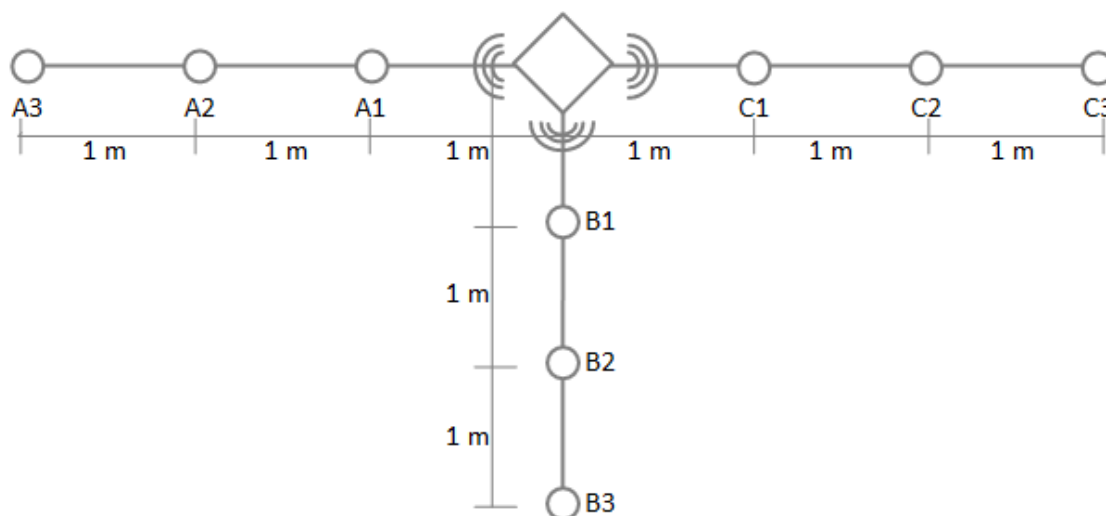


Fig. 34 – Índice RASTI, fonte sonora direccionada para o recetor

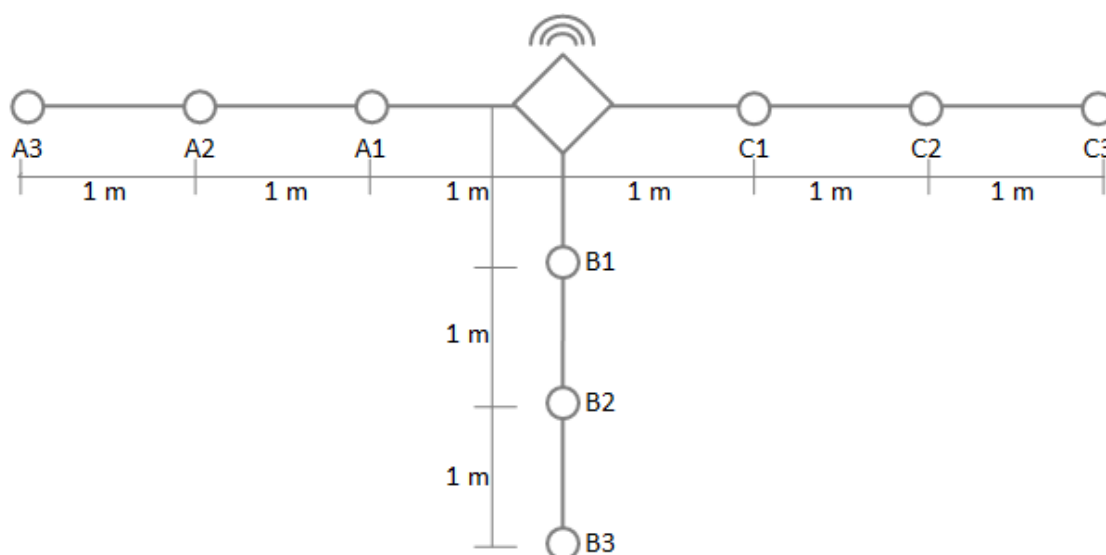


Fig. 35 – Índice RASTI, fonte sonora direccionada no sentido oposto a B

Ponto	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média		
Fonte Sonora: no sentido (A)						
A1	88%	91%	89%	89%	Média A,j	Média i,1
A2	81%	79%	81%	80%	81%	90%
A3	74%	74%	75%	74%		
Fonte Sonora: no sentido (B)						
B1	90%	92%	89%	90%	Média B,j	Média i,2
B2	81%	81%	83%	82%	82%	81%
B3	75%	74%	73%	74%		
Fonte Sonora: no sentido (C)						
C1	90%	92%	92%	91%	Média C,j	Média i,3
C2	82%	83%	82%	82%	83%	75%
C3	76%	74%	76%	75%		
Fonte Sonora: virada 0 graus						
A1	71%	72%	73%	72%	Média A,j	Média i,1
A2	63%	62%	60%	62%	64%	72%
A3	58%	57%	57%	57%		
B1	73%	73%	71%	72%	Média B,j	Média i,2
B2	60%	59%	58%	59%	62%	60%
B3	54%	55%	54%	54%		
C1	71%	72%	70%	71%	Média C,j	Média i,3
C2	59%	58%	58%	58%	62%	56%
C3	56%	55%	56%	56%		

Tab. 12 – Índice RASTI, resultados da medição

Da Tab. 12 pode-se observar que, como era de esperar, os valores do índice, em média, quase não variam entre direções e sentidos – 81%, 82%, 83% e, 64%, 62%, 62% - porém, entre a distância da fonte sonora ao recetor, os valores do índice, em média, variam consideravelmente – 90%, 81%, 75% e, 72%, 60%, 56%. Como tal, é justo afirmar que entre direções e sentidos o índice RASTI é o mesmo, não varia, e que entre posições, ou seja, para as posições i1, i2, i3, considera-se interessante analisar este índice. Verifica-se que por cada metro que o recetor se afasta da fonte sonora, o índice diminui, em média, cerca de 8%. Também da informação que pode ser retirada da Tab. 12, verifica-se que o índice diminui, aproximadamente, 20% quando a fonte sonora não está com a mesma direção e sentido do recetor em relação a quando está.

Pode-se então concluir que o valor do índice RASTI não satisfaz o valor idealizado de 45% e afirmar que a inteligibilidade da palavra é boa e por isso são perceptíveis as conversas. Como tal, será necessário efetuar alterações na acústica do caso de estudo com o intuito de diminuir a inteligibilidade da palavra.

5.4 Ruído de equipamentos

5.4.1 Curvas de incomodidade NC

Foram realizadas 2 medições, Tab. 13. A primeira pouco antes do sistema de ventilação e de ar condicionado ligar, às 7h55. A segunda pouco depois do sistema de ventilação e de ar condicionado ligar, às 8h05. O interesse em realizar estas duas medições destina-se a perceber qual é o nível de pressão sonora proveniente do ruído dos equipamentos de ventilação e de ar

condicionado. Quer isto dizer que a primeira medição serve para se saber quais são os níveis de pressão sonora proveniente do ruído ambiente, por banda de frequência, que se terá de subtrair aos níveis de pressão sonora de quando o sistema de ventilação e de ar condicionado for ligado. São os valores resultantes da subtração da primeira medição na segunda medição que interessam analisar. É com esses valores que será feita a comparação com as curvas de incomodidade NC.

Frequência [Hz]	Medição [dB]				Subtração de 2-1
	1		2		
	44,53	50,3	54,73	60,6	60,2
16	43,98		55,81		
	47,25		56,72		
	45,2	48,5	53,05	58,2	57,8
31,5	42,45		53,61		
	42,98		53,73		
	43,24	47,3	52,2	53,3	52,1
63	44,32		45,04		
	37,31		42,58		
	34,81	36,5	37,54	43,4	42,4
125	28,88		38,53		
	28,45		39,62		
	28,05	32,0	37,95	40,8	40,2
250	25,83		35,08		
	27,55		33,97		
	24,36	29,0	36,12	43,6	43,5
500	23,96		40,23		
	24,43		39,29		
	24,17	28,0	40,5	44,1	43,9
1000	23,17		38,8		
	22,02		38,22		
	21,79	25,9	37,92	41,3	41,2
2000	21		36,55		
	20,37		34,36		
	18,98	22,9	32,55	34,8	34,5
4000	18,05		29,41		
	17,13		25,35		
	15,9	19,7	20,54	22,7	19,6
8000	14,96		16,47		
	13,51		14,34		
	12,34	15,1	12,19	16,8	12,1
16000	8,61		10,35		
	8,87		13,19		

Tab. 13 – Medição do L_{eq} para as Curvas de Incomodidade NC

Sobrepondo os níveis de pressão sonora do ruído de equipamento de ventilação e de ar condicionado (linha a tracejado) com as curvas de incomodidade NC, verifica-se que excede, e muito, a curva de incomodidade ideal, a curva NC 30. Por observação da Fig. 36 pode-se concluir que terão de ser tomadas medidas para melhorar as condições acústicas no caso de estudo visto que, de momento, a curva de incomodidade toma o valor da curva NC 45.

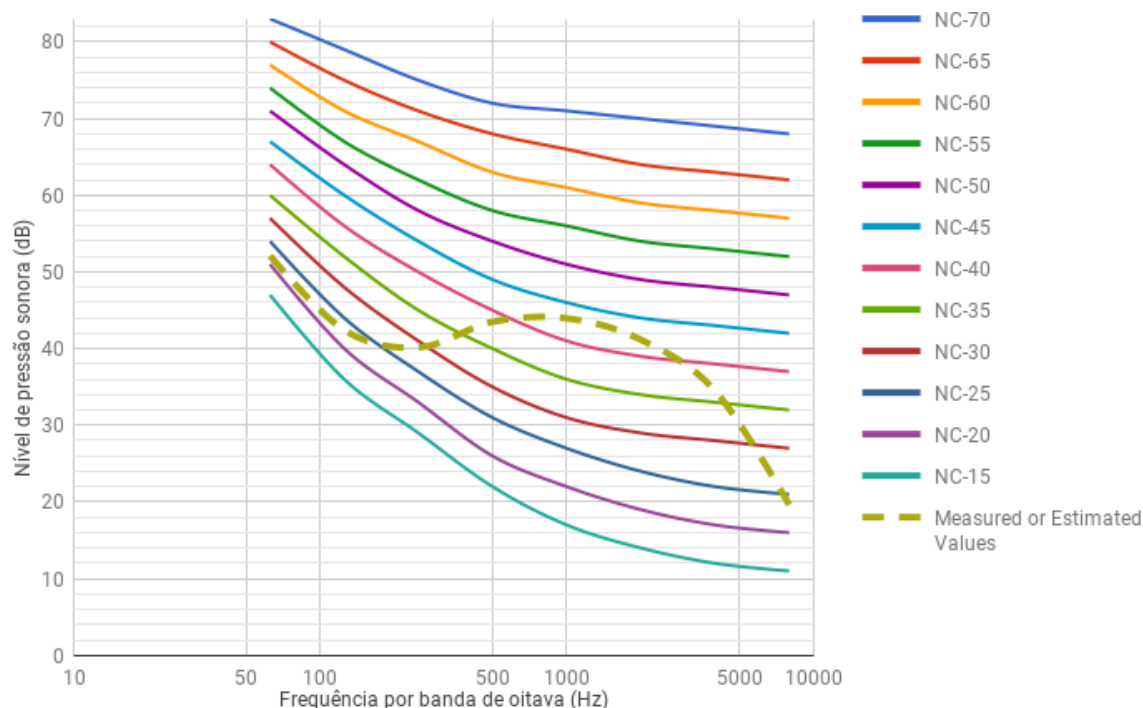


Fig. 36 – Curva de incomodidade NC, ruído de equipamento de ventilação e ar condicionado

5.4.2 Nível de pressão sonora de equipamentos de serviço

As medições para a determinação deste parâmetro ocorreram imediatamente após as medições do tempo de reverberação. Foi, aproximadamente, a partir das 8h que se começaram a executar as medições e tiveram uma duração de 15 minutos. Escolheu-se este horário pois, para a realização das medições para o cálculo deste parâmetro, o caso de estudo terá de estar desocupado (sem ruído proveniente de utentes e funcionários) e com o sistema de ventilação e de ar condicionado ligado. Tal como já foi referido, o sistema de ventilação e de ar condicionado é ligado às 8h. Felizmente, quando foram realizadas estas medições, as funcionárias da limpeza já tinham desocupado o caso de estudo e não existiram os mesmos problemas que decorreram nas medições do tempo de reverberação.

As posições do recetor seguiram o estipulado pela Norma NP EN ISO 1603 onde um dos recetores (Δ_1) deverá estar próximo de um canto, a 0,5 m das paredes e a 1,5 m acima do chão. As outras duas posições (Δ_2 , Δ_3) estão na zona do campo reverberante do compartimento, distanciadas, pelo menos, em 3 m umas das outras, Fig. 37.

