



REABILITAÇÃO ACÚSTICA EM CANTINAS ESCOLARES

CASO DE ESTUDO: CANTINA DA FEUP

Diogo Filipe Carvalho Ribeiro

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

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

Janeiro

2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL

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 desde que seja mencionado o Autor e feita a referência a Dissertação para Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2016/2017 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

As opiniões e informações incluídas neste documento apresentam o ponto de vista do referido Autor, não tendo o Editor qualquer responsabilidade em relação a erros ou omissões que possam existir.

À minha família e amigos,

“Fear kills more dreams than failure ever will.”

“Dare to dream. Live with passion.”

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram para a elaboração do presente trabalho, nomeadamente, ao Professor António Oliveira de Carvalho, pela oportunidade e pela orientação, ao Engenheiro António Eduardo Costa, pela sua contribuição na realização das medições efetuadas na cantina e a todos os que me facultaram informações e, de alguma forma, contribuíram para a sua realização.

Gostaria de agradecer principalmente aos meus pais, pela possibilidade de concluir a minha formatura e por toda a ajuda e apoio incondicionais que sempre demonstraram, acreditando em mim e nas minhas capacidades.

Gostaria de agradecer aos meus avós maternos, pelo apoio e pelo exemplo de vida que sempre serão para mim.

Gostaria de agradecer à minha irmã.

Gostaria de agradecer aos meus amigos, pela amizade, apoio e pelas boas memórias que levo destes anos.

Aos MEUS, muito obrigado!

RESUMO

Ao longo dos tempos os espaços de restauração tornaram-se locais de convívio por excelência para a sociedade. Os utilizadores procuram em locais como cafés, bares, restaurantes, etc., usufruir de uma boa alimentação, mas também de um espaço com um ambiente que permita um bom convívio.

Estes espaços devem então garantir, entre outras coisas, que o seu ambiente sonoro seja calmo e pacífico. O ideal seria, por um lado, boa compreensão das palavras durante uma conversação, e por outro, privacidade na conversa.

Estes dois principais aspetos (compreensão e privacidade) são fortemente alterados pelo ruído corrente nestes estabelecimentos que é gerado sobretudo pela elevada densidade de utilizadores (e utensílios usados). Ou seja, a existência de várias fontes sonoras, emitindo sons de frequências distintas, simultaneamente, cria um ruído de fundo, que interfere com a inteligibilidade da palavra e dificulta transmissão da mensagem; podendo mesmo ser prejudicial à saúde dos utilizadores e funcionários.

Surge então a necessidade do conforto acústico, que visa facilitar a interação dos utilizadores através da palavra. Para isso há diversos materiais e técnicas de construção para controlar/reduzir esta mistura de sons que serão aprofundados no presente trabalho.

Primeiramente serão introduzidos os conceitos e definições que servirão de suporte aos capítulos seguintes. Também serão abordados os pormenores relativos à acústica de refeitórios e de restaurantes em geral, sendo mencionados casos de reabilitação acústica de casos deste género, feitos a nível mundial, para posterior comparação aquando da análise do presente caso de estudo: a cantina da FEUP.

Este espaço recebe, quase diariamente, centenas de estudantes universitários que aqui se deslocam para almoçar, sendo baste expectável a existência do Efeito Lombard.

Este trabalho surge no seguimento de uma outra dissertação de mestrado feita em 2012 (Acústica de Restaurantes e Refeitórios, Caso de Estudo – A Cantina da FEUP de Pedro Ferreira da Silva), em que foram analisados os níveis de pressão sonora do ruído de fundo, tempo de reverberação, RASTI e isolamento sonoro da fachada a ruídos de condução aérea, e comparados com os valores regulamentares do RRAE. Entretanto o edifício sofreu algumas alterações, em Fevereiro de 2015, sendo proposto para o presente estudo uma nova análise dos parâmetros anteriormente referidos, para comparar com os valores registados em 2012 e com os valores requeridos no regulamento do RRAE e avaliar o nível de conforto acústico da cantina.

Feita a análise destes parâmetros e retiradas as respetivas conclusões, serão ainda feitas propostas para eventuais melhorias de conforto acústico da cantina. Pretende-se ainda que as propostas feitas para o presente caso de estudo possam ser aplicáveis noutros edifícios semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: acústica em refeitórios, tempo de reverberação, inteligibilidade, privacidade, RASTI, conforto acústico.

ABSTRACT

Throughout the time, restoration spaces have become socialization locations par excellence for the society. The users search places like cafes, bars, restaurants, etc., not only to enjoy a good meal, but also to enjoy a space with an environment that allows a good conviviality.

These spaces should therefore ensure, among other things, that their sound environment is calm and peaceful. The ideal would be, on the one hand, a good understanding of the words during a conversation, and on the other, privacy in the conversation.

These two main aspects (understanding and privacy) are strongly altered by the current noise in these establishments, which is generated mainly by the high density of users (and utensils used). That is, the existence of several sound sources, emitting sounds of different frequencies, simultaneously creates a background noise, which interferes with the intelligibility of the word and makes it difficult to transmit the message. It and may even be harmful to the health of users and employees.

The need for acoustic comfort arises, which aims to facilitate the interaction of users through the word. For this, there are various materials and construction techniques to control / reduce this mixture of sounds that will be deepened in the present work.

First, the concepts and definitions that will support the following chapters will be introduced. The acoustic peculiarities of restaurants and canteens in general will be mentioned, mentioning other relevant studies on this subject that have already been made worldwide, for later comparison in the analysis of the present case study: the FEUP canteen.

This space is frequented almost daily by hundreds of university students, who come to lunch, and the existence of the Lombard Effect is quite likely.

This work is based on another Master's dissertation made in 2012 (Acoustics of Restaurants and Canteens, Case Study - A Feu of FEUP by Pedro Ferreira da Silva), in which the sound pressure levels of the background noise were analyzed, Reverberation time, RASTI and sound insulation of the facade to aerial driving noise, and compared with the RRAE regulatory values. In the meantime, the building underwent some changes in February 2015, and a new analysis of the above parameters is proposed for the present study, to compare with the values recorded in 2012 and with the values required in the RRAE regulation and to evaluate the level of acoustic comfort of the canteen.

After analyzing these parameters and withdrawing the respective conclusions, proposals will also be made for possible improvements in the acoustic comfort of the canteen. It is also intended that the proposals made for the present case study may be applicable in other similar buildings.

KEYWORDS: dining room acoustics, reverberation time, intelligibility, privacy, RASTI, acoustic comfort.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT	V
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	1
1.2 ESTRUTURA DA TESE	2
2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	3
2.1 ACÚSTICA	3
2.2 SOM E RUÍDO	3
2.3 RUÍDO NO ORGANISMO	4
2.4 ONDA SONORA	5
2.4.1 INTRODUÇÃO	5
2.4.2 TIPOS DE ONDAS	5
2.4.3 CARACTERÍSTICAS DA ONDA.....	6
2.4.4 OITAVA E TERÇO DE OITAVA.....	8
2.4.5 PRESSÃO SONORA.....	9
2.4.6 NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA	10
2.4.7 CURVAS DE PONDERAÇÃO	13
2.4.8 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO	14
2.4.9 CAMPO DIRETO E CAMPO REVERBERADO	15
2.5 AVALIAÇÃO DO RUÍDO	15
2.5.1 FONTES SONORAS	15
2.5.2 RUÍDO DE FUNDO.....	17
2.5.3 EFEITO <i>LOMBARD</i>	17
2.5.4 EFEITO <i>COCKTAIL PARTY</i>	17
2.5.5 RELAÇÃO SINAL/RUÍDO.....	17
2.5.6 CURVAS DE INCOMODIDADE	18
2.5.7 NÍVEL DE INTELIGIBILIDADE NA PALAVRA.....	20
2.5.8 PARÂMETROS DE MEDIDA DO NÍVEL DE INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA.....	21

2.6 CORREÇÃO ACÚSTICA	25
2.6.1 INTRODUÇÃO	25
2.6.2 ABSORÇÃO SONORA	25
2.6.2.1 INTRODUÇÃO	25
2.6.2.2 TEMPO DE REVERBERAÇÃO	26
2.6.2.3 TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL.....	27
2.6.2.4 TECNOLOGIAS DE ABSORÇÃO SONORA.....	27
A) MATERIAIS POROSOS	28
B) RESSOADORES.....	29
C) MEMBRANAS RESSONANTES	31
D) ABSORSORES SUSPENSOS - BAFLES	32
E) DIFUSORES E GEOMETRIA ESPACIAL	32
2.7 ISOLAMENTO SONORO.....	34
2.7.1 INTRODUÇÃO	34
2.7.2 RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA.....	34
2.7.3 RUÍDOS DE PERCUSSÃO	36
2.7.4 TECNOLOGIAS DE ISOLAMENTO SONORO	37
A) COBERTURA	37
B) PAREDES	38
C) LAJES.....	40
2.8 CONFORTO ACÚSTICO	41
2.8.1 DEFINIÇÃO	41
2.8.2 RUÍDO DE FUNDO.....	42
2.8.3 INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA.....	42
2.8.4 PRIVACIDADE DA PALAVRA.....	43
 3 ESTUDOS MAIS RELEVANTES NA ÁREA	 45
3.1 ACÚSTICA EM GERAL	45
3.2 ACÚSTICA NA RESTAURAÇÃO	47
 4 REABILITAÇÃO ACÚSTICA EM RESTAURANTES	 57
4.1 INTRODUÇÃO.....	57
4.2 EXECUÇÃO DA REABILITAÇÃO ACÚSTICA	57
4.3 CASOS PARTICULARES DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA EM RESTAURANTES	55