Medições de Níveis de Pressão Sonora Associados ao Funcionamento do Equipamento (L_1)												
Posição 1	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
medição 1	48,5	46,7	39,4	34,1	33,3	34,6	32,9	31,6	29,6	31,9	35,3	34,0
medição 2	48,8	44,6	41,9	41,1	36,9	37,1	34,6	31,6	30,2	32,1	35,5	34,2
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	48,7	45,8	40,8	38,8	35,5	36,0	33,9	31,6	29,9	32,0	35,4	34,1
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		50,9			41,8			36,9			38,8	
Posição 2												
medição 1	49,1	44,6	40,7	36,3	37,8	38,1	36,2	36,7	33,4	35,1	38,2	37,3
medição 2	49,0	44,0	40,1	40,0	37,5	37,1	34,8	36,8	33,8	33,9	37,8	37,3
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	49,1	44,3	40,4	38,5	37,7	37,6	35,6	36,7	33,6	34,5	38,0	37,3
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		50,8			42,7			40,3			41,6	
Posição 3												
medição 1	51,9	42,6	41,4	44,3	36,8	38,3	35,4	34,2	32,1	33,9	37,9	36,9
medição 2	53,6	43,3	41,4	44,2	37,3	38,7	35,7	36,0	32,6	34,0	37,6	36,4
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	52,8	43,0	41,4	44,2	37,1	38,5	35,5	35,2	32,3	34,0	37,7	36,7
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		53,5			45,9			39,3			41,2	
L1eq médio global, 1/3 oitava[dB]	50,6	44,5	40,9	41,4	36,8	37,5	35,1	35,0	32,2	33,6	37,2	36,2
L1eq médio global, 1/1 oitava[dB]		51,9			43,8			39,0			40,7	

Tab. 14 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, (L_1), parte 1

Medições de Níveis de Pressão Sonora Associados ao Funcionamento do Equipamento (L_1)												
Posição 1	800 Hz	1 kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2 kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4 kHz	5 kHz	6.3 kHz	8 kHz	10 kHz
medição 1	35,3	33,2	33,1	32,6	30,8	28,2	24,7	21,1	16,5	12,5	10,0	8,8
medição 2	35,3	33,3	33,4	32,7	30,9	28,3	24,8	21,2	16,5	12,4	9,7	8,6
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	35,3	33,2	33,2	32,7	30,8	28,2	24,7	21,1	16,5	12,4	9,8	8,7
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		38,8			35,7			26,7			15,4	
Posição 2												
medição 1	38,9	36,9	36,7	36,0	34,5	32,4	29,6	25,9	21,1	16,0	12,1	9,8
medição 2	38,9	36,5	36,7	35,9	34,6	32,3	29,4	25,7	20,7	16,0	12,0	9,8
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	38,9	36,7	36,7	36,0	34,5	32,4	29,5	25,8	20,9	16,0	12,0	9,8
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		42,3			39,3			31,4			18,2	
Posição 3												
medição 1	38,2	36,6	36,8	35,7	34,5	32,3	30,0	26,7	21,8	16,8	12,9	10,3
medição 2	38,3	36,5	36,7	35,7	34,6	32,4	30,1	26,8	21,8	16,9	13,0	10,4
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	38,3	36,6	36,7	35,7	34,5	32,4	30,1	26,8	21,8	16,8	13,0	10,4
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		42,0			39,2			32,2			19,0	
L1eq médio global, 1/3 oitava[dB]	37,8	35,8	35,8	35,0	33,6	31,4	28,7	25,2	20,3	15,5	11,8	9,7
L1eq médio global, 1/1 oitava[dB]		41,3			38,3			30,7			17,8	

Tab. 15 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, (L_1), parte 2

Medições de Níveis de Ruído de Fundo (L_2)												
Posição 1	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
medição 1	43,6	43,4	38,0	33,3	30,3	31,0	32,1	32,2	28,1	24,4	24,1	22,1
medição 2	46,9	45,3	37,5	32,8	30,1	31,1	29,0	27,0	26,1	23,2	22,4	21,4
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	45,6	44,5	37,8	33,1	30,2	31,0	30,8	30,3	27,2	23,8	23,3	21,7
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		48,4			36,4			34,5			27,8	
Posição 2												
medição 1	39,9	40,6	35,9	35,9	27,5	26,5	29,2	32,1	25,8	22,4	21,1	20,8
medição 2	40,8	41,7	37,0	36,2	31,7	27,7	29,4	31,3	23,2	22,8	21,4	21,1
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	40,4	41,2	36,5	36,0	30,1	27,1	29,3	31,7	24,7	22,6	21,3	21,0
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		44,6			37,4			34,2			26,5	
Posição 3												
medição 1	42,7	42,0	37,3	34,0	27,9	27,2	30,6	35,3	26,2	24,2	23,0	21,3
medição 2	43,2	44,3	37,3	34,8	28,9	28,5	28,1	25,8	27,6	24,4	24,0	24,4
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	43,0	43,3	37,3	34,4	28,4	27,8	29,5	32,7	26,9	24,3	23,5	23,1
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		46,7			36,1			35,1			28,4	
L2eq médio global, 1/3 oitava[dB]	43,5	43,2	37,2	34,7	29,6	29,0	29,9	31,7	26,4	23,6	22,8	22,0
L2eq médio global, 1/1 oitava [dB]		46,9			36,7			34,6			27,7	

Tab. 16 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, (L_2), parte 1

Medições de Níveis de Ruído de Fundo (L_2)												
Posição 1	800 Hz	1 kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2 kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4 kHz	5 kHz	6.3 kHz	8 kHz	10 kHz
medição 1	22,6	21,6	21,1	23,5	19,4	17,1	12,8	11,6	9,5	9,2	8,7	8,1
medição 2	22,6	21,0	20,7	23,0	19,1	16,8	13,0	12,4	10,0	9,6	8,9	8,5
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	22,6	21,3	20,9	23,3	19,2	16,9	12,9	12,0	9,7	9,4	8,8	8,3
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		26,4			25,4			16,5			13,6	
Posição 2												
medição 1	21,7	21,2	19,6	20,6	19,1	18,6	13,5	12,0	10,6	10,3	10,0	9,6
medição 2	21,7	20,4	19,1	19,9	18,7	18,3	13,1	11,5	10,3	10,0	8,9	9,1
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	21,7	20,8	19,4	20,3	18,9	18,4	13,3	11,7	10,5	10,1	9,5	9,3
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		25,5			24,0			16,8			14,4	
Posição 3												
medição 1	23,4	21,5	20,0	21,1	19,1	17,6	13,8	13,0	10,9	10,3	9,4	9,0
medição 2	24,2	23,2	22,0	21,8	21,0	20,4	19,0	18,1	17,1	15,9	15,0	13,5
Leq médio, 1/3 oitava [dB]	23,8	22,4	21,1	21,4	20,2	19,2	17,1	16,2	15,0	14,0	13,0	11,8
Leq médio, 1/1 oitava [dB]		27,4			25,1			21,0			17,8	
L2eq médio global, 1/3 oitava[dB]	22,8	21,6	20,5	21,8	19,5	18,3	14,9	13,8	12,4	11,6	10,8	10,1
L2eq médio global, 1/1 oitava [dB]		26,5			24,9			18,6			15,7	

Tab. 17 – Medições para o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço, (L_2), parte 2

De seguida, segundo a norma NP EN ISO 1603, foram efetuados os cálculos para a correção do ruído de fundo (K_{rf}), a diferença entre o L_1 e L_2 , o nível de pressão sonora corrigido (L), o nível de pressão sonora corrigido filtrado com a ponderação A (L_A), o L_{Ar} e o $L_{Ar,nT}$.

Frequência											
50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Medições de Níveis de Pressão Sonora Associados ao Funcionamento do Equipamento (L1)											
51,9			43,8			39,0			40,7		
Medições de Níveis de Ruído de Fundo (L2)											
46,9			36,7			34,6			27,7		
Correção ruído fundo, K_{rf} [dB] $Se((L_1-L_2) \geq 10; 0; se((L_1-L_2) > 4; -10 \cdot \log_{10}(1-10^{(-0,1 \cdot \Delta L)}); 2,2))$											
1,6			0,9			2,0			0,0		
$\Delta L=L_1-L_2$											
5,1			7,2			4,4			13,0		
$L=L_1-K_{rf}$											
50,3			42,9			37,1			40,7		
Correção para ponderação A											
-			-			-			-		
26,2			16,1			-8,6			-3,2		
L_A $L_A=L+ponderaçãoA$											
24,1			26,8			28,5			37,5		

Tab. 18 – Cálculo do $L_{Ar,nT}$, parte 1

Frequência												
800 Hz	1 kHz	1,25 kHz	1,6 kHz	2 kHz	2,5 kHz	3,15 kHz	4 kHz	5 kHz	6,3 kHz	8 kHz	10 kHz	
Medições de Níveis de Pressão Sonora Associados ao Funcionamento do Equipamento (L1)												
41,3		38,3			30,7			17,8			L1eq médio global, 1/1 oitava[dB]	
Medições de Níveis de Ruído de Fundo (L2)												
26,5		24,9			18,6			15,7			L2eq médio global, 1/1 oitava [dB]	
Correção ruído fundo, Krf [dB] Se((L1-L2)≥10; 0; se((L1-L2)>4; -10*log10(1-10^(-0,1*ΔL)); 2,2))												
0,0		0,0			0,0			2,2				
ΔL=L1-L2												
14,8		13,5			12,1			2,1				
L=L1-Krf												
41,3		38,3			30,7			15,6				
Correção para ponderação A												
0,0		1,2			1,0			-1,1				
LA												
LA=L ponderação A												
41,3		39,5			31,7			14,5				LAr

Tab. 19 – Cálculo do $L_{Ar,nT}$, parte 2

Pode-se concluir que este parâmetro ultrapassa o limite de 30 dB(A) estipulados pelo RRAE. Terão de ser tomadas medidas para que o valor de 41,2 dB(A) do $L_{Ar,nT}$ seja reduzido com o intuito de melhorar a experiência dos utentes no caso de estudo.

CAPÍTULO 6: MODELAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

6.1 Introdução

O software escolhido para a modelação computacional da acústica do caso de estudo foi o CATT-Acoustic v8. Este programa ajusta-se, perfeitamente, no que se pretende fazer para a modelação computacional pois, a metodologia que utiliza para a modelação, é à base de métodos geométricos.

6.2 Procedimento de recolha de informação

Para se concretizar a modelação neste software, foi necessário criar um procedimento de recolha de informação prévio à modelação para que, posteriormente, levasse à obtenção de resultados o mais próximo da realidade, da maneira mais eficiente possível. O procedimento criado foi o seguinte:

- 1º Medição “*in situ*” dos parâmetros que se pretende analisar no modelo computacional,
- 2º Identificação dos materiais e das superfícies presentes no caso de estudo,
- 3º Identificação da disposição do mobiliário: cadeiras, secretárias, sofás, ...
- 4º Obtenção das especificações acústicas dos materiais, superfícies e mobiliário identificados: coeficiente de absorção sonora, difusão, ...
- 5º Obtenção do projeto de arquitetura do caso de estudo: plantas, cortes, alçados, ...
- 6º Modelação do caso de estudo.

O objetivo do primeiro passo é obter os valores dos parâmetros acústicos através de medições e ensaios para posteriormente comparar com os do modelo computacional de forma a corroborar a modelação. Os parâmetros que servirão para legitimar a modelação são o tempo de reverberação e o índice RASTI.

Embora os segundo, terceiro e quarto passos sejam diferentes, os mesmos contém semelhanças. O objetivo do segundo passo é identificar os materiais de construção presentes nas respetivas superfícies. Identificar qual é o acabamento do teto, das paredes, do chão, identificar o tipo de envidraçado, entre outros. Já o objetivo do terceiro passo é o de identificar quais as peças de mobiliário que estão presentes no caso de estudo, assim como a sua disposição. De salientar que este passo não se deve de subestimar. Se se posicionar o mobiliário de forma aleatória no modelo computacional, pode-se vir a obter valores ligeiramente afastados da realidade. O objetivo do quarto passo é obter as especificações acústicas dos materiais, superfícies e mobiliário. Este passo

pode-se verificar moroso e até difícil de se concretizar. O mesmo pode ser consumado da seguinte maneira: através da realização de ensaios acústicos numa câmara reverberante, contactando o fabricante, através da consulta de tabelas genéricas com valores das características acústicas pretendidas ou, em último caso, através de extrapolações do valor de um determinado material, para outro ligeiramente diferente. É este quarto passo que poderá levar a pequenas incongruências quando for comparado resultado do modelo com o das medições e ensaios, portanto, é de salientar a importância deste passo.

Para o quinto passo, o objetivo passa por obter o projeto de arquitetura do caso de estudo. A informação presente nas plantas, cortes e alçados será fundamental para a criação da geometria do modelo pois é lá que se obterão pés-direitos, vãos, entre outros.

Por fim, a modelação do caso de estudo é o passo que se segue. Introduzir-se-ão as coordenadas dos pontos, criar-se-ão os planos das variadas superfícies, introduzir-se-ão as características acústicas dos planos criados, posicionar-se-ão a fonte e o recetor nas mesmas coordenadas e características da fonte e do recetor utilizado nos ensaios e medições e, finalmente, obter-se-ão os resultados do modelo.

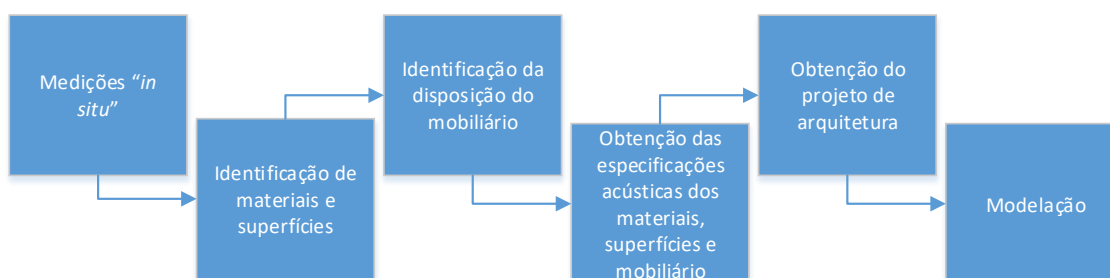


Fig. 38 – Procedimento prévio à modelação

6.3 Modelação

A modelação foi feita com base na informação recolhida. Depois de definidos todos os componentes que iriam integrar o modelo, o primeiro passo é introduzir as características acústicas de cada componente. Tanto o coeficiente de absorção sonora como a difusão foram definidos consoante a banda de frequência. As bandas de frequências adotadas para estudo são as 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz.

Componente	Coeficiente Absorção Sonora						Difusão					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
Pavimento	10%	15%	25%	30%	30%	30%						
	O pavimento é constituído por alcatifa leve colada sobre o betão. Estes valores foram retirados da base de dados da empresa S. O. P. S. E. C.											
Escadas	99%	99%	99%	99%	99%	99%	10%	70%	10%	70%	10%	70%
	As escadas são constituídas de aglomerado de madeira. Porém, considerou-se o seu coeficiente de absorção sonora como sendo 99%, para todas as bandas de frequência, por ser uma zona onde o som que a li incide, dissipa quase na sua totalidade. Já para difusão foram atribuídos valores padrões para superfícies bastante difusas de 10% e 70%.											
Teto	30%	20%	15%	5%	5%	5%						
	O teto é constituído por gesso cartonado liso 13 mm. Estes valores foram retirados da base de dados da empresa S. O. P. S. E. C.											
Desvão central	99%	99%	99%	99%	99%	99%						
	O desvão central é a parte central que coincidente nos pisos 1 a 4. Como a modelação é do 1º piso, considerou-se o seu coeficiente de absorção sonora como											

	sendo 99%, para todas as bandas de frequência, visto que o som que lá incide dissipa para os outros pisos. Não se considerou a difusão.											
Paredes	4%	5%	6%	8%	4%	6%						
	As paredes são constituídas por reboco pintado. Os valores para o coeficiente de absorção sonora foram adotados da base de dados de coeficientes de absorção sonora da empresa Akustik.											
Janelas	18%	6%	4%	3%	2%	2%						
	As janelas são constituídas por vidro duplo, com espessura a variar entre 4 e 6 mm e com uma caixa de ar de 10 mm. Os valores para o coeficiente de absorção sonora foram adotados da base de dados de coeficientes de absorção sonora do Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética (LACAM) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasil.											
Portas	14%	10%	6%	8%	10%	10%						
	As portas são constituídas por madeira. Os valores para o coeficiente de absorção sonora foram adotados da base de dados de coeficientes de absorção sonora da empresa Akustik.											
Estantes	7,84 %	15,08 %	24,18 %	23,63 %	25,47 %	27,15 %						
	As estantes são constituídas por uma estrutura metálica, envolvidas por 3 cm madeira na sua periferia, cheias de livros com diferentes alturas e espessuras. Os valores para o coeficiente de absorção sonora foram adotados de um estudo realizado pelo Engenheiro António Costa sobre estantes. Nesse estudo, a estante tem uma estrutura metálica, e estudou-se a estante vazia, ¼ cheia, ½ cheia e cheia de livros.											
Sofás	33%	52%	64%	69%	68%	72%						
	O acabamento dos sofás é em pele. Embora não se tenham encontrado valores do coeficiente de absorção sonora nem da difusão dos sofás em questão, realizaram-se extrapolações de forma a se obter valores próximos ao que se julga ser a realidade.											
Mesa de café pequena	4%	4%	6%	8%	8%	8%						
Mesa de café grande	4%	4%	6%	8%	8%	8%						
Secretárias	4%	4%	6%	8%	8%	8%						
	Tanto para as mesas de café, grande e pequena, como para as secretárias, o coeficiente de absorção sonora e a difusão consideraram-se os mesmos pois, os materiais que as constituem são iguais e com a mesma espessura: madeira com cerca de 5 cm de espessura. A única coisa que varia são as suas dimensões. Os valores para o coeficiente de absorção sonora foram adotados da base de dados de coeficientes de absorção sonora da empresa S. O. P. S. E. C.											
Cadeiras	2%	2%	3%	4%	4%	4%						
	Estes valores foram obtidos por extrapolação dos valores das mesas e secretárias pois não foi encontrado nenhum documento que indicasse o coeficiente de absorção sonora para este tipo de cadeira. Embora, as cadeiras também sejam constituídas por madeira, não são consideradas com as mesmas características acústicas que as mesas e secretárias pois, como a espessura do assento e do encosto é muito pequena, cerca de 1 cm, o coeficiente de absorção sonora também será inferior quando comparado com as mesas e secretárias. Foi este o raciocínio que se teve para se efetuar a extrapolação para este componente.											

Tab. 20 – Componentes e as suas características acústicas

A geometria do modelo, os elementos estruturais (pilares) e o mobiliário foram definidos através de pontos e planos, tal como a Fig. 39 demonstra, tendo em conta as plantas, cortes, alçados, disponibilizados pelos Serviços Técnicos e de Manutenção da FEUP. Para cada ponto, tem de se atribuir uma identificação e as respetivas coordenadas (id, x, y, z) e, para cada plano, tem de se atribuir uma identificação, definir o plano com os pontos que o constitui e, dizer qual o coeficiente absorção sonora referente ao plano em questão (id, pontos, coeficiente absorção sonora). No entanto, devido à elevada quantidade de pontos e planos a necessários definir, este processo torna-se moroso. É por este motivo que foram feitas algumas aproximações. Como para o programa, superfícies com dimensão inferior a 20 cm não influenciam os resultados, para se ser mais eficiente, em termos de tempo, optou-se por fazer certas aproximações, ignorando determinados constituintes de mobiliário como:

- Largura das estantes,
- Pernas das mesas e das cadeiras,
- Caixilharia de portas e janelas,
- Entre outros.

```

p;Cadeira 1
o 1413 7-.5 7 .5
o 1414 7-.05 7 .5
n 1415 7-.05 7+.45 .5
t 1416 7-.5 7+.45 .5
o 1417 7-.5 7+.45 .5+.1
s 1418 7-.5 7+.45 .5+.1+.35
  1419 7-.5 7 .5+.1+.35
  1420 7-.5 7 .5+.1
Planos
[1291 Cadeira 1.1 / 1413 1414 1415 1416 / absmes]
[1292 Cadeira 1.2 \ 1413 1414 1415 1416 \ absmes]
[1293 Cadeira 1.3 / 1417 1418 1419 1420 / absmes]
[1294 Cadeira 1.4 \ 1417 1418 1419 1420 \ absmes]

```

Fig. 39 – Exemplo da definição de pontos e de planos no software (excerto)

O aspeto visual com que a modelação fica é o apresentado na Fig. 40. Nesta figura pode se observar a geometria do caso de estudo, alguns dos seus elementos estruturais, e todo o mobiliário presente no caso de estudo que contribui, uns mais do que outros, para tão esperado resultado final.

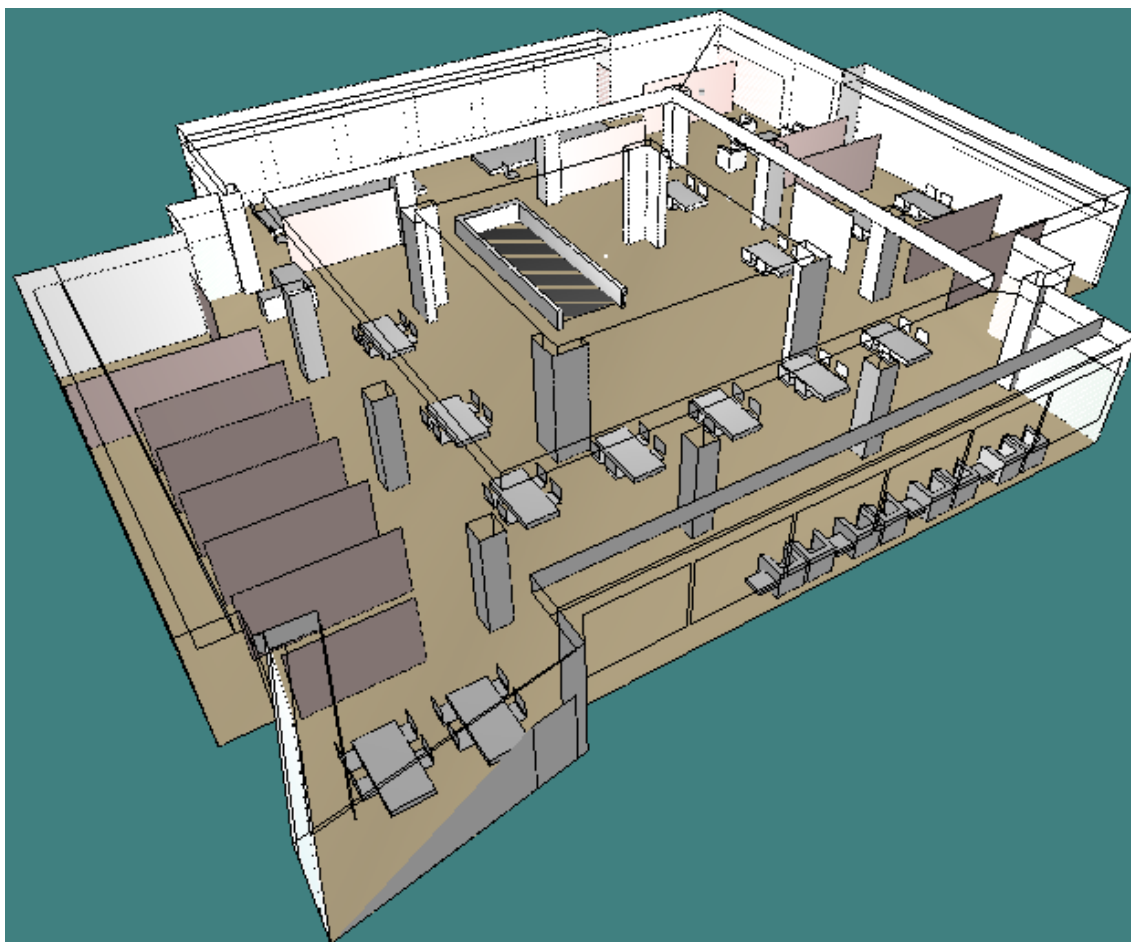


Fig. 40 – Modelação do caso de estudo

O passo seguinte é a definição das fontes sonoras e dos recetores. Para a fonte sonora tem de se definir a sua identificação (nome), posição (x; y; z), direção (ex.: omnidirecional), posição de alcance (x; y; z) e, intensidade do nível de pressão sonora (ex.: 100 dB). Para o recetor, apenas se tem de definir a sua identificação e a sua posição.

Depois de o modelo ficar completo, o passo seguinte é obter os valores dos índices, parâmetros e grandezas que se pretendem. O primeiro dado que se pretende obter é o volume do caso de estudo. É desta forma que se consegue obter o volume do caso de estudo da forma mais rápida e precisa. O volume do caso de estudo obtido é 915 m³.

O segundo dado relevante que se pretende obter neste estudo acústico é o tempo de reverberação. Através da modulação computacional, o valor obtido para este parâmetro é de 1,15 s, Fig. 41. Embora não seja exatamente igual ao obtido através do ensaio, 1,19 s, os valores são muito próximos devendo-se a pequena diferença a pormenores considerados irrelevantes. Por fim, o valor do índice RASTI. Os valores obtidos para este índice nas três posições de recetor são de 89,7, 82,1 e 77,9. Estes valores são apenas para o campo sonoro direto Fig. 42. Tal como o tempo de reverberação obtido pela modelação computacional, o valor obtido para o RASTI pelo modelo está muito próximo dos valores obtidos nas medições. Podemos afirmar que a resposta dada pelo modelo através do índice RASTI é a de que a inteligibilidade da palavra é excelente para o campo sonoro direto, tal como nas medições que foram feitas no local.

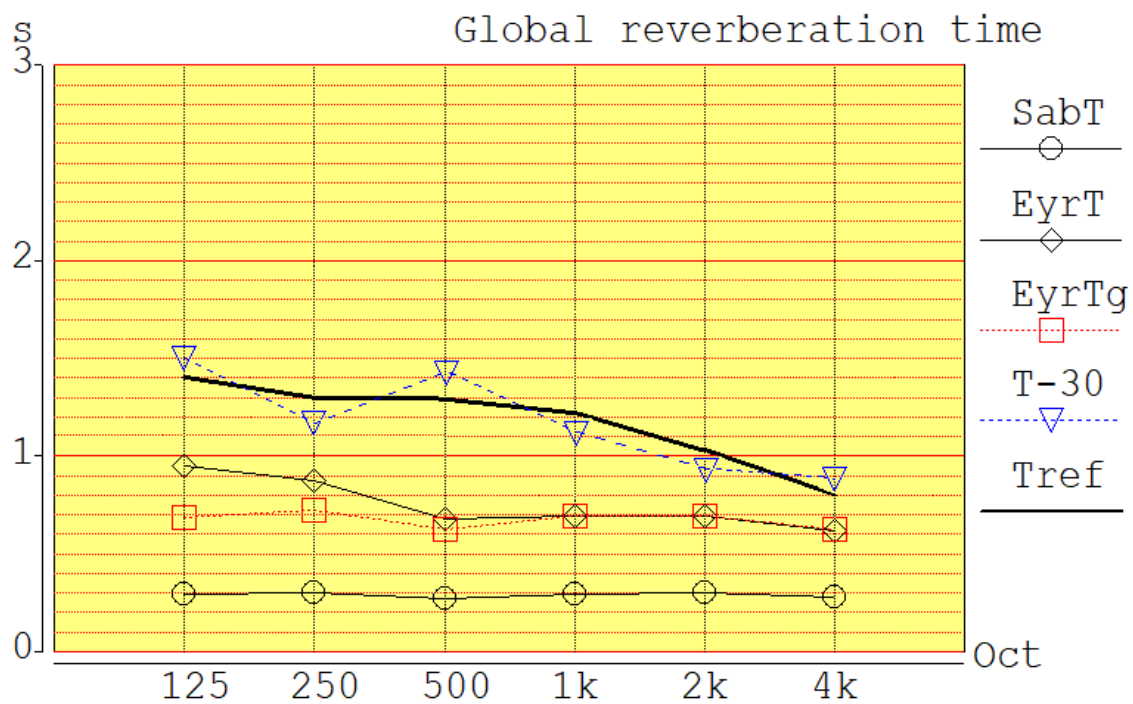


Fig. 41 – Modelo calibrado: tempo de reverberação

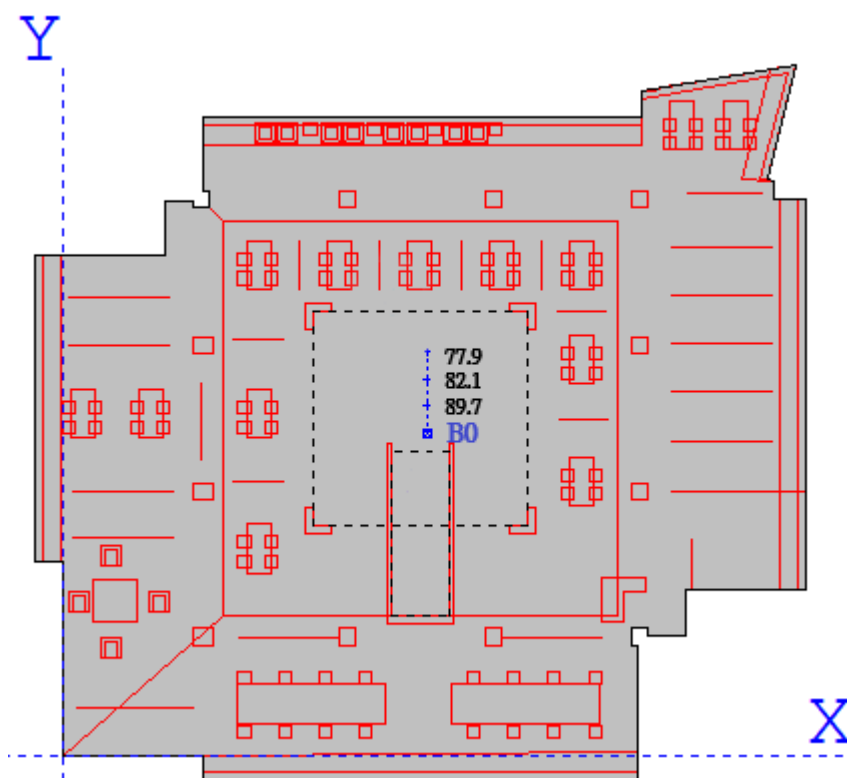


Fig. 42 – Modelo calibrado: RASTI

Após se verificar que os valores do tempo de reverberação e do RASTI no modelo estão muito próximos dos obtidos pelas medições e pelos ensaios, podemos afirmar que o modelo se encontra afinado e pronto para se analisarem as medidas melhoria.