4.3.1 BOSTON PENNY SAVINGS BANK	58
4.3.2 CONSTELATION SYSTEM	62
4.3.3 RESTAURANTE BRODIE	63
4.3.4 RESTAURANTE CASA CRUZ	65
4.3.5 CANTINA DO DFID	65
4.3.6 RESTAURANTE THE CLINK	68

5 CASO PARTICULAR DE ESTUDO - CANTINA DA FEUP 71

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DA CANTINA DA FEUP 71

5.1.1 LOCALIZAÇÃO	71
5.1.2 DIMENSÕES	72
5.1.3 TIPOLOGIA DO EDIFÍCIO	73

5.2 VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE RUÍDOS EXTERIORES NO RUÍDO DE FUNDO 75

5.3 REQUISITOS ACÚSTICOS 76

5.4 ASPETOS CONSTRUTIVOS RELEVANTES 77

5.4.1 ZONA DO REFEITÓRIO	77
5.4.2 ZONA DO GRILL	82

5.5 MEDIÇÕES 85

5.5.1 INTRODUÇÃO	85
5.5.2 RUÍDO AMBIENTE	86
5.5.2.1 RUÍDO AMBIENTE NO REFEITÓRIO NA SUA UTILIZAÇÃO CORRENTE À HORA DO ALMOÇO (RA1)	86
5.5.2.2 RUÍDO AMBIENTE NO GRILL NA SUA UTILIZAÇÃO CORRENTE À HORA DO ALMOÇO (RA2)	88
5.5.2.3 RUÍDO AMBIENTE DO GRILL DESOCUPADO COM AVAC DESLIGADO (RA3)	89
5.5.2.4 RUÍDO AMBIENTE DO GRILL DESOCUPADO COM AVAC LIGADO (RA4)	90
5.5.3 TEMPO DE REVERBERAÇÃO DO GRILL	91
5.5.4 RASTI DO GRILL	93

5.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS 95

5.6.1 INTRODUÇÃO	95
5.6.2 RUÍDO NO REFEITÓRIO	95
5.6.3 RUÍDO NO GRILL	97
5.6.4 TEMPO DE REVERBERAÇÃO DO GRILL	101
5.6.5 RASTI DO GRILL	101

6 POSSÍVEIS INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA NA CANTINA DA FEUP CASO PARTICULAR DE ESTUDO - CANTINA DA FEUP	105
6.1 INTRODUÇÃO.....	105
6.2 PRINCIPAIS CAUSAS DOS DÉFICES DE CONFORTO ACÚSTICO ANALISADOS	105
6.2.1 NO REFEITÓRIO	105
6.2.1.1 ELEVADA DENSIDADE DE UTILIZADORES	106
6.2.1.2 RELAÇÃO ENTRE A GEOMETRIA, VOLUMETRIA E MATERIAIS UTILIZADOS	106
6.2.1.3 INEXISTÊNCIA DE SEPARAÇÃO FÍSICA ENTRE COZINHA E REFEITÓRIO	106
6.2.1.4 INEXISTÊNCIA DE SEPARAÇÃO FÍSICA ENTRE COZINHA E PONTO DE RECOLHA DE TABULEIROS.....	107
6.2.2 NO GRILL.....	107
6.3 PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA	108
6.3.1 INTRODUÇÃO	108
6.3.2 NO REFEITÓRIO	108
6.3.3 NO GRILL.....	110
 7 CONCLUSÃO	 113
7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	113
7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Propagação do som [6]	3
Fig. 2.2 – Funcionamento do aparelho auditivo humano [6]	4
Fig. 2.3 – Limiar da audição e limiar da dor [2]	5
Fig. 2.4 – Oscilogramas de diferentes instrumentos musicais e voz [12]	6
Fig. 2.5 – Amplitudes de ondas	7
Fig. 2.6 – Gama de frequências audíveis pelos humanos [13]	8
Fig. 2.7 – Gama de frequências de algumas atividades comuns [14]	8
Fig. 2.8 – Oitava e terço de oitava [14]	9
Fig. 2.9 – Alternância positiva/negativa da pressão na progressão de uma onda sonora	10
Fig. 2.10 – Níveis de pressão sonora para diferentes ruídos do dia-a-dia	12
Fig. 2.11 – Evolução da pressão sonora com a distância [18]	12
Fig. 2.12 – Sensibilidade auditiva [18]	13
Fig. 2.13 – Curvas de ponderação A, B, C e D [19]	14
Fig. 2.14 – Níveis médios de intensidade gerados numa conversa corrente [21]	16
Fig. 2.15 e 2.16 – Níveis médios de intensidade gerados por um sistema de ar condicionado e por uma caldeira [21]	16
Fig. 2.17 – Relação entre inteligibilidade da palavra e relação sinal/ruído [25]	18
Fig. 2.18 e 2.19 – Curvas <i>Noise Criteria</i> [26] e <i>Noise Rating</i> [27]	19
Fig. 2.20 – Curva <i>Room Criteria</i> [28]	19
Fig. 2.21 – Variação do SIL com a distância [2]	22
Fig. 2.22 – Diagrama exemplificativo do embate da onda sonora num obstáculo [20]	26
Fig. 2.23 – Reflexões das ondas sonoras num espaço fechado [20]	26
Fig. 2.24 – Diferentes tecnologias têm eficácias diferentes consoante as frequências das ondas sonoras [10]	28
Fig. 2.25 – Exemplo de material poroso [34]	28
Fig. 2.26 – Curva do comportamento médio de materiais porosos [2]	29
Fig. 2.27 e 2.28 – Ressonador de <i>Helmholtz</i> original [35] e esquema do seu interior [2] respetivamente	30
Fig. 2.29 e 2.30 – Exemplos de ressoadores agrupados em tetos falsos [2]	31
Fig. 2.31 – Exemplo de membrana ressonante [10]	31
Fig. 2.32 – Esquema ilustrativo de uma membrana num sistema com caixa-de-ar [10]	31
Fig. 2.33 – Curva de comportamento médio de uma membrana, com e sem material absorvente na caixa-de-ar	32

Fig. 2.34 – Exemplo de difusores suspensos aplicados num pavilhão [36]	32
Fig. 2.35 – Espectro de reflexão direta e difusa respetivamente [37].....	33
Fig. 2.36 – Esquema ilustrativo da difusão de uma onda sonora	33
Fig. 2.37 – Exemplo parede revestida por difusor acústico [40]	33
Fig. 2.38 – Esquema ilustrativo da transmissão sonora	34
Fig. 2.39 – Esquema ilustrativo de um ruído de condução aérea.....	35
Fig. 2.40 – Esquema ilustrativo de um ruído de percussão	36
Fig. 2.41 – Exemplo de aplicação de manta acústica alumínica em telhado [39]	37
Fig. 2.42 – Manta acústica [39]	37
Fig. 2.43 – Esquema estrutural da cobertura de edifícios de aplicação de manta acústica alumínica em telhado [41]	38
Fig. 2.44 – Parede interior dupla com caixa-de-ar e painel de cortiça [42]	38
Fig. 2.45 – Diferentes disposições do isolamento sonoro em parede dupla interior, face ao diferente posicionamento da estrutura [41]	39
Fig. 2.46 – Esquema ilustrativo do efeito <i>flanking</i> e solução [36]	39
Fig. 2.47 – Corte esquemático de três diferentes soluções de isolamento acústico na intersecção entre parede e laje	40
Fig. 2.48 – Esquema ilustrativo da disposição de uma laje flutuante [41]	41
Fig. 2.49 – Esquema de uma laje interior com isolamento sonoro na face superior [44]	42
Fig. 3.1 – Esquema ilustrativo de refeitório e disposição das paredes divisórias, vista em corte e em planta [71].....	52
Fig. 3.2 – Exemplo esquemático da disposição dos <i>baffles</i> [71]	53
Fig. 4.1 – <i>Boston Penny Savings Bank</i> , antes do processo de reabilitação [79].....	59
Fig. 4.2 – <i>Boston Penny Savings Bank</i> , após do processo de reabilitação [79].....	59
Fig. 4.3 – Instalação do isolamento no teto do restaurante, Boston [79].....	60
Fig. 4.4 – Teto de madeira do restaurante, Boston. [79]	60
Fig. 4.5 – Restaurante <i>Comal</i> , <i>Berkeley</i> [82]	62
Fig. 4.6 – Esquema da nova parte do restaurante <i>Brodie</i> , <i>Forres</i> , visto em corte [84]	62
Fig. 4.7 – Tela impressa nos painéis acústicos do <i>Brodie</i> , <i>Forres</i> [84]	64
Fig. 4.8 – Painéis acústicos circulares na sala de jantar do <i>Brodie</i> , <i>Forres</i> [84]	64
Fig. 4.9 – Restaurante <i>Casa Cruz</i> , <i>Londres</i> [85].....	65
Fig. 4.10– Detalhe do padrão do teto do <i>Casa Cruz</i> [85]	66
Fig. 4.11 – Instalação do revestimento têxtil no teto [85].....	66
Fig. 4.12 e 4.13 – Painéis acústicos do teto, quadrangulares e circulares, na sala de break- out e cantina do DFID, respetivamente [87].....	67
Fig. 4.14 – Painéis acústicos das paredes na sala de break-out [87].....	68

Fig. 4.15 – Restaurante <i>The Clink</i> , antes da reabilitação [89]	69
Fig. 4.16 e 4.17 – Restaurante <i>The Clink</i> , após a reabilitação [88]	69
Fig. 5.1 – Mapa da zona envolvente à cantina da FEUP [90]	71
Fig. 5.2 – Fotografia aérea da zona envolvente à cantina da FEUP [90]	72
Fig. 5.3 – Planta do piso 0 da Cantina da FEUP	73
Fig. 5.4 – Alçado Norte da cantina da FEUP	74
Fig. 5.5 – Alçado Sul da cantina da FEUP	74
Fig. 5.6 – Alçado Este da cantina da FEUP	75
Fig. 5.7 – Alçado Oeste da cantina da FEUP	75
Fig. 5.8 – Divisão dos espaços do edifício da cantina da FEUP	77
Fig. 5.9 – Interior da cantina da FEUP (refeitório)	78
Fig. 5.10 e 5.11 – Detalhe do construtivo do teto (refeitório)	78
Fig. 5.12 e 5.13 – Revestimento do pavimento e das paredes (refeitório)	79
Fig. 5.14 – Detalhe do canto Oeste da cantina da FEUP (refeitório)	79
Fig. 5.15 – Parede Este do refeitório da cantina da FEUP	80
Fig. 5.16 – Pormenor da grelha de ventilação na fachada do edifício da cantina da FEUP	80
Fig. 5.17 – Porta removível recolhida, no lado esquerdo (divisória entre o refeitório e bar)	81
Fig. 5.18 – Ligação entre cozinha e cantina	81
Fig. 5.19 – Espaço do <i>grill</i>	82
Fig. 5.20 – Painéis acústicos suspensos no teto do <i>grill</i>	82
Fig. 5.21 – Planta do teto do <i>grill</i>	83
Fig. 5.22 – Esquema estrutural dos painéis suspensos do teto do <i>grill</i> , em planta e em corte, respetivamente	83
Fig. 5.23 – Pormenores estruturais e características de absorção acústica dos painéis <i>Tonga A 22</i> [92]	84
Fig. 5.24 – Ligação entre cozinha e <i>grill</i>	85
Fig. 5.25 – Equipamentos utilizados para efetuar as medições acústicas	85
Fig. 5.26 – Localização dos pontos da medição de Ruído Ambiente, efetuada no refeitório e no <i>grill</i>	86
Fig. 5.27 – Curva da média das medições do ruído no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço	87
Fig. 5.28 – Curva da média das medições do ruído no <i>grill</i> na sua utilização corrente à hora do almoço	89
Fig. 5.29 – Curva da média das medições do ruído no <i>grill</i> desocupado com AVAC desligados	90
Fig. 5.30 – Curva da média das medições do ruído no <i>grill</i> desocupado com AVAC ligados....	91
Fig. 5.31 – Localização dos pontos de medição do TR, no espaço do <i>grill</i>	92

Fig. 5.32 – Resultados das medições do TR no <i>grill</i>	93
Fig. 5.33 – Localização da fonte sonora e dos pontos de medição do RASTI, no espaço do <i>grill</i>	94
Fig. 5.34 – Valores RASTI medidos em cada ponto e respetiva média, do <i>grill</i>	95
Fig. 5.35 – Comparação de valores médios das medições do ruído no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço atuais e em 2012	96
Fig. 5.36 – Comparação dos valores do ruído registados no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço com as curvas NC	96
Fig. 5.37 – Comparação dos valores do ruído registados no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço com as curvas NR.....	97
Fig. 5.38 – Comparação dos valores do ruído registados no <i>grill</i> na sua utilização corrente à hora do almoço com os valores registados no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço	98
Fig. 5.39 – Comparação dos valores do ruído registados no <i>grill</i> na sua utilização corrente à hora do almoço com as curvas NC	98
Fig. 5.40 – Comparação dos valores do ruído registados no <i>grill</i> na sua utilização corrente à hora do almoço com as curvas NR	99
Fig. 5.41 – Comparação dos níveis de pressão sonora registados no <i>grill</i> com AVAC ligados e com AVAC desligados.....	100
Fig. 5.42 – Diferenças de Níveis de Pressão Sonora registados no <i>grill</i> com AVAC ligados e com AVAC desligados.....	100
Fig. 5.43 – Curvas das medições do TR para os três pontos diferentes do <i>grill</i>	101
Fig. 5.44 – Valores das medições do RASTI do <i>grill</i> , com as posições distribuídas por ordem crescente de distância à fonte sonora	102
Fig. 5.45 – Valores das medições do RASTI em função da distância do recetor RASTI à fonte no espaço do <i>grill</i>	102
Fig. 6.1 – Planta da zona do <i>grill</i>	107
Fig. 6.2 – Planta da zona do refeitório com a disposição das barreiras acústicas assinalada pelo traço vermelho	109
Fig. 6.3 – Planta da zona do <i>grill</i> com proposta de reorganização espacial das mesas	110
Fig. 6.4 – Planta da zona do <i>grill</i> com a disposição da barreira acústica assinalada pelo traço vermelho.....	111

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Consequências da exposição a diferentes níveis de pressão sonora [4].....	11
Quadro 2.2 – Velocidade de propagação do som em diferentes meios [3].....	14
Quadro 2.3 - Síntese da relação ruído/ inteligibilidade [2]	20
Quadro 2.4 - Síntese da relação ruído/ inteligibilidade [2]	20
Quadro 2.5 - Valores dos níveis de conversação e dos pesos relativos a cada frequência para bandas de 1/3 e 1/1 de oitava [30].....	21
Quadro 2.6 – Relação entre índice de articulação, grau de privacidade e grau de inteligibilidade [6]	22
Quadro 2.7 - Correlação entre distância à fonte sonora e valores do PSIL para classificar a intensidade da voz. [30]	23
Quadro 2.8 – Quadro para classificação de inteligibilidade através do RASTI	24
Quadro 3.1 - Parâmetros subjetivos de <i>Beranek</i> (1962) [48]	46
Quadro 3.2 - Resumo de estudos de alguns parâmetros relevantes da acústica de interiores [2].....	47
Quadro 3.3 - Parâmetros acústicos de avaliação da cantina e valores ótimos sugeridos por Marisco et al. [65]	50
Quadro 3.4 – Resumo dos estudos feitos até à data de hoje sobre acústica em restaurantes .	54
Quadro 5.1 – Valores aproximados relativos à cantina da FEUP [2].....	72
Quadro 5.2 – Valores das medições efetuadas para o ruído no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço	87
Quadro 5.3 – Valores das medições efetuadas para o ruído no <i>grill</i> na sua utilização corrente à hora do almoço.....	88
Quadro 5.4 – Valores das medições efetuadas para o ruído no <i>grill</i> desocupado com AVAC desligados	89
Quadro 5.5 – Valores das medições efetuadas para o ruído no <i>grill</i> desocupado com AVAC ligados	90
Quadro 5.6 – Valores das medições de TR efetuadas no <i>grill</i>	94
Quadro 5.7 – Valores das medições de RASTI efetuadas no <i>grill</i>	94
Quadro 5.8 – Quadro de classificação de espaços segundo parâmetro RASTI [69]	103