CAPÍTULO 7: PROPOSTA DE MELHORIA

7.1 Proposta de melhoria

Dos quatro parâmetros analisados apenas um, o tempo de reverberação, cumpre o valor ideal. É neste capítulo que serão apresentadas propostas de melhoria de forma a que os restantes parâmetros, a inteligibilidade da palavra (RASTI) e o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço ($L_{Ar, nT}$ e a curva NC), cumpram os valores ideais estipulados.

7.1.1 Atenuador de ruído

Com o intuito de reduzir o ruído proveniente do sistema de ventilação e de ar condicionado, propõem-se a instalação de atenuadores de ruído. Como cada piso tem a sua UTA (Unidade de Tratamento de Ar), propõem-se que os atenuadores sejam instalados em todos os pisos, o mais a montante possível na conduta de admissão de ar.

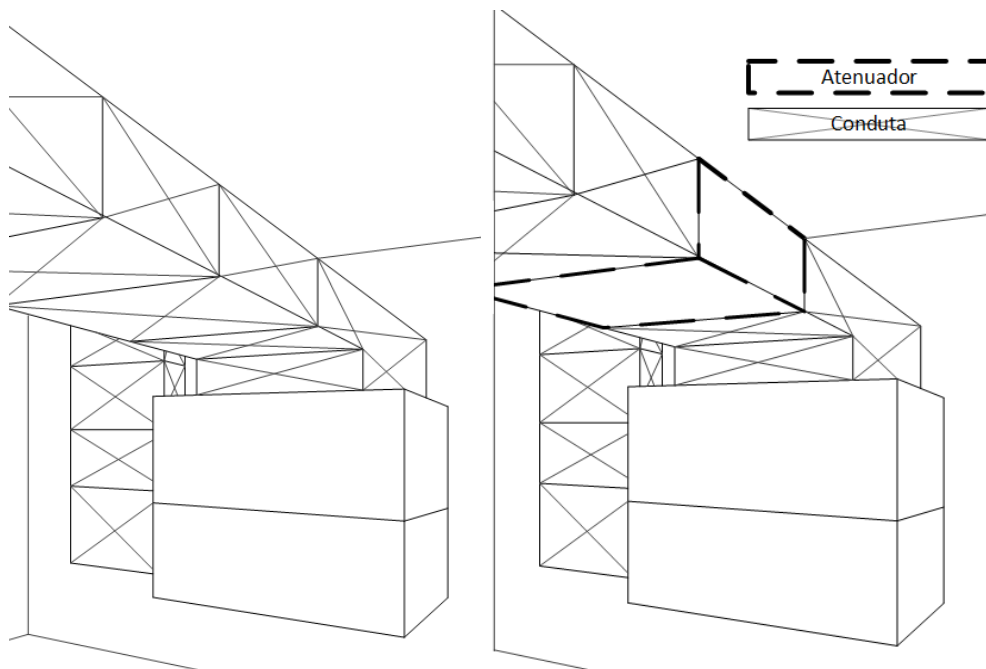


Fig. 43 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: esquerda s/ atenuador, direita c/ atenuador

7.1.1.1 Dimensionamento

Para o dimensionamento de um atenuador de ruído é preciso conhecer várias coisas como o caudal do ar admitido [m^3/h], a velocidade máxima do ar [m/s], o nível de ruído máximo devido à

admissão do ar [dB(A)], a queda máxima de pressão [Pa], as dimensões máximas e mínimas do atenuador [mm], a redução mínima do ruído [dB] para cada banda de frequência, etc. Infelizmente, devido à complexidade e por não ter acesso a alguns dos dados, não será possível dimensionar o atenuador como se deveria. No entanto, com a informação que se tem em posse, é possível fazer uma estimativa do tipo de atenuador que seria ideal instalar.

Com base nas medições ao ruído de equipamentos e comparando com a curva de incomodidade NC-30, podemos observar que, para cada banda de frequência, o atenuador terá de reduzir pelo menos:

Frequência [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Medição [dB]	52,1	42,4	40,2	43,5	43,9	41,2	34,5	19,6
curva NC-30 [dB]	57,0	48,0	41,0	35,0	31,0	29,0	28,0	27,0
L a reduzir [dB]	0,0	0,0	0,0	8,5	12,9	12,2	6,5	0,0

Tab. 20 – Nível de pressão sonora a reduzir, por banda de frequência

Dado que as dimensões da conduta onde se pretende instalar o atenuador são, aproximadamente 1,00x0,50 m², o atenuador escolhido terá de ter em consideração estas dimensões da conduta.

Comprimento [m]	Altura [m]	Largura [m]
		0,70 a 1,00
		Preço
0,50	0,50	232,50 €

Tab. 21 – Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: escolha do atenuador

Para as dimensões do atenuador, o fabricante garante que o atenuador tem a seguinte capacidade de reduzir o ruído da admissão do ar, para cada banda de frequência:

Frequência [Hz]	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Redução [dB]	4	4	4	15	27	22	15	10

Tab. 22 – Nível de pressão sonora que o atenuador é capaz de reduzir, por banda de frequência

Com esta redução do nível de pressão sonora, se só contarmos com o ruído do equipamento de ventilação e ar condicionado, o mesmo toma a curva de incomodidade NC 25 e, se contarmos com o ruído proveniente do exterior assim como o ruído do equipamento de ventilação e de ar condicionado, o mesmo toma a curva de incomodidade NC 30 e $L_{Ar, nT} = 26$ dB.

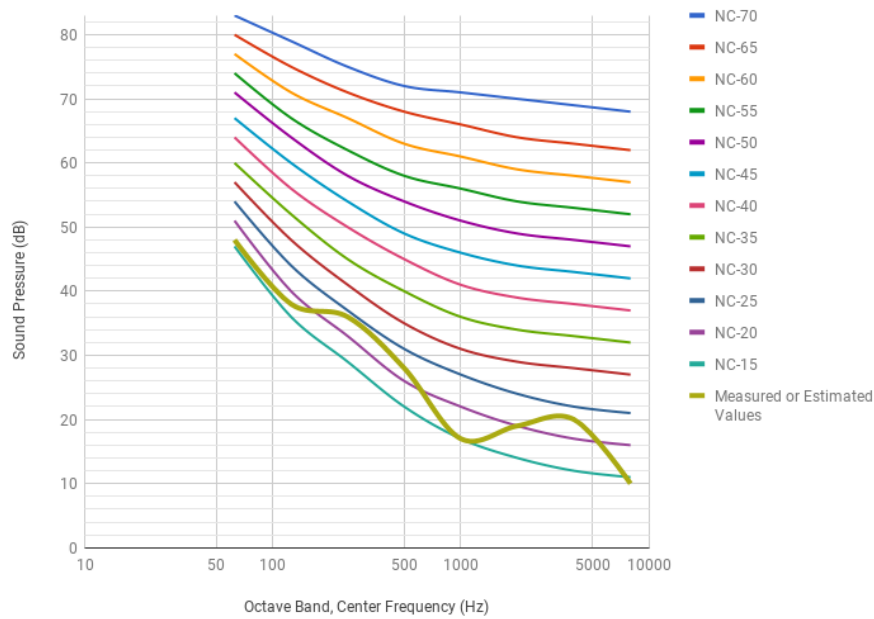


Fig. 44 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: nível de pressão sonora do ruído do equipamento de ventilação e ar condicionado c/ atenuador, por banda de frequência

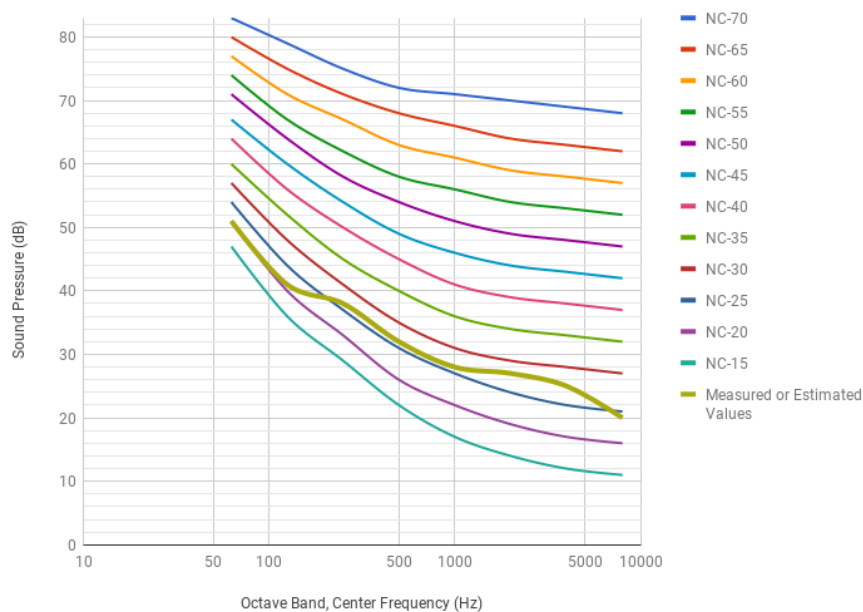


Fig. 45 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: nível de pressão sonora do ruído do equipamento de ventilação e ar condicionado c/ atenuador com os ruídos provenientes do exterior, por banda de frequência

Escolhendo o atenuador com dimensões 1,00x0,50x0,50 m³ como o atenuador a instalar, o mesmo conterá 5 septos, de espessura de 10 cm, espaçados de 8,3 em 8,3 cm. O atenuador escolhido é o XSA 100-100-5 PF/ 1000x500x500.

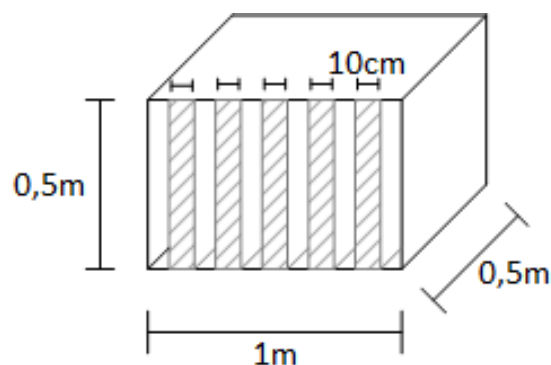


Fig. 46 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: dimensões do atenuador

7.1.1.2 Procedimento

A instalação dos atenuadores de ruído decorrerá num compartimento onde não há teto falso, podendo-se aceder às condutas de ventilação diretamente.



Fig. 47 – Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: condução de admissão de ar

A instalação do atenuador é uma operação rápida e que não deverá de tomar muito tempo. Portanto, prevê-se que com 4h/ H a instalação do atenuador fique concluída.

7.1.2 Membrana acústica

Caso se detete ruído de vibração proveniente das condutas de admissão de ar, após a instalação do atenuador, propõem-se a aplicação de uma membrana acústica em 50% da área da condução, pelas quatro faces exteriores da mesma. A aplicação desta membrana eliminará o ruído provocado pela vibração da condução, tornando o espaço acusticamente mais agradável.

7.1.2.1 Dimensionamento

Como não foi possível o acesso ao traçado das condutas, não é possível saber quantos m² desta membrana terão de ser aplicados.

Caso se verifique necessário aplicar uma membrana acústica propõem-se a Membrana Acústica Danosa M.A.D. 4. Esta membrana tem 4 mm de espessura, e cada rolo tem dimensões de 6,00x1,00 m². O custo desta membrana é de 6,44 €/m².



Fig. 48 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: membrana acústica

7.1.2.2 Procedimento

Para aplicar a membrana acústica terão de ser removidas porções do teto falso. As porções de teto a remover, são as que se encontram imediatamente abaixo da conduta. Sugere-se que seja removido desta forma para não se remover material desnecessariamente.

Do rolo serão cortadas tiras de $30 \times 20 \text{ cm}^2$ e serão aplicadas de 20 em 20 cm em todas as faces exteriores da conduta. Prevê-se que a aplicação desta membrana demore $0,5 \text{ h} / \text{H} / \text{m}^2$.

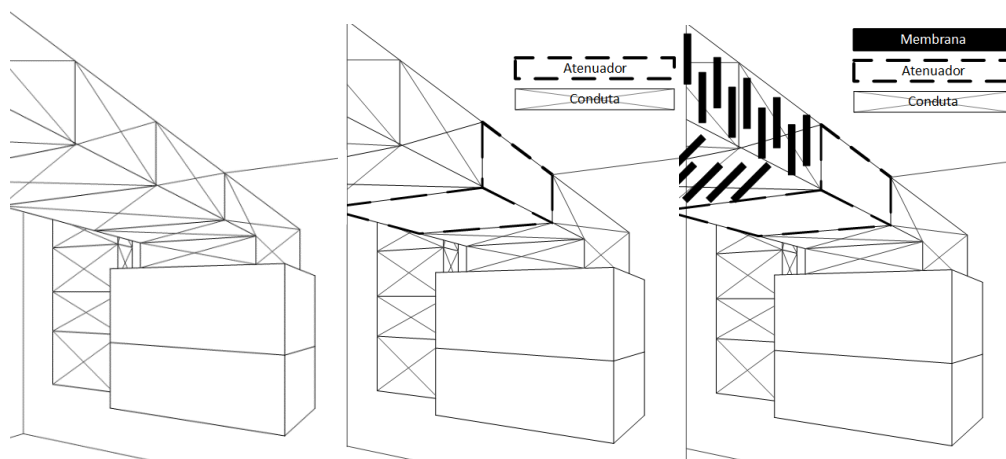


Fig. 49 - Proposta de melhoria - ruído de equipamentos: esquerda s/ atenuador e s/ membrana, centro c/ atenuador s/ membrana, direita c/atenuador e c/ membrana

7.1.3 Biombos

Com o intuito de reduzir o ruído proveniente de conversa, propõe-se a utilização de biombos colocados entre secretárias. Os biombos escolhidos não poderão ser uns quais quer, terão de ser biombos acústicos. Estes biombos acústicos tem a característica de serem muito mais absorventes do que os biombos correntes, permitindo reduzir o ruído proveniente da conversa, no campo sonoro direto, para as secretárias adjacentes.

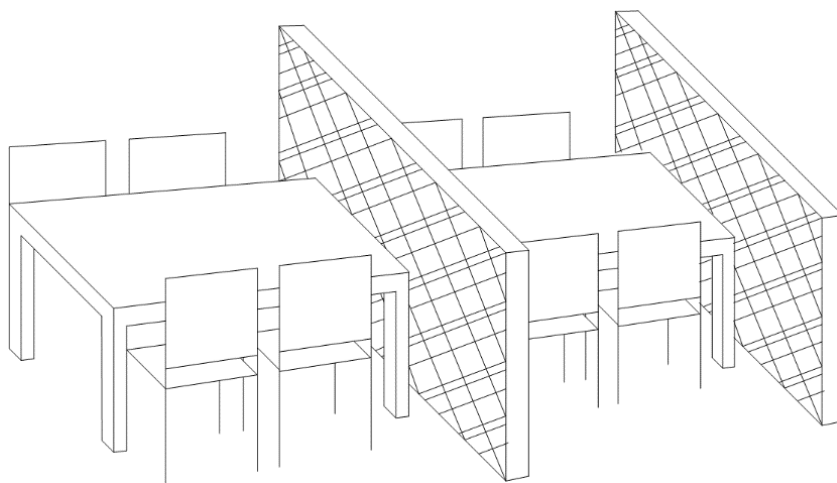


Fig. 50 – Proposta de melhoria – ruído de conversa: biombos entre secretárias

7.1.3.1 Dimensionamento

Os biombos a colocar terão de ser mais longos que o comprimento total da largura da secretária com as cadeiras. Portanto, o comprimento e a altura mínima desejados para os biombos é de 1,6 m e 1,5m, respetivamente.

O biombo proposto é o Stereo Double Sided on a Freestanding Base in clusters 1,799x1,199x0,055. É um biombo cujas dimensões são 1,80x1,50x0,055 e onde as dimensões do painel absorvente são 1,80x1,20x0,055, Tab. 23. O seu coeficiente de absorção sonora, nos dois lados é:

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,3	1,01	1,97	2,38	2,15	2,16

Tab. 23 - Proposta de melhoria – ruído de conversa: coeficiente de absorção sonora dos biombos

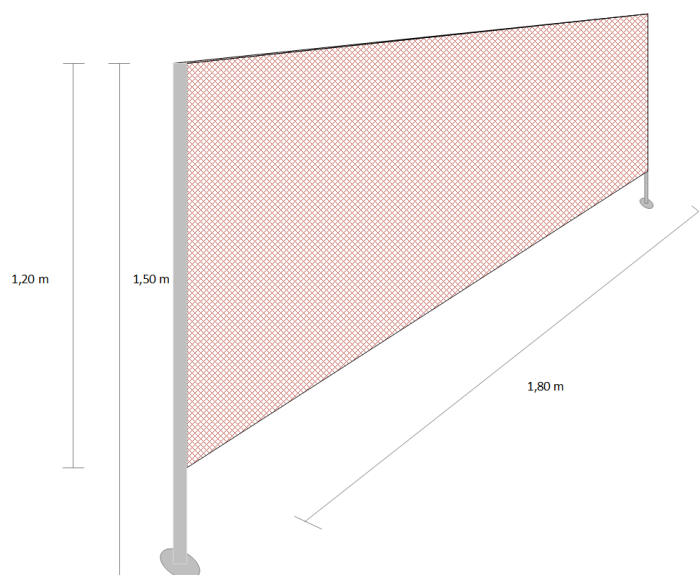


Fig. 51 - Proposta de melhoria – ruído de conversa: dimensões do biombo

Estima-se que um biombo destes tenha um custo de 500 €/ unidade.

Após a instalação dos biombos verifica-se que o índice RASTI não varia. No entanto, o SPL (*sound pressure level* ou nível de pressão sonora) diminui. Quer isto dizer que embora a qualidade da inteligibilidade da palavra se mantenha alta, o nível de pressão sonora é reduzido tornando o ruído proveniente da conversa menos incómodo para utentes que usam as secretárias adjacentes.

Nas figuras seguintes estão representados os índice RASTI e o SPL. Para os dois casos, a fonte sonora, B0, e o recetor (no fim do tracejado) encontram-se no mesmo local. O local a implantar os biombos encontra-se melhor representado na Fig. 54.

Na Fig. 53 o esquema de cores representa o índice RASTI. O tom mais alaranjado tem um índice RASTI mais elevado, entre 80% e 90%, o tom avermelhado tem o índice RASTI entre 65% e 80% e o tom rosado tem um índice RASTI entre 50% e 65%.

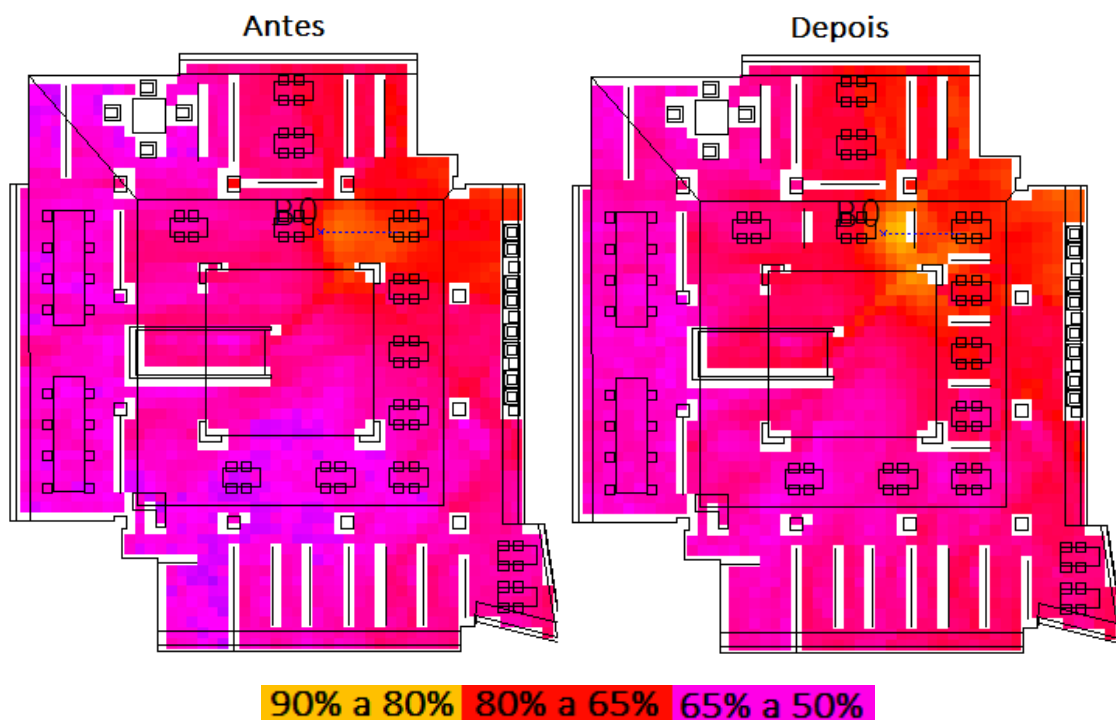


Fig. 52 – Proposta de melhoria – ruído de conversa: RASTI (antes e depois)

Na Fig. 54 o esquema de cores representa o SPL. O tom alaranjado tem um SPL de 70 dB, o tom avermelhado tem um SPL de 65 dB, o tom rosado tem um SPL de 60 dB, o tom lilás tem um SPL de 55 dB.

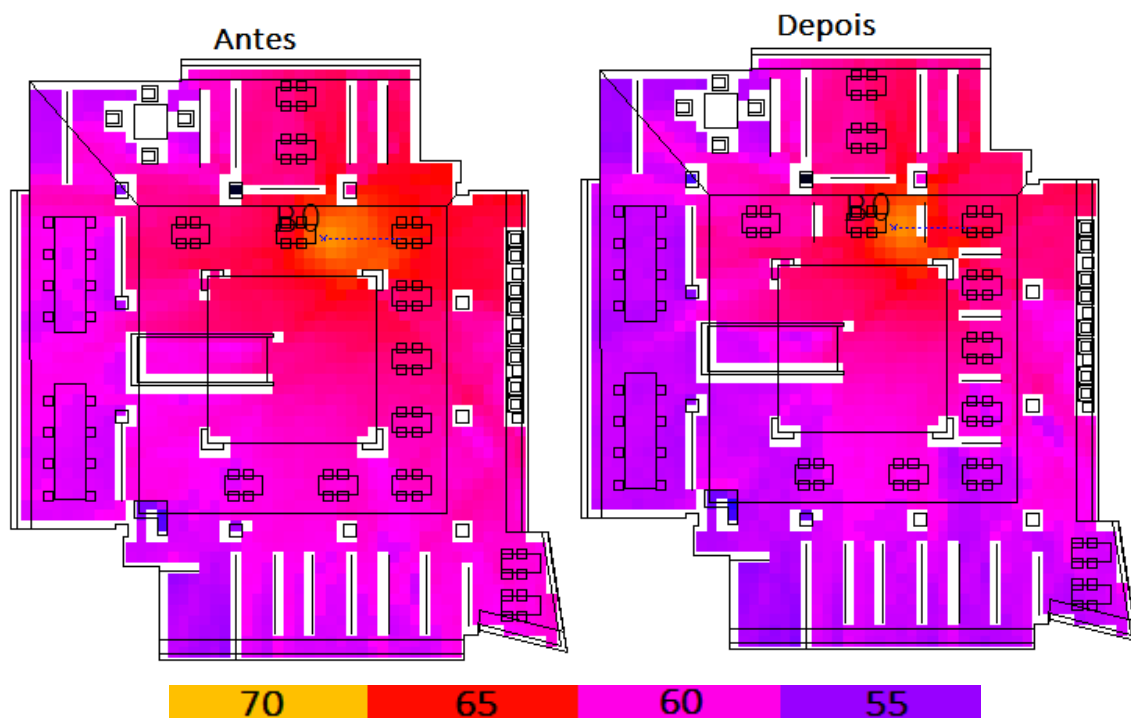


Fig. 53 – Proposta de melhoria – ruído de conversa: SPL (antes e depois)

Conclui-se que a utilização dos biombos, embora não reduza a inteligibilidade da palavra no campo sonoro direto, reduz em 5 dB o nível de pressão sonora. Como tal, a implementação desta medida verifica-se eficaz e confirmada pelo modelo.

7.1.3.2 Procedimento

Tal como já foi referido, propõem-se que os biombos sejam colocados entre secretárias para reduzir o ruído no campo sonoro direto. Não convém que as secretárias não estejam demasiado afastadas entre si caso contrário, os biombos não serão tão eficazes.

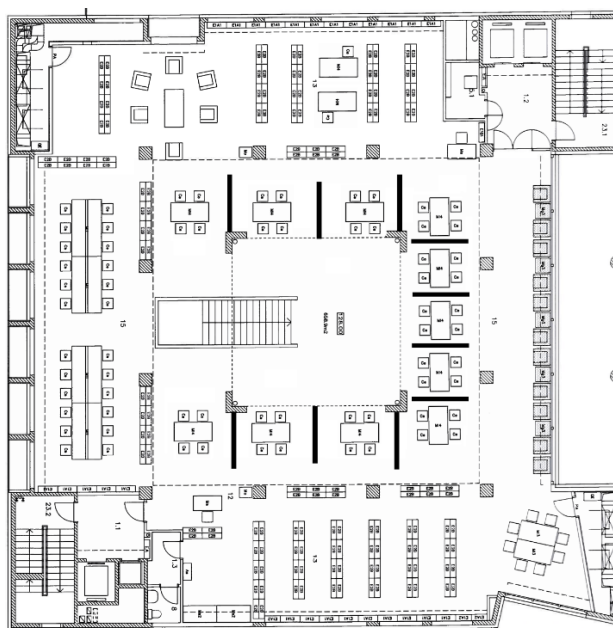


Fig. 54 – Proposta de melhoria – ruído de conversa: disposição dos biombos (■) em planta

Prevê-se que a instalação destes biombos demore 0,33 h/ H/ biombo.

7.1.4 Proteções deslizantes nos pés das cadeiras e manutenção das cadeiras

A colocação e/ ou substituição de proteções deslizantes nos pés das cadeiras é uma solução bastante económica e eficiente para eliminar o ruído de cadeiras ao serem arrastadas. No entanto não poderão ser colocadas umas proteções quaisquer, deverão de ser proteções de plástico e não de borracha pois, o atrito provocado pelo arrastar da cadeira é superior para as proteções de borracha do que para as proteções de plástico provocando, assim um ruído mais intenso.

Para além da colocação destas proteções, propõe-se a manutenção das cadeiras apertando os parafusos das mesmas. É muito por culpa dos parafusos estarem um pouco soltos que os pés metálicos das cadeiras vibram tanto quando as cadeiras são arrastadas, tornando as cadeiras ruidosas.