Símbolos e Abreviaturas

λ	– Comprimento de onda [m]
τ	– Índice de transmissão sonora
δ	– Ângulo de fase inicial do movimento [rad]
α	– Coeficiente de absorção sonora
A	– Absorção sonora equivalente [m ²]
AI	– Índice de articulação das palavras
AVAC	– Aparelhos De Ventilação e Ar Condicionado
CADNA	– <i>Calculation And Assessment Of Interior Sound</i>
CR	– Curva de referência
dB(A)	– Decibel com ponderação A
D	– Isolamento sonoro bruto a ruídos de condução aérea [dB]
D _{2m,nT,w}	– Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea padronizado [dB]
EDT	– Tempo de decaimento inicial [s]
EL	– <i>Efeito Lombard</i>
ECP	– <i>Efeito Cocktail Party</i>
f	– Frequência [Hz]
FEUP	– Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FS	– Fonte sonora
h	– altura [m]
I	– Intensidade sonora [W/m ²]
I	– Intensidade sonora de referência [10 ⁻¹² W/m ²]
L ₁	– Nível de pressão sonora medido junto à fonte [dB]
L ₂	– Nível de pressão sonora medido no espaço receptor [dB]
L ₅	– Nível de pressão sonora medido em 5% do tempo [dB]
L ₅₀	– Nível de pressão sonora medido em 50% do tempo [dB]
L ₉₅	– Nível de pressão sonora medido em 95% do tempo [dB]
L _i	– Nível de intensidade sonora [dB]
Leq	– Nível de pressão sonora equivalente [dB]
LnT	– Nível de pressão sonora de percussão padronizado [dB]
Lp	– Nível de pressão sonora [dB]
Lw	– Nível de potência sonora [dB]
NC	– <i>Noise Criteria</i>
NCB	– <i>Noise Criteria Balanced</i>
NR	– <i>Noise Rating</i>
NRC	– <i>Noise Room Criteria</i>

p – Pressão sonora [Pa]

p_0 – Pressão sonora de referência [2×10^{-5} Pa]

p_{rms} – Pressão sonora eficaz [Pa]

Q – Directividade

r – raio [m]

R – Redução sonora [dB]

RA – Ruído ambiente [dB]

$RASTI$ - Índice de transmissão da palavra obtido por uma simplificação do método STI

RCN – *Room Noise Criteria*

RF – Ruído de fundo [dB]

$RRAE$ – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

S – Área do material [m²]

SEL – *Sound Exposure Level*

SIL – Nível de Interferência da Palavra (*Speech Interference Level*)

S/N – Relação sinal/ruído

STI - índice de transmissão da palavra (*Speech Transmission Index*)

t – Tempo [s]

T – Período [s]

TR – Tempo de reverberação [s]

TR_0 – Tempo de reverberação de referência [s], tomando um valor igual a 0,5 s

v – Velocidade [m/s]

W – Potência [watt]

W_0 – Ângulo de fase inicial [rad]

x – Posição [m]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

O crescente aumento das preocupações relativas à qualidade de vida obrigou a uma evolução dos processos construtivos dos edifícios, em busca de um maior conforto para o utilizador.

Além de boas características térmicas e visuais, os edifícios também devem ser capazes de minimizar os efeitos negativos relativos ao ruído que se faz sentir, sobretudo nos grandes centros urbanos.

A partir dos finais do século XIX, o físico W. Sabine deu origem a uma série de estudos sobre a medição de ambientes acústicos. O tema começou a ter maior importância e, desde o início do século XX, os processos construtivos têm tido uma forte evolução no sentido de melhor controlar os efeitos sonoros e as suas possíveis consequências negativas na nossa saúde.

Um dos principais focos de preocupação é o ruído, que deve ser controlado. Para isso, atualmente, são exigidos projetos de acústica para qualquer tipo de construção, seja edifício habitacional, de escritórios, lazer ou restauração, e têm de cumprir com as Diretivas e Normas Europeias sobre o conforto acústico no interior de edifícios, designadamente o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [1].

Os estudos acústicos procuram, por um lado, regular a acústica interior (reduzir níveis de ruído e reverberação), proporcionando um ambiente agradável, e, por outro lado, garantir um isolamento sonoro eficaz, controlando a quantidade de ruído que entra e sai dos espaços.

Nos locais de restauração, os utilizadores procuram não só usufruir de boa alimentação mas também de um bom ambiente na sala, que permita o convívio, que seja confortável. Assim, a qualidade acústica destes espaços ganhou uma grande importância e é tida como um dos principais fatores de valorização deste tipo de espaços para o utilizador.

Neste trabalho, será estudada a acústica de restaurantes e refeitórios, tendo em conta o conforto proporcionado, ou não, para os utilizadores. Será analisado o caso particular da cantina da FEUP, reabilitada em Fevereiro de 2015.

Esta cantina representa um dos principais locais de alimentação e de encontro, quer para estudantes da FEUP, quer para estudantes de faculdades vizinhas. Diariamente, são servidas cerca de 1300 refeições, sendo corrente uma grande densidade de utilizadores no espaço.

Este trabalho surge no seguimento de outro estudo de 2012 [2] em que foram medidos valores para parâmetros acústicos do refeitório da cantina da FEUP, como o Tempo de Reverberação, Ruído de Fundo, Relação Sinal/Ruído, níveis de inteligibilidade da palavra e do isolamento da fachada a ruídos

de condução aérea. Estes valores foram, depois, comparados com os regulamentares do RRAE e foram, ainda, apresentadas algumas soluções possíveis de tratamento acústico. Entretanto, o edifício sofreu algumas alterações, tendo o presente estudo o objetivo de reavaliar o ambiente acústico sentido no referido espaço. Para isso, foram feitas medições aos parâmetros acústicos: Tempo de Reverberação, Ruído de Fundo e níveis de inteligibilidade da palavra, tanto do espaço do refeitório como do *grill* (zona que sofreu maiores alterações), e foram comparados os valores obtidos com os obtidos em 2012 e com os valores impostos no RRAE. Tendo em conta os resultados da análise feita, serão apresentadas propostas de eventual melhoria de conforto acústico da cantina.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

O presente trabalho apresenta-se dividido em capítulos, brevemente descritos nos pontos seguintes:

- No primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema da tese, descrevendo os seus objetivos e a sua estrutura;
- No segundo capítulo é feita uma introdução à acústica em geral, definindo os conceitos que servirão de suporte teórico para os capítulos seguintes;
- No terceiro capítulo são referidos de forma resumida os principais estudos acústicos feitos até à data, tanto ao nível da acústica em geral como ao nível do caso particular da acústica de refeitórios e restaurantes;
- No quarto capítulo são abordados alguns casos exemplificativos de reabilitação acústica em espaços de restauração, como suporte teórico-prático de capítulos seguintes;
- No quinto capítulo é abordado o caso em estudo, a “Cantina da FEUP”. É feita uma descrição do espaço do ponto de vista espacial e construtivo e é apresentado o registo das medições acústicas realizadas no local. Os valores obtidos são ainda comparados com os valores do RRAE e com os medidos no anterior;
- No sexto capítulo são analisados os principais fatores pejorativos ao conforto acústico da “Cantina da FEUP” e descritas algumas soluções possíveis para melhorar o ambiente sentido;
- No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões sobre as medições efetuadas e sobre a forma como as mudanças no edifício alteraram as suas condições acústicas.

2

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. ACÚSTICA

Acústica pode definir-se como a ciência do som; estuda a sua produção, transmissão e os efeitos do som na audição. Além disso, estuda ainda as alterações que diferentes espaços e as suas características causam no som, modelando a percepção dos sons nos espaços.

A acústica também abrange os estudos feitos acerca das sensações físicas e psicológicas provocadas pelo som no ser humano. [2] [3]

2.2. SOM E RUÍDO

Som, é uma alteração física (onda) que se propaga em determinado meio (normalmente o ar), podendo, consoante a frequência em questão, ser captado pelo ouvido humano ou por outros seres vivos.

O estado físico do meio, não é impeditivo à propagação do som, seja este meio sólido, líquido ou gasoso. O som pode propagar-se em qualquer meio que tenha inércia e elasticidade [3].

Por norma, os sons partem das fontes sonoras para todas as direções, propagando-se pelo meio até atingirem barreiras físicas que impeçam a sua propagação.

A produção de determinada onda sonora é um fenómeno que pode ser explicado devido à criação de um diferencial entre a pressão atmosférica e a pressão incrementada produzida por determinada fonte. A figura 2.1 ilustra essa alternância entre compressão e rarefação do meio, que origina a onda.

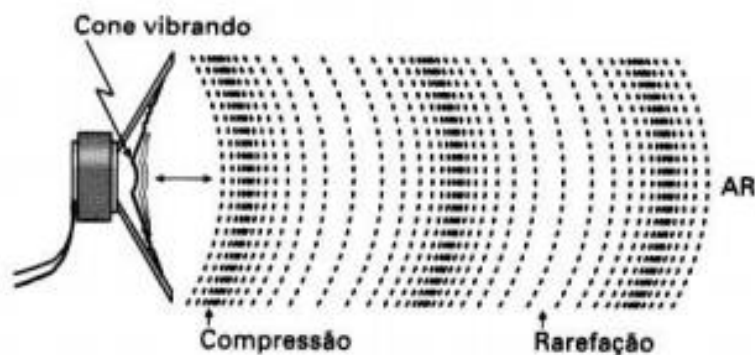


Fig. 2.1 – Propagação do som [5]

A distinção entre o som e o ruído é subjetiva e não depende apenas da frequência e amplitude, sendo o som associado a sensações auditivas agradáveis ou que tem significado para quem o ouve, e ruído associado a sensações desagradáveis e incômodas, sem qualquer significado. [6]

Desde sempre que o som foi utilizado pelos humanos (e por uma infinidade de outras espécies animais) como principal meio de comunicação. Ao longo dos tempos, os estudos feitos no ramo da acústica permitiram desenvolver outras utilidades através do som. Atualmente é recorrente este ser utilizado para obter informações ambientais e características espaciais (forma, topografia) de determinado local ou para detecção de objetos ou animais em situações impossíveis de detetar através da visão (por exemplo o uso do som no efeito sonar dos navios para detetar a morfologia do fundo dos oceanos). [3]

2.3. RUÍDO NO ORGANISMO

O sistema auditivo humano, é o responsável pela nossa capacidade de captar e reconhecer os sons produzidos no meio que nos rodeia.