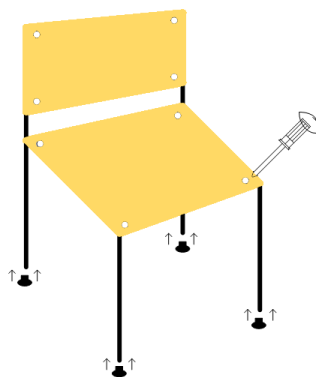


Fig. 55 – Proposta de melhoria – ruído das cadeiras: 1) colocação de proteções deslizantes, 2) apertar parafusos

7.1.4.1 Dimensionamento

Como existem 68 cadeiras, serão necessárias 272 unidades de proteções a colocar nos pés das cadeiras. Propõem-se as FIXA protetores autocolantes de 2 cm de diâmetro. Estas proteções são de plástico – 100% poliéster – o que permitirá o deslizamento da cadeira quando a mesma for arrastada. O custo por cada 20 unidades é de 1 €. Prevê-se que a aplicação destas proteções deslizantes demore 0,5 h/ H/ cadeira.



Fig. 56 - Proposta de melhoria – ruído das cadeiras: proteções deslizantes

7.1.5 Molas para portas

Após se verificarem reclamações sobre o ruído proveniente da zona de elevadores, propõem-se a instalação de uma mola para que a porta, depois de ser aberta, feche automaticamente, isolando, assim, a sala principal da zona de elevadores. Esta pequena medida fará com que o número de reclamações sobre o ruído proveniente da zona de elevadores desça drasticamente.

7.1.5.1 Dimensionamento e procedimento

Visto que as portas não são pesadas uma mola com capacidade máxima até 60 Kg fará, eficazmente, o serviço. Como existem duas portas que dão acesso à zona de elevadores, uma para

o acesso dos utentes e outra de acesso restrito a funcionários, serão necessárias instalar 2 molas. A instalação destas molas deverá ser feita no lado para o qual a porta abre, o lado da zona de elevadores. Prevê-se que a instalação destas molas nas portas demore 0,5 h/ H/ porta.



Fig. 57 – Proposta de melhoria – ruído na zona de elevadores: mola para a porta

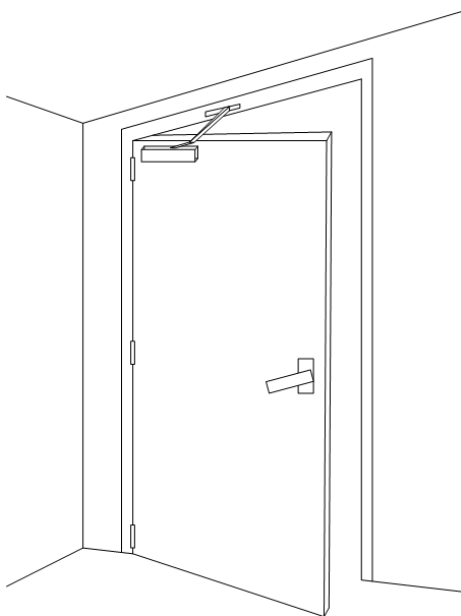


Fig. 58 - Proposta de melhoria – ruído na zona de elevadores: mola para a porta (2)

7.1.6 O que não fazer

7.1.6.1 Alcatifa

Um dos ruídos de que os inquiridos se queixam é o do ruído de mobília a arrastar e o ruído de passos (pessoas a andar). A medida implementada com bastante frequência, para melhorar a experiência dos utentes é substituir a superfície do pavimento, mais propriamente, retirar a alcatifa atual e substituí-la por uma alcatifa mais grossa. No entanto, isto não é uma solução eficaz. O efeito benéfico que uma alcatifa mais grossa proporcionaria era o de isolar melhor o ruído de percussão de maneira a que no piso inferior não se identificassem passos, nem o arrastar de mobília, entre outros. Atualmente, como o ruído de percussão não é um problema para os utentes, nem foram detetadas anomalias para este tipo de ruído quando foram realizados os ensaios e as medições. Para além disto, quando se altera no modelo computacional a superfície do pavimento,

ou seja, introduz-se as características de uma alcatifa grossa, nem o tempo de reverberação nem o RASTI sofrem alterações. Realça-se que é desnecessário mudar, propositadamente, a alcatifa.

7.1.6.2 Envidraçados

É certo que com a diminuição do ruído do equipamento de ventilação e de ar condicionado, o ruído proveniente do exterior será mais perceptível. No entanto, os níveis de conforto são respeitados. Como se pode ver na Fig. 59 e Fig. 60 a curva limite, a curva NC 30, é respeitada, tanto quando o equipamento de ventilação e de ar condicionado com atenuador está desligado como quando está ligado. Portanto não se verifica necessário a instalação de envidraçados mais isolantes (exemplo: janelas duplas).

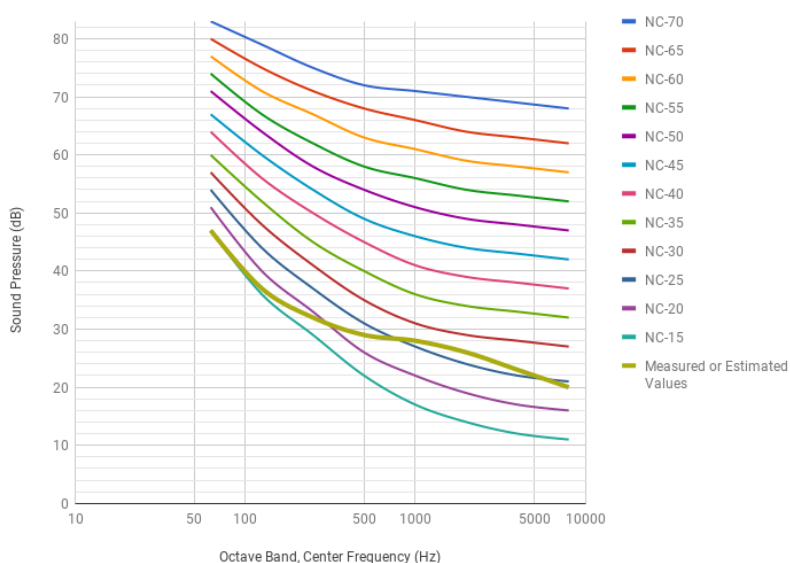


Fig. 59 – Curva de incomodidade NC, equipamento de ventilação e de ar condicionado desligado

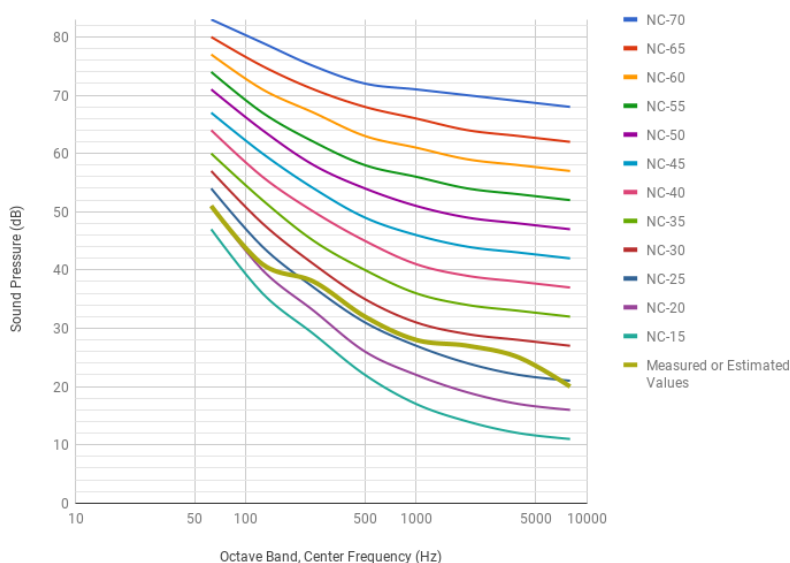


Fig. 60 – Curva de incomodidade NC, equipamento de ventilação e de ar condicionado ligado com atenuador

7.1.7 Resumo das medidas a aplicar

A Tab. 24 apresenta os produtos a aplicar assim como as quantidades, o seu custo, a marca, o vendedor e, em alguns casos, a referência.

Referência	Vendedor	Marca	Produto	Quantidade	Preço
Desconhecida	Contimetra	TROX	XSA 100-100-5 PF / 1000x500x500	1 uni	232,50 €
610003	Danosa	Danosa	Membrana Acústica Danosa M.A.D4	Desconhecida	Desconhecida
Desconhecida	Texaa	Texaa	Stereo Double Sided on a Freestanding Base in Clusters 1,799x1,199x0,055	10 uni	5 000,00 €
24155600	IKEA	IKEA	FIXA protetores autocolantes de 2 cm de diâmetro	280 uni	280,00 €
3536704	AKI	Yale	Mola porta	2 uni	24,99 €
				Total	5 537,49 €

Tab. 24 – Produtos a aplicar, quantidades e preços

De salientar que o valor monetário indicado na Tab. 24 refere-se apenas ao custo do produto e não tem em conta o custo da mão de obra. E que tal como já foi referido, como não se sabem as quantidades necessárias a aplicar de Membrana Acústica Danosa M.A.D4, também não se consegue obter o custo da mesma.

A Tab. 25 apresenta os produtos a aplicar e em que tipo de ruído estes produtos terão influência.

Produto	Tipo de ruído
XSA 100-100-5 PF / 1000x500x500	Ruído de equipamento de ventilação e ar condicionado
Membrana Acústica Danosa M.A.D4	Ruído de equipamento de ventilação e ar condicionado
Stereo Double Sided on a Freestanding Base in Clusters 1,799x1,199x0,055	Ruído proveniente da conversa
FIXA protetores autocolantes de 2 cm de diâmetro	Ruído proveniente do arrastar a mobília
Mola porta	Ruído proveniente da zona de elevadores

Tab. 25 – Produtos a aplicar para o tipo de ruído

De relembrar que estas medidas são a pensar unicamente no 1º piso pois foi o único piso onde foram realizados as medições e os ensaios. Embora a maior parte das medidas sugeridas possa ser aplicada nos restantes pisos (exemplo: proteções deslizantes, mola na porta), o efeito da aplicação/ instalação das mesmas não foi estudado e por isso, os ganhos poderão não ser os mesmos.

CAPÍTULO 8: CONCLUSÃO

8.1 Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia que permitisse estudar a patologia acústica de uma biblioteca e, posteriormente, apresentar medidas de melhoria. Decidiu-se definir a Biblioteca da FEUP como caso de estudo.

No capítulo 3 desenvolveu-se um inquérito através da plataforma Formulários Google que obteve um total de 389 respostas. O inquérito visava identificar o tipo de utente e a frequência com que detetam um tipo de ruído. Depois de feita a análise descritiva e estatística conclui-se que, da amostra de 315 pessoas válidas a responder ao inquérito, são os inquiridos do sexo feminino, os inquiridos mais antigos na FEUP e os que costumam frequentar o 4º piso, os utentes que detetam com maior frequência a ocorrência de ruídos no caso de estudo. Também se conclui que os ruídos que mais se detetam com maior frequência são o ruído proveniente da conversa e o ruído dos equipamentos de ventilação e de ar condicionado. Para além disto, as melhorias mais sugeridas pelos utentes que fariam com que os mesmos frequentassem a Biblioteca da FEUP com maior regularidade não tinham tanto a ver com a diminuição de um tipo específico de ruído ou um conjunto de ruídos, mas sim, com a implementação de outro tipo de medidas como a restrição do acesso de alunos externos, maior controlo e mais lugares.

No capítulo 4 apresentou-se o texto legislativo que se quer respeitar, as normas seguidas na realização das medições e dos ensaios, os valores ideais dos parâmetros acústicos analisados que se pretende fazer sentir no caso de estudo e, por fim, os instrumentos que foram usados para a realização das medições e dos ensaios.

No capítulo 5 apresentaram-se os resultados das medições e dos ensaios, assim como sob que condições é que os mesmos foram realizados. Do ensaio para o tempo de reverberação obtém-se um valor de 1,19 s, valor que respeita o estipulado como valor ideal. Das restantes medições verifica-se que nenhuma respeita os valores estipulados como os valores ideais. Para o índice RASTI obtém-se uma inteligibilidade da palavra boa no campo próximo muito elevada a justificar a reclamação sobre o incómodo de conversa. Para a curva de incomodidade NC verificou-se que o ruído de equipamento tomava a curva de incomodidade NC 45, bem acima da curva NC 30 desejada. Finalmente, o nível de pressão sonora de equipamentos de serviço obtido foi de 41,2 dB(A) superior aos 30 dB(A) estipulados como condição máxima ideal a respeitar.

No capítulo 6 desenvolveu-se um modelo computacional do 1º piso do caso de estudo a partir de um software bastante reconhecido na área de engenharia acústica. Depois de se calibrar o modelo através da introdução dos coeficientes de absorção sonora e das difusões das superfícies e dos materiais presentes no caso de estudo e da confirmação dada pelos parâmetros acústicos, tempo de reverberação e RASTI, este modelo encontrou-se pronto para que fossem introduzidas medidas que pudessem melhorar a experiência dos utentes.

No capítulo 7 propõem-se medidas de melhoria que, para além de servirem para que os valores ideais sejam cumpridos, também tiveram em conta outros ruídos identificados pelos inquiridos. As medidas sugeridas que visam respeitar os valores ideais estipulados para os parâmetros

acústicos, foram estudadas usando o modelo computacional, anteriormente, desenvolvido para este feito. As restantes medidas, tem a particularidade de serem muito mais baratas, ocupando apenas 5% do custo total das melhorias propostas e de serem de muito fácil implementação.

Respondendo à pergunta levantada no início desta dissertação “será possível alterar as condições acústicas de uma biblioteca para melhorar a experiência dos seus utentes?”, pode-se afirmar, sem dúvida alguma, que sim. Por muito subtil que essa alteração possa ser, como o simples apertar dos parafusos das cadeiras para que elas não vibrem tanto quando são arrastadas, medida sem qualquer custo diretamente associado, essa alteração contribuirá para uma experiência positiva dos utentes.

8.2 Propostas de desenvolvimento futuro

Embora este trabalho seja referente a uma situação bastante prática e particular como a acústica da Biblioteca da FEUP, deveriam ser efetuados mais estudos aprofundados, em diversas frentes, de maneira a que, após a implementação das melhorias propostas pelos mesmos, os utentes da Biblioteca da FEUP possam usufruir da melhor experiência possível.

Propõem-se os seguintes estudos na Biblioteca da FEUP:

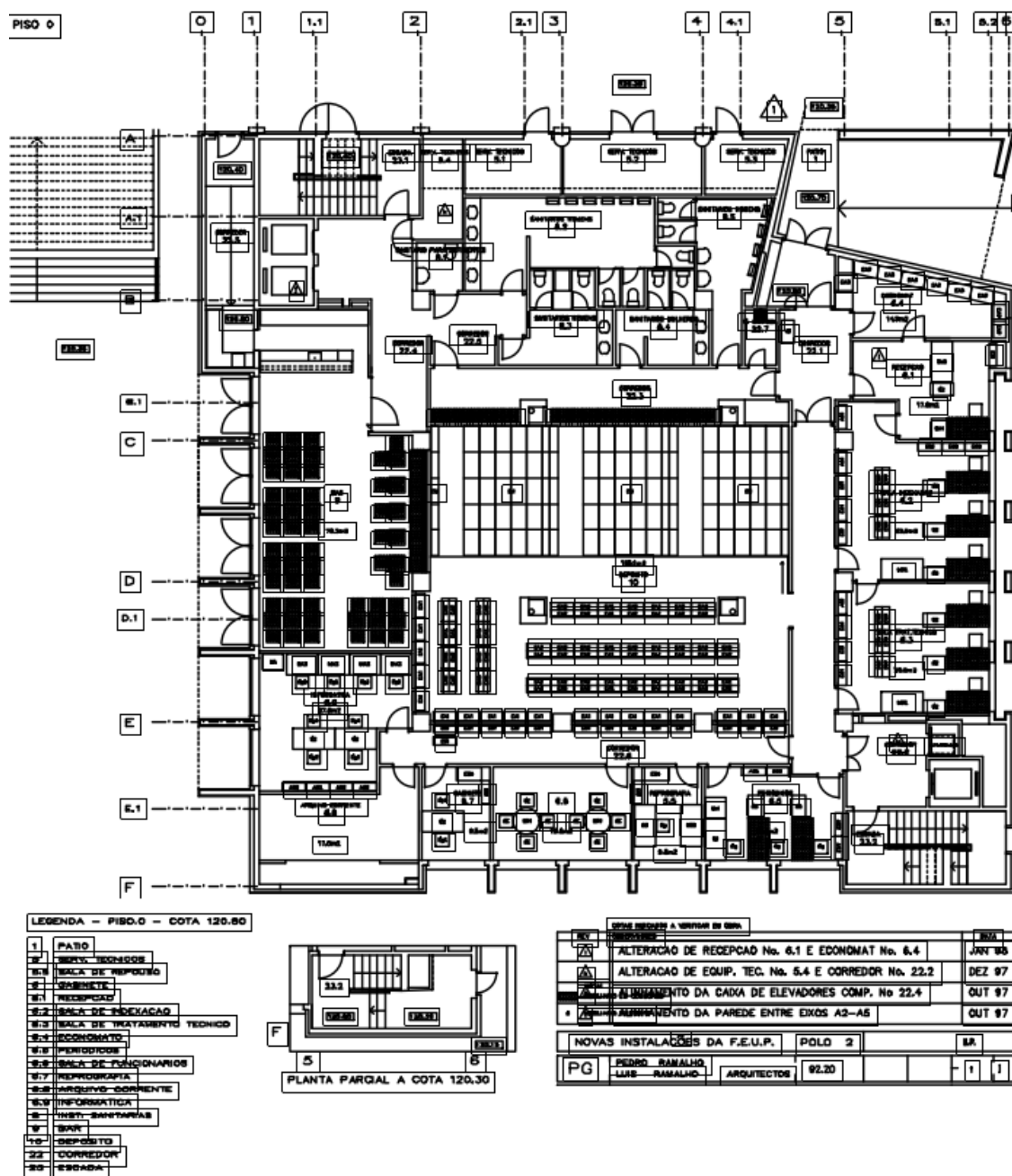
- Análise do ruído proveniente da iluminação;
- Desenvolvimento de medidas para tornar as estantes bons isolantes e absorventes de ruído.

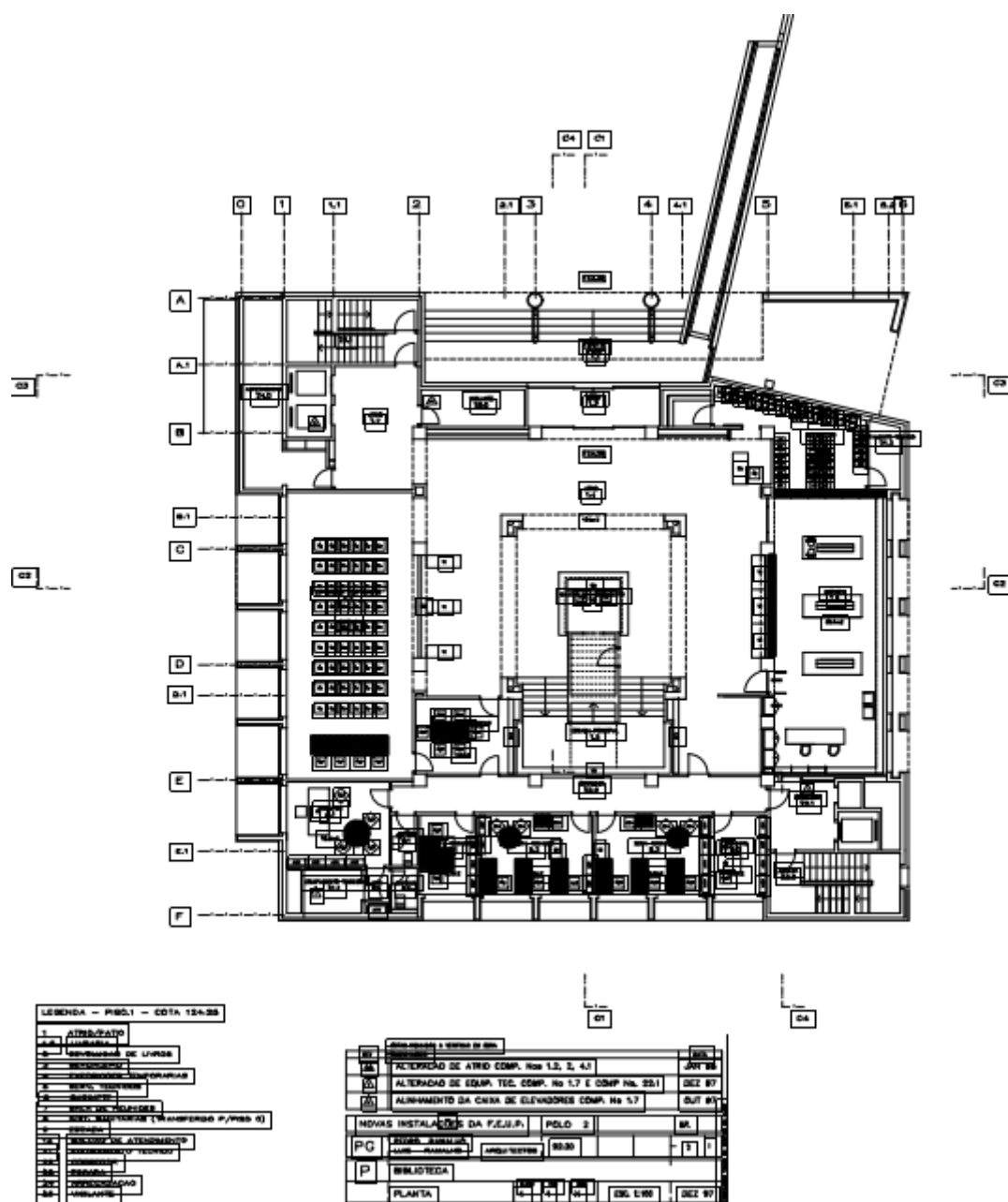
Referências Bibliográficas

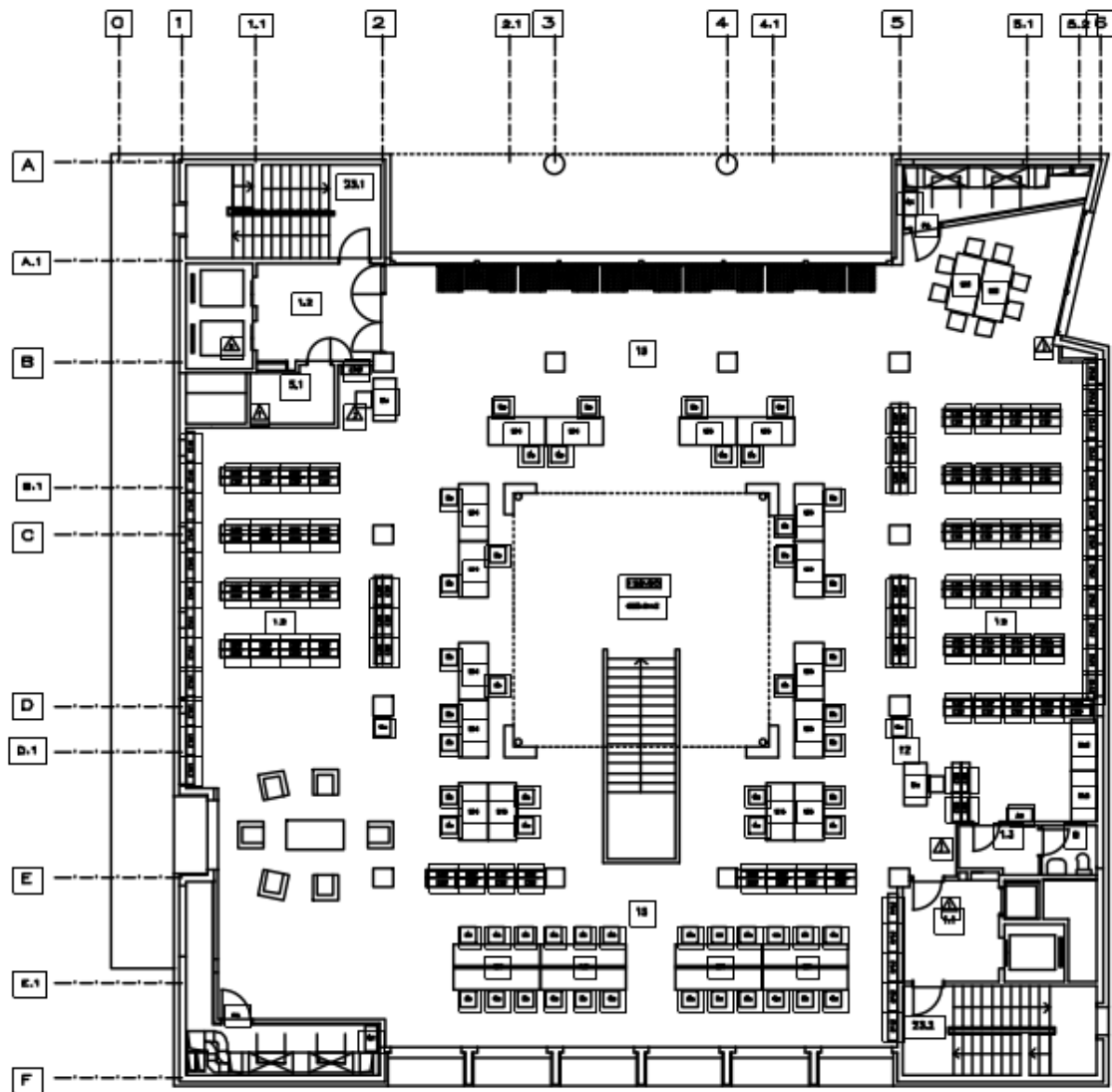
- [1] Charles M. Salter, P.E. *Acoustic for Libraries*. 2002
- [2] António P. O. Carvalho, João F. O. Maganinho. *Aplicação de método multi-critério para avaliação acústica de bibliotecas públicas*. 2009
- [3] João F. O. Maganinho. *Aplicação da metodologia multi-critério à qualidade acústica de bibliotecas públicas*. 2009
- [4] Thomas R. Horrall, BBN, Cambridge, M.A. Torben Jacobsen, Bruel & Kjaer, Denmark. *RASTI measurments*.
- [5] Direção-Geral do livro, dos arquivos e das bibliotecas. *Recomendações – Condicionamento Acústico*. 2007
- [6] Ros Lambert-Porter. *Designing Libraries & Learning Centres for Good Acoustics*.
- [7] Maria da Conceição Ferreira Messias. *A Biblioteca Pública como espaço de interação social e cultural*. 2012
- [8] Ângela Salgueiro Pereira. *Bibliotecas públicas, resiliência organizacional e evolução conceitual*. 2012
- [9] IFLA e UNESCO. *Manifesto da IFLA e UNESCO sobre bibliotecas públicas 1994*. 1994
- [10] Leo L. Beranek, István L. Vér. *Noise and vibration control engineering: principles and applications*. 1992
- [11] Diogo Mateus. *Acústica de Edifícios e Controlo de Ruídos*. 2008
- [12] Pedro Filipe Jesus Moreira. *Acústica de infantários – caso de estudo: Associação Infantário e Jardim de Infância Carolina Michaëlis*. 2017
- [13] António P. O. Carvalho. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. 2018
- [14] *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*. 2008
- [15] https://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html. Acedido a 19/06/2019
- [16] NP EN ISO 16032. 2009
- [17] Decreto Legislativo Regional n.º 22/83/A. 1983
- [18] DL 251/87, Regulamento Geral sobre o Ruído, Diário da República. 1987
- [19] ISO 9921:2003 Ergonomics – Assessment of speech communication. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 2003
- [20] Peter d'António, Trevor John Cox. *AES information document for room acoustics and sound reinforcement systems - Characterization and measurement of surface scattering uniformity*. 2001
- [21] Peter d'António, Trevor John Cox. *Technical Bulletin on the Application of Diffusion in Critical Listening Rooms- Theory, Design and Application*. 2003
- [22] Jens Holger Rindel. *The Use of Computer Modeling in Room Acoustics*. 2001
- [23] David Elorza. *Room acoustics modeling using the ray-tracing method: implementation and evaluation*. 2005
- [24] J.S. Bradley, G. Soulodre. *The acoustics of concert hall*. NRCC-43994. 1997
- [25] <https://www.cardapio.pt/bibliotecas/dir/d/porto/>. Acedido a 10/05/2019.