Como vimos, as ondas sonoras propagam-se no meio até encontrar determinada barreira que impeça a sua progressão. No caso de essa barreira for o ouvido humano, o canal auditivo encarrega-se de conduzir essas ondas até à membrana timpânica. Esta membrana tem a capacidade de detetar as pequenas vibrações do meio desencadeando pequenas deslocações no tímpano (figura 2.2). Estas deslocações são, posteriormente transformadas em informação sonora e transmitidas ao cérebro, permitindo ao indivíduo experienciar uma sensação auditiva. [2] [7]

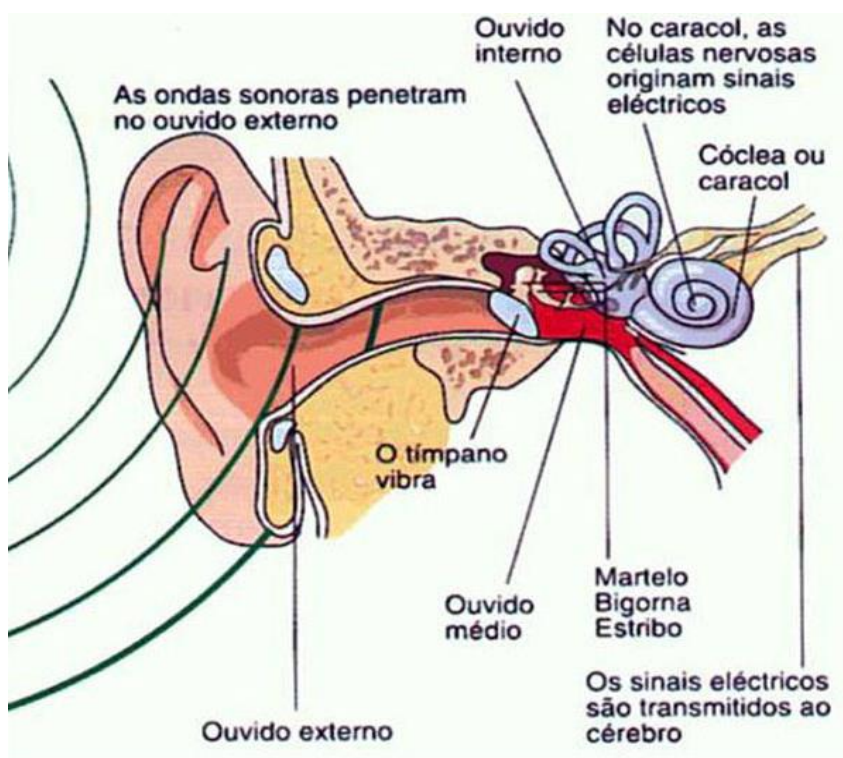


Fig. 2.2 – Funcionamento do aparelho auditivo humano [7]

Sons mais intensos, têm maior energia e as vibrações do meio durante a sua propagação são maiores, traduzindo-se em amplitudes de deslocação da membrana timpânica maiores quando captados. A membrana timpânica, no entanto, apenas vibra num determinado intervalo de valores energéticos. Assim se explica o porquê de o ser humano apenas ser capaz de ouvir sons de determinada gama de frequências. Para valores energéticos inferiores a determinado limite, a membrana auditiva não vibra, não captando o som. Esta característica humana, que limita a nossa audição, chama-se *Limiar de Audição* (figura 2.3), e é variável de indivíduo para indivíduo. [8]

Sons com energias superiores ao limite máximo – *Limiar da dor* – podem provocar perda de sensibilidade auditiva se o indivíduo se expuser a eles de forma prolongada ou se tiverem uma intensidade muito elevada, ainda que por um curto período de tempo. [8]

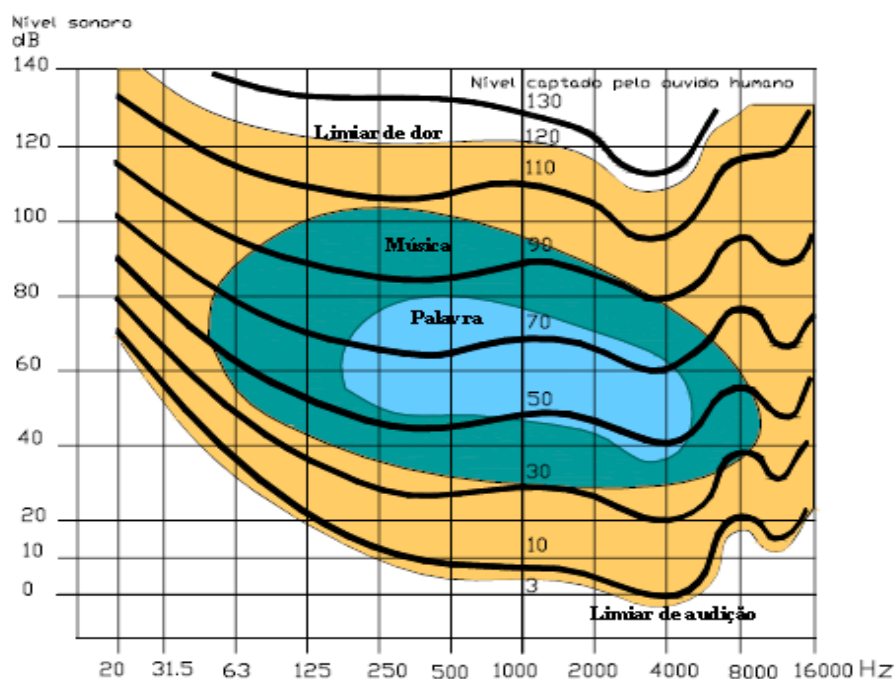


Fig. 2.3 – Limiar da Audição e Limiar da dor [3]

2.4. ONDA SONORA

2.4.1. INTRODUÇÃO

Como vimos o som propaga-se através de ondas. É captação destas pelo sistema auditivo humano que permite a perceção sensorial do som. Foi então essencial no desenvolvimento da acústica perceber o que distingue as ondas sonoras, saber como se propagam e como transportam energia sem transportar massa.

As ondas sonoras são classificadas como ondas mecânicas, uma vez que precisam de um meio para se propagar. Fazem-no através a oscilação das partículas constituintes do meio, que pode estar em qualquer estado físico, desde que tenha inércia e elasticidade.

Por isso, o som, ao contrário da luz, não é transmissível no espaço, não se propaga no vazio. [9] [10] [11]

2.4.2. TIPOS DE ONDAS

Conforme referido na nota introdutória, as ondas sonoras são classificadas como ondas mecânicas, quanto à forma de propagação. Podem ainda classificar-se como ondas longitudinais, devido ao facto de a perturbação do meio se dar na direção de propagação da onda. [3]

Por norma, cada som que se escuta é um conjunto de várias ondas sonoras. É o somatório das características dessas ondas que conferem aos sons o seu timbre. Diferentes sons podem ser analisados através dos seus oscilogramas – gráficos que representam a evolução da pressão sonora ao longo do tempo. Na figura seguinte podem observar-se as diferenças nos oscilogramas, consoante as características dos sons identificados.

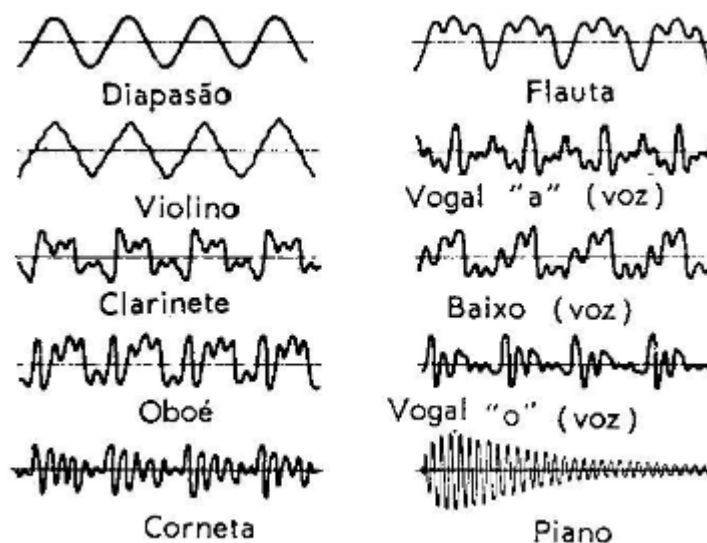


Fig. 2.4 – Oscilogramas de diferentes instrumentos musicais e voz [12]

A onda produzida pelo diapasão, denomina-se onda fundamental. É esta onda, juntamente com os seus harmónicos, que caracteriza determinado som, nomeadamente, atribuindo-lhe o seu timbre, tom e volume. [2] [3]

2.4.3. CARACTERÍSTICAS DA ONDA

A onda sonora aproxima-se a um movimento harmónico simples. É um movimento oscilatório variado. Porém, não pode ser considerado uniformemente variado, já que sua aceleração não é constante. A sua aceleração e a força resultante são proporcionais e opostas ao deslocamento [6]. O seu movimento está associado a uma função periódica do tipo:

$$x = x_0 \times \text{sen}(w_0 t + \delta) \quad (2.1)$$

Onde,

x – distância à origem (m) . Deslocamento

x_0 – valor máximo que a função pode tomar – Amplitude

δ – Ângulo de Fase Inicial do movimento (rad)

t – tempo decorrido (s)

$$w_0 = \frac{2\pi}{T} - \text{Frequência Angular (rad/s)}$$

Amplitude define-se como sendo o valor máximo que a onda atinge. Como se pode ver na figura seguinte, é a amplitude que indica a intensidade do som. Quanto mais elevada for a amplitude de determinada onda sonora, mais elevada será a sua intensidade (figura 2.5) [3].

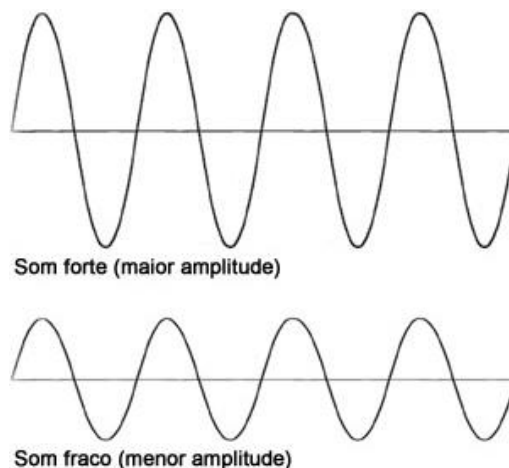


Fig. 2.5 – Amplitudes de ondas [13]

O Ângulo de Fase Inicial (δ) é o valor da função na origem ($t = 0$), podendo variar entre π e $-\pi$.

O Período (T) é o tempo que determinada onda demora a completar um ciclo.

O Comprimento de Onda (λ) é a distância entre cristas sucessivas, ou seja, a distância de um ciclo. Pode ser dado pela expressão seguinte:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

Onde,

c – Velocidade de propagação no meio (m/s)

f – Frequência (Hz)

A frequência (f) de determinado fenómeno periódico é o número de vezes que este se repete por unidade de tempo. A sua unidade é o hertz (Hz). [3]

A frequência é uma característica da onda que depende apenas do emissor. O meio de propagação não interfere. Quanto mais grave for o som, mais reduzida é a sua frequência. Pelo contrário, sons agudos têm frequências mais elevadas. [2]

Como já tinha sido referido, o ouvido humano apenas capta um intervalo de frequências que varia individualmente e com a idade. Por norma, um ouvido humano saudável deve ser capaz de captar sons com frequências entre os 20 e os 20000 Hz [4]. Na figura 2.6 pode verificar-se que sons cuja frequência está compreendida nesta gama e designam como sons audíveis. Os sons de frequências superiores a esta designam-se ultra-sons e os de frequências inferiores designam-se infra-sons.

A capacidade auditiva de um indivíduo, devido a fatores como a idade ou sobre-exposição sonora, pode reduzir, diminuindo a sua gama de sons audíveis.

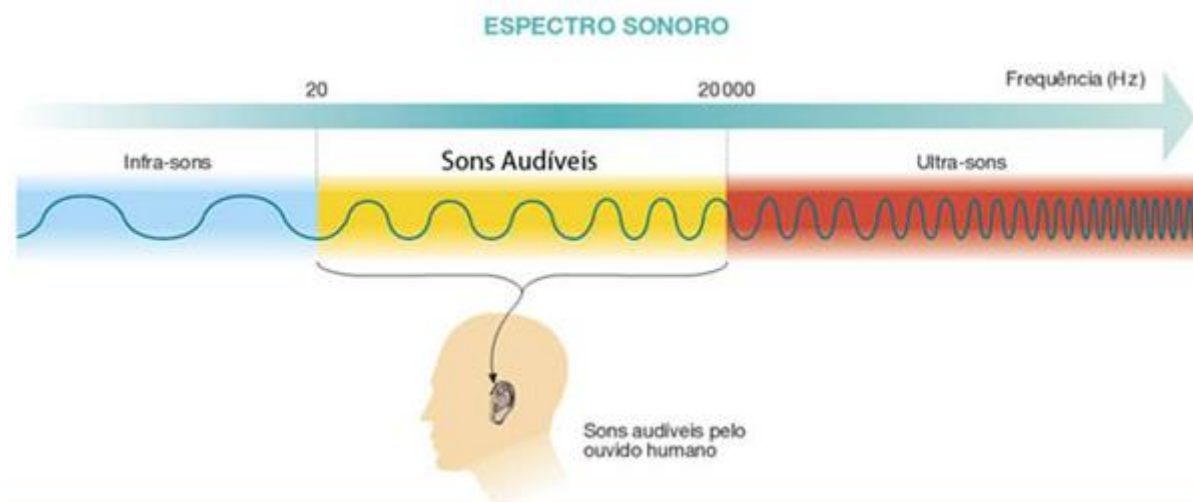


Fig. 2.6 – Gama de frequências audíveis pelos humanos [14]

A figura 2.7. ilustra algumas atividades do dia-a-dia que produzem frequências audíveis. Na natureza, os infra-sons podem ser produzidos por desastres naturais, como sismos ou erupções vulcânicas, enquanto que os ultra-sons são usados para comunicação por diversas espécies de seres vivos, como, por exemplo, os golfinhos. Apesar de não audíveis, tanto os ultra-sons como os infra-sons têm diversas aplicações para os humanos.

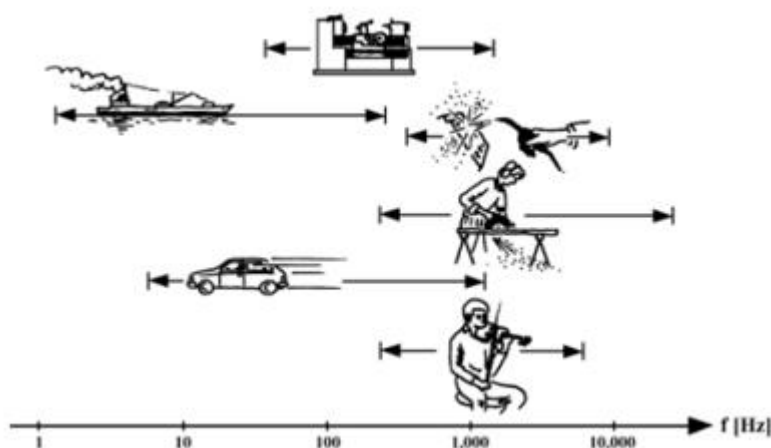


Fig. 2.7 – Gama de frequências de algumas atividades comuns [15]

2.4.4. OITAVA E TERÇO DE OITAVA

Para facilitar representações gráficas de medições acústicas usam-se os conceitos de *oitava* e *terço de oitava*, para melhor agrupar a escala de frequências. Uma oitava é um intervalo harmónico compreendido entre duas frequências em que uma é o dobro da outra. Se f_2 está uma *oitava* acima de f_1 então $f_2 = 2 \times f_1$.

Musicalmente, uma oitava representa o intervalo harmónico que separa duas notas de igual nome.

O terço de oitava corresponde precisamente à terça parte da oitava, em escala logarítmica.

Na figura 2.8 representam-se graficamente a oitava e o terço de oitava para ajudar à percepção destes dois conceitos.