- [26] L.C.A. Pereira, N.S. Soeiro, G.V. Melo. *Análise acústica de um auditório pelo método da acústica de raios: uma comparação entre os softwares Raynoise e Odeon*. 2011
- [27] LMS International. *RAYNOISE, revision 3.1, users manual*.
- [28] <https://biblioteca.fe.up.pt/pt-pt/biblioteca.html>. Acedido a 23/06/2019.
- [29] Mostafa Refat Ismail, David J. Oldham. *Computer modelling of urban noise propagation*. 2003

ANEXOS







LEGENDA – PISO.2 – COTA 125.00

1	ATRIUM
2	SERVIÇOS TÉCNICOS
3	ATENDIMENTO
4	ÁREA DE RESERVAS
5	ÁREA DE LEITURA
6	ESCALADA

OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO DE ÁREA				DATA	
1	ALINHAMENTO DE COMP. N.º 1, 3, 5, 7, 8			JUN 88	
2	ALINHAMENTO DE COMP. N.º 5, 1 E COMP. N.º 1, 1			DEZ 87	
3	ALINHAMENTO DA CAIXA DE ELEVADORES COMP. N.º 1, 2			OUT 87	
NOVAS INSTALAÇÕES DA F.E.U.P.				POLO 2	BR
PG	FECHAMENTO DE ALINHAMENTO	90.00			
P	INSTALAÇÃO				
PLANTA	4	2	X	ESC 1:50	ABR 88

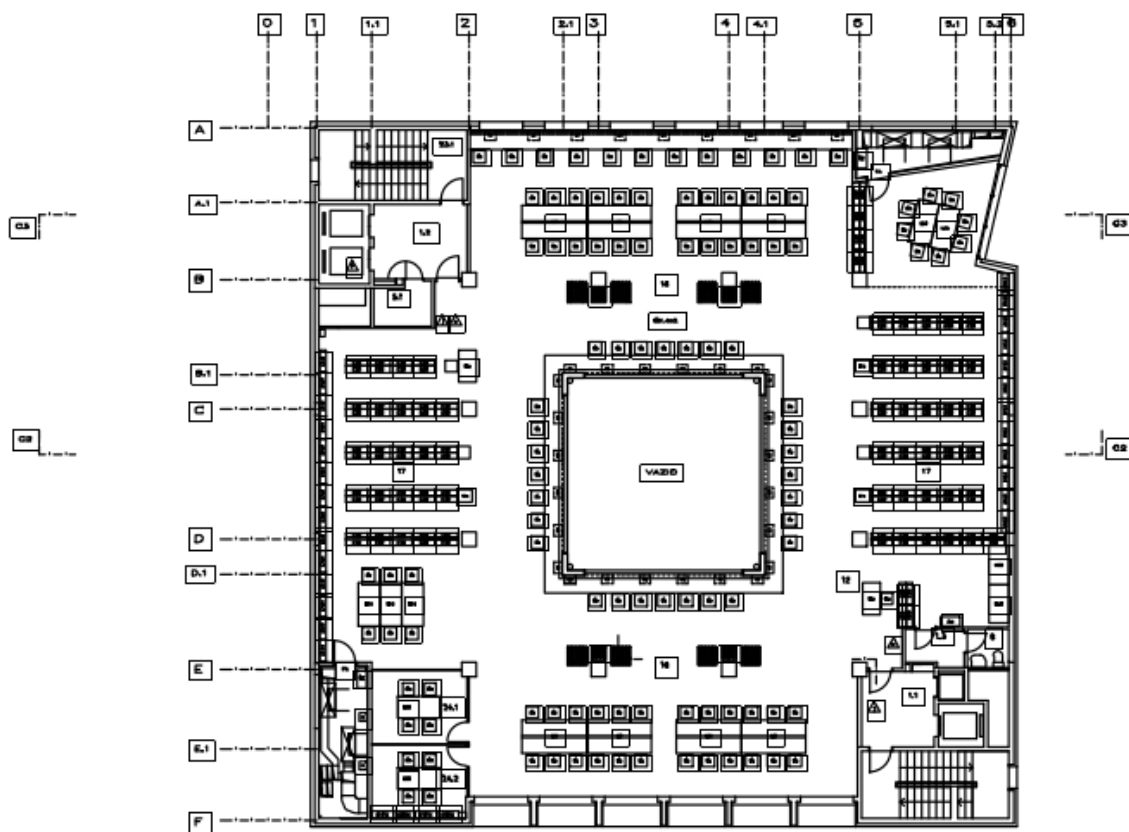
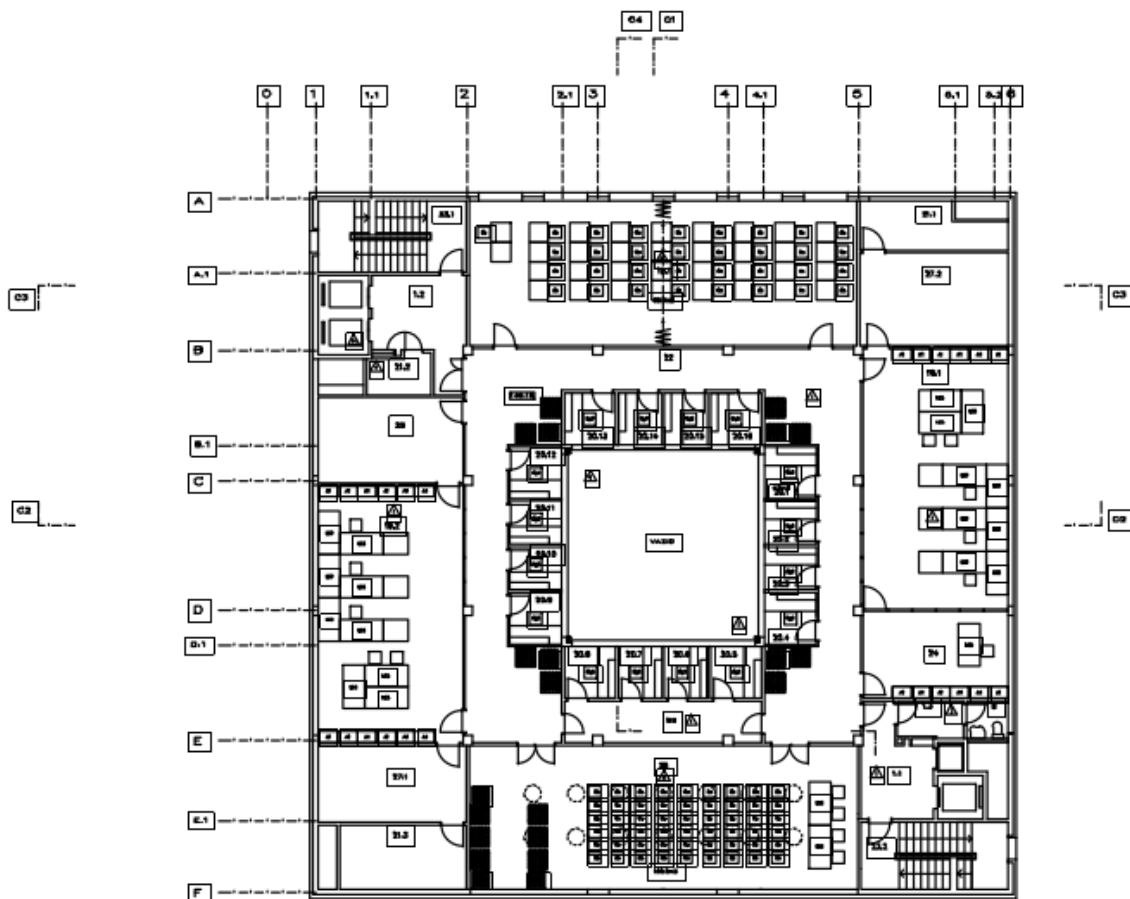


FIG 4

LEGENDA - FIBOS.3/4 - COTAS 131.75/135.59

1	ATUO
2	INSS SANITARIAS
12	ATENDIMENTO
13	PLANO DE LANCIA
17	AREA DE INSTANT
24	REINTE
24	GABINETES

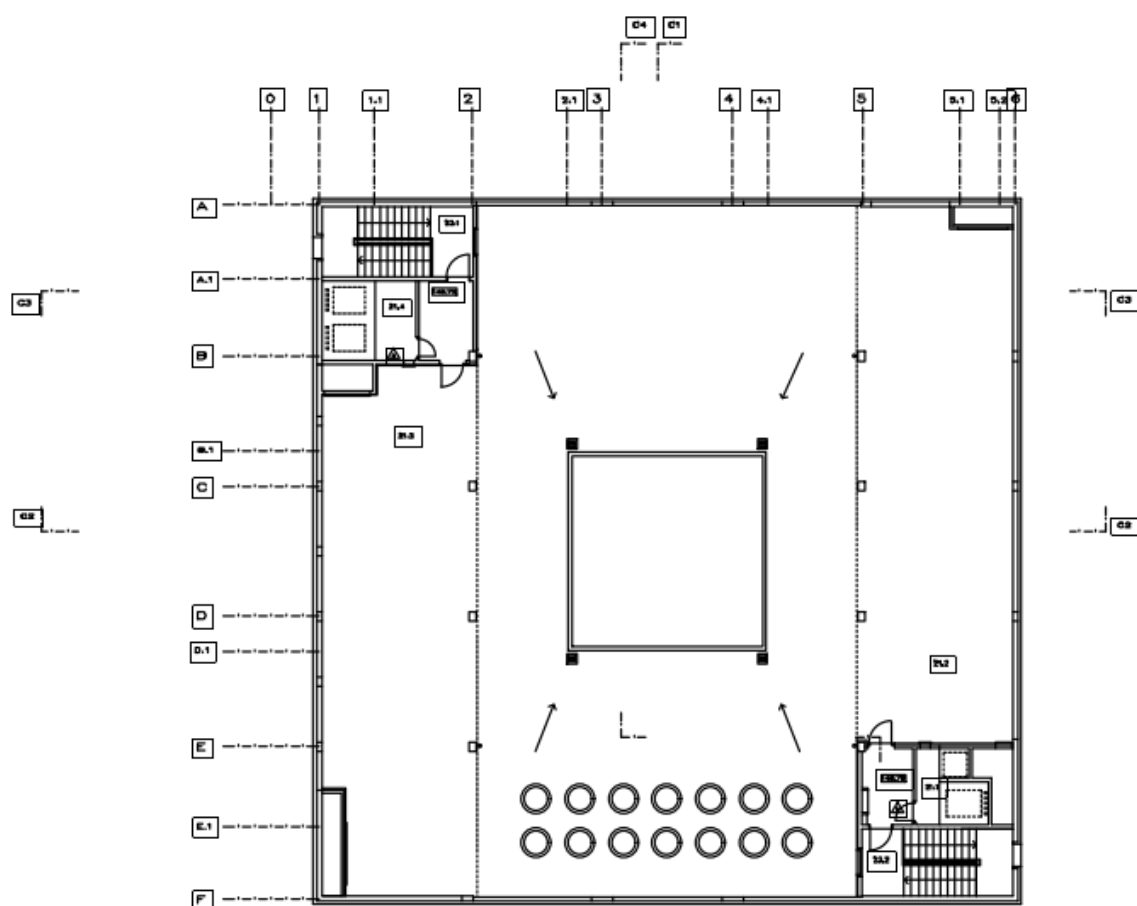
[illegible]



LEGENDA - PISO.7 - COTA 148,15

1	ATRIO
2	INSETO SANITARIAS
3	ESCALA DE TENDRECH
4	ESCALA
5	REPERIARADOS
6	COMPANHEIRO TECNICO
7	CONCEPCION
8	ENCUENTRO
9	CONCEPCION
10	ENCUENTRO
11	ENCUENTRO
12	ENCUENTRO
13	ENCUENTRO
14	ENCUENTRO
15	ENCUENTRO
16	ENCUENTRO
17	ENCUENTRO
18	ENCUENTRO
19	ENCUENTRO
20	ENCUENTRO
21	ENCUENTRO
22	ENCUENTRO
23	ENCUENTRO
24	ENCUENTRO
25	ENCUENTRO
26	ENCUENTRO
27	ENCUENTRO
28	ENCUENTRO
29	ENCUENTRO
30	ENCUENTRO
31	ENCUENTRO
32	ENCUENTRO
33	ENCUENTRO
34	ENCUENTRO
35	ENCUENTRO
36	ENCUENTRO
37	ENCUENTRO
38	ENCUENTRO
39	ENCUENTRO
40	ENCUENTRO
41	ENCUENTRO
42	ENCUENTRO
43	ENCUENTRO
44	ENCUENTRO
45	ENCUENTRO
46	ENCUENTRO
47	ENCUENTRO
48	ENCUENTRO
49	ENCUENTRO
50	ENCUENTRO
51	ENCUENTRO
52	ENCUENTRO
53	ENCUENTRO
54	ENCUENTRO
55	ENCUENTRO
56	ENCUENTRO
57	ENCUENTRO
58	ENCUENTRO
59	ENCUENTRO
60	ENCUENTRO
61	ENCUENTRO
62	ENCUENTRO
63	ENCUENTRO
64	ENCUENTRO
65	ENCUENTRO
66	ENCUENTRO
67	ENCUENTRO
68	ENCUENTRO
69	ENCUENTRO
70	ENCUENTRO
71	ENCUENTRO
72	ENCUENTRO
73	ENCUENTRO
74	ENCUENTRO
75	ENCUENTRO
76	ENCUENTRO
77	ENCUENTRO
78	ENCUENTRO
79	ENCUENTRO
80	ENCUENTRO
81	ENCUENTRO
82	ENCUENTRO
83	ENCUENTRO
84	ENCUENTRO
85	ENCUENTRO
86	ENCUENTRO
87	ENCUENTRO
88	ENCUENTRO
89	ENCUENTRO
90	ENCUENTRO
91	ENCUENTRO
92	ENCUENTRO
93	ENCUENTRO
94	ENCUENTRO
95	ENCUENTRO
96	ENCUENTRO
97	ENCUENTRO
98	ENCUENTRO
99	ENCUENTRO
100	ENCUENTRO

[illegible]



LEGENDA – FREQ. 5 – DATA 14.8.75

SI – EQUIPAMENTO TÉCNICO
SS – SONHO

NOVAS INSTALAÇÕES DA F.E.U.P.	POLO 2	SL
PG	SEDE - BIBLIOTECA	9.20
P	BIBLIOTECA	9.20
PLANTA	ESC. 1:200	NOV 99