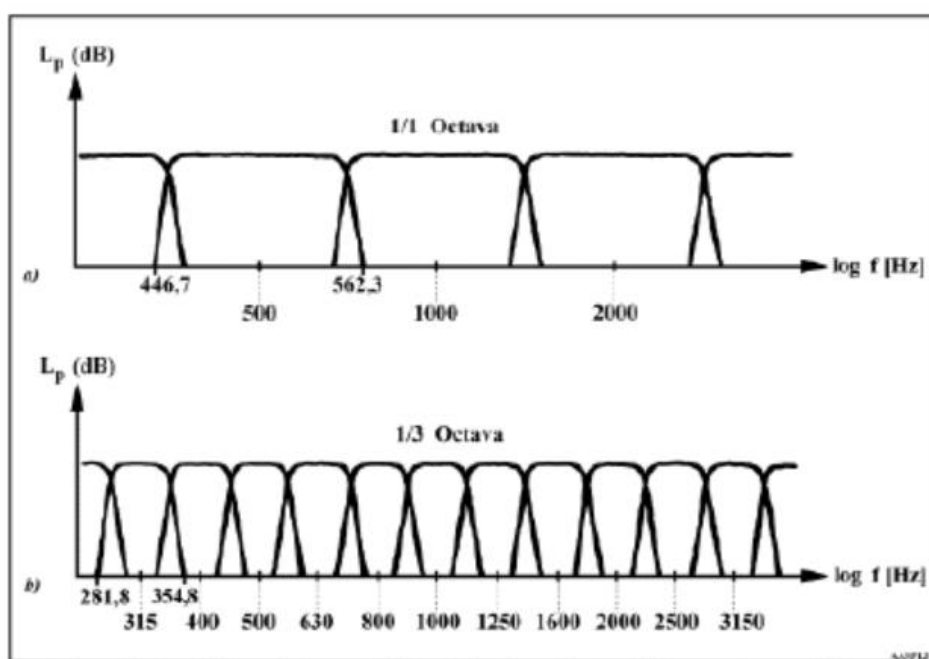


Fig. 2.8 – Oitava e terço de oitava [15]

2.4.5. PRESSÃO SONORA

Uma fonte sonora, ao emitir determinado som, provoca uma variação alternada (positiva e negativa) de pressão (figura 2.9), relativamente à pressão atmosférica. A esta variação dá-se o nome de pressão sonora. É esta alternância de pressão do meio que permite a propagação de uma onda sonora, sendo a energia dessa onda tanto maior quanto maior for a variação de pressão imposta no meio. [4]

Tendo em conta que o valor médio da pressão sonora é aproximadamente nulo, é habitual considerar-se a como indicador a pressão sonora eficaz (P_{rms}), dada pela seguinte expressão:

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt} \quad (2.3)$$

Sendo t_1 e t_2 o tempo inicial e final, respetivamente, em segundos.

Sabe-se ainda que a pressão incremental, p , é dada pela subtração da pressão atmosférica à pressão total.

$$p = P_{total} - P_{atm} \quad (2.4)$$

$$P_{atm} = 10^5 Pa$$

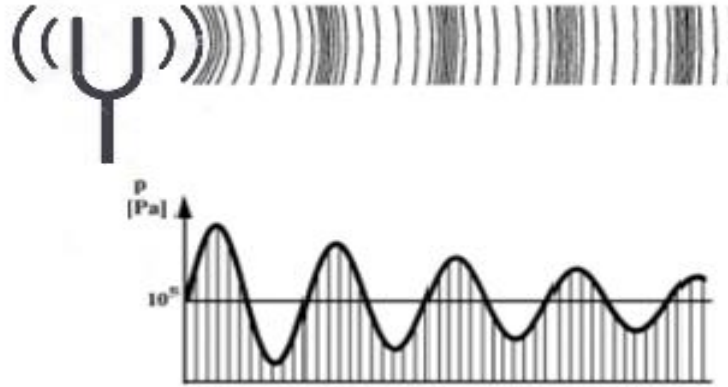


Fig. 2.9 – Alternância positiva/negativa da pressão na progressão de uma onda sonora

2.4.6. NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

O nível de pressão sonora (NPS) define-se como uma variação pontual de pressão, relativamente à pressão atmosférica (referência). O NPS produzido por certa fonte é tanto maior quanto maior for amplitude da onda, pois a variação de pressão imposta pela fonte também é maior.

Os níveis de intensidade e pressão sonora são medidos em decibéis (décima parte da escala logarítmica de bel) [3]. Na escala logarítmica, em decibéis, obtém-se a seguinte expressão:

$$L_p = 20 \log \frac{P_{rms}}{P_0} \quad (2.5)$$

Onde, $P_0 = 2 \times 10^{-5} Pa$, sendo P_{rms} o valor médio da pressão sonora eficaz.

O nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}) pode ser definido como o nível que, atuando de forma constante num dado intervalo de tempo, produziria a mesma soma energética do som que se pretende avaliar. O L_{eq} é dado pela seguinte expressão:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_2}^{t_1} \left(\frac{P(t)}{P_0} \right)^2 dt \quad (2.6)$$

Sendo t , o tempo, dado em segundos.

A intensidade sonora, por sua vez, pode ser definida pela equação seguinte:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (W/m^2) \quad (2.7)$$

Sendo W , a potência em watts e r , a distância medida em metros entre a fonte e o recetor.

Surge, assim, o nível de intensidade sonora (L_I) definido como o valor médio da energia acústica que atravessa uma unidade de área perpendicular à direção de propagação na unidade de tempo. É dado pela expressão:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (dB) \quad (2.8)$$

$$\text{Onde } I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Sendo I , o valor da intensidade sonora da fonte.

O nível de potência sonora (L_W) é definido como a quantidade de energia emitida por unidade de tempo. Pode ser indicado através da seguinte expressão:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (dB) \quad (2.9)$$

$$\text{Onde, } W_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Sendo W , o valor da potência sonora da fonte, em watts.

Um parâmetro muito importante para avaliar o ruído provocado por aparelhos é o SEL (*sound exposure level*). O SEL é o nível que, a ser mantido durante um segundo, conteria a mesma energia sonora que o ruído real. Medido em segundos, o SEL, obtém-se através do L_{eq} através da seguinte expressão:

$$SEL = L_{eq} + 10 \log t \quad (2.10)$$

A exposição a níveis de intensidade elevada ou a exposição demasiado prolongada a ruídos podem provocar lesões no aparelho auditivo humano, podendo levar a perdas de capacidade auditiva. Além disso, podem ocorrer problemas a nível psicológico. O quadro 2.1 remete para essa relação entre a exposição a ruídos e os problemas que podem surgir.

Quadro 2.1 - Consequências da exposição a diferentes níveis de pressão sonora [4]

Níveis médios (dB)	Tempo de exposição	
	Curto	Longo
65	Sem problemas	Cansaço físico e mental
80	Cansaço físico e mental	Limite de segurança
90	Cansaço físico e mental	Elevação do umbral
100	Elevação do umbral	Dano irreparável em órgãos do sistema auditivo
120	Extremamente doloroso; Provoca perdas de audição	
150	Perda instantânea e total da audição	

Na figura 2.10 estão representados, em escala, os níveis de pressão sonora de diferentes ruídos do dia-a-dia e ainda as sensações que os diferentes níveis de pressão podem causar nos seres vivos.

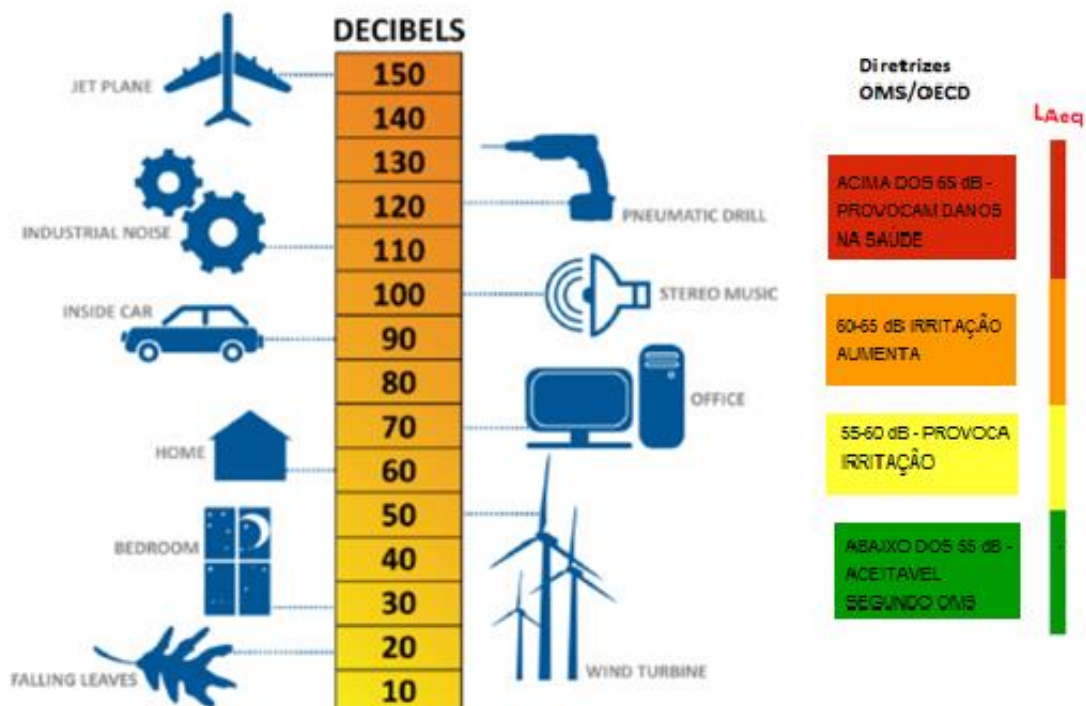


Fig. 2.10 – Níveis de pressão sonora para diferentes ruídos do dia-a-dia

O nível de pressão sonora, naturalmente, varia com a distância à fonte, como se pode observar pelo gráfico da figura seguinte. Primeiro, em fase decrescente, que corresponde ao campo direto e, depois, a tender para um valor constante, devido à superioridade do campo reverberado (figura 2.11). [2]

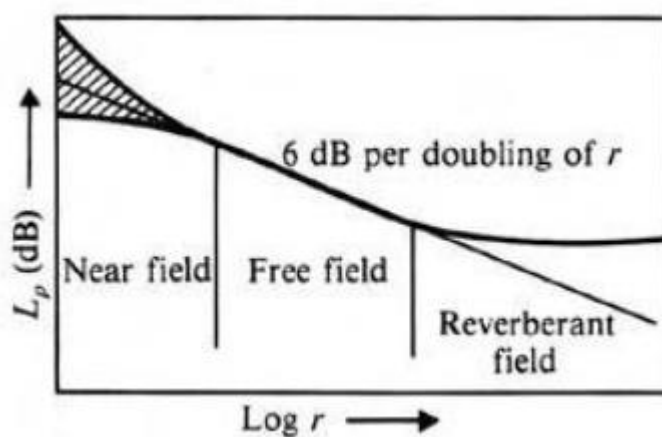


Fig. 2.11 – Evolução da pressão sonora com a distância [18]

O valor da pressão sonora referente ao campo reverberado também tende a decrescer com a distância à fonte, no entanto neste caso a um ritmo muito mais reduzido, o que se explica pelo facto de a energia do campo reverberado não se distribuir equitativamente pelo espaço.

2.4.7. CURVAS DE PONDERAÇÃO

Como já tinha referido anteriormente, o ouvido humano está limitado a captar um determinado intervalo de frequências, sendo percepção das mesmas com intensidades diferentes. O ouvido capta as pressões sonoras e transforma-as em pressões auditivas, mas a sensibilidade auditiva varia com a frequência, isto é, sons com o mesmo nível de intensidade, podem ser percebidos como se tivessem intensidades diferentes, no caso de terem diferentes frequências.

No gráfico da figura 2.12, que representa curvas isofónicas, pode verificar-se como a sensibilidade auditiva difere de acordo com a frequência do som. [17]

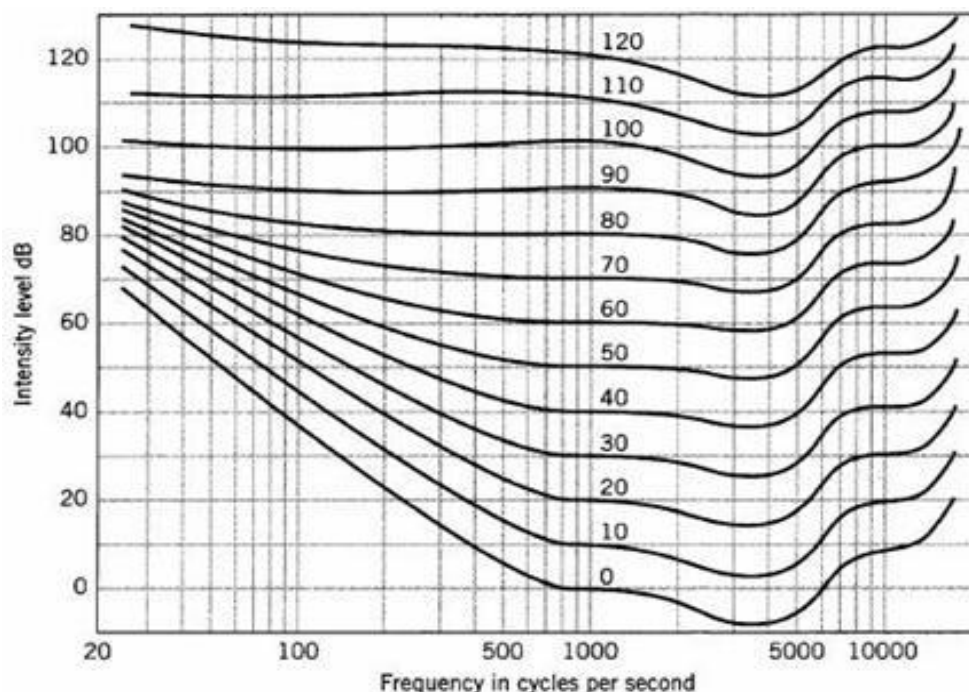


Fig. 2.12 – Sensibilidade auditiva [18]

As curvas isofónicas são utilizadas para medir a sensibilidade auditiva que, através de uma escala subjetiva, a classifica, sendo medida em *fons*.

Ao contrário do ouvido humano, nos microfones, o intervalo de frequências não interfere na captação sonora, sendo estes capazes de captar cada som com a respetiva intensidade. Para fazer face a esta discrepância de intensidades, foram desenvolvidas as curvas ou filtros de ponderação, que se aproximam à não linearidade do ouvido humano, possibilitando reproduzir o seu comportamento para diversas frequências. Basicamente, estas curvas são utilizadas como filtros, aplicados em microfones, de modo a captar as pressões sonoras através do microfone como se este se tratasse de um ouvido humano (figura 2.13). [17]

Estão normalizadas internacionalmente 4 curvas de ponderação, designadas simplesmente A, B, C e D. A curva de ponderação mais utilizada é a Curva A, pois é a que melhor correlaciona os valores medidos com a incomodidade ou risco trauma-auditivo do sinal sonoro.

As curvas C e D raramente são utilizadas, enquanto que a curva D é fundamentalmente utilizada para altos valores de intensidade sonora [2].

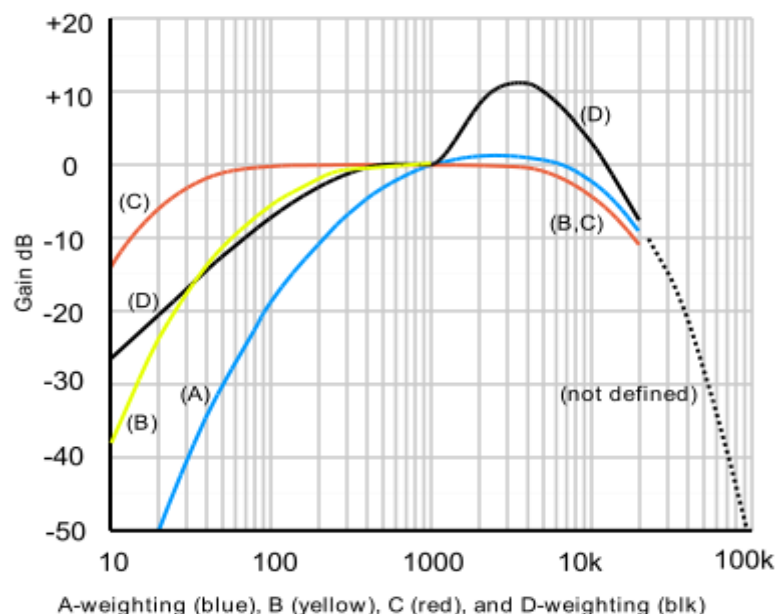


Fig. 2.13 – Curvas de ponderação A, B, C e D [19]

2.4.8. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO

A velocidade de propagação do som é a distância percorrida por uma frente de onda sonora por unidade de tempo [2].

Como já tinha sido referido as ondas sonoras são ondas mecânicas longitudinais e viajam a uma velocidade constante, dependente do meio.

O quadro 2.2 remete para as diferenças da velocidade de propagação do som em diferentes meios.

Quadro 2.2 – Velocidade de propagação do som em diferentes meios [3]

Velocidade de propagação do som em diferentes meios

Meio	Velocidade (m/s)
Dióxido de carbono	260
Ar (0 °C)	330

Ar (20 °C)	340
Álcool etílico	1180
Água (20 °C)	1480
Ferro	3570
Betão	5000

A velocidade de uma onda sonora é diretamente proporcional à temperatura, densidade e rigidez do meio em que se propaga. Por outro lado, esta não varia com a pressão atmosférica nem com a frequência. No caso de os meios serem sólidos, a sua densidade e o seu módulo de Young (relacionado com a elasticidade) também interferem na velocidade de propagação das ondas [2].

A frequência faz variar a distância de propagação. O ar é mais resistente à transmissão de altas frequências. Por isso, a grandes distâncias, ouve-se com maior intensidade os sons graves que os sons agudos. [10]

2.4.9. CAMPO DIRETO E CAMPO REVERBERADO

Já referidos num dos subcapítulos anteriores, o campo direto e o campo reverberado, definem o nível de pressão sonora de determinado som.

Estes distinguem-se principalmente, por um campo ter energia variável e outro ter energia constante.

O campo direto é um campo de energia variável, com origem nas ondas diretas que diminuem com a distância do recetor à fonte. O *campo reverberado* é um campo de energia constante e diz respeito às reflexões criadas no compartimento que posteriormente atingem o recetor.

A equação seguinte traduz o nível de intensidade sonora perceptível num espaço e resulta da soma do nível de potência sonora da fonte (L_w) com a parcela dos campos direto e reverberado.

O campo direto depende da distância à fonte (r) e da direcionalidade da fonte sonora (Q). Q deverá tomar o valor de 1 caso a fonte seja omnidirecional, ou seja, caso emita com a mesma energia em todas as direções; e deverá tomar o valor de 2, caso a fonte omnidirecional seja colocada próxima de uma superfície refletora. O *campo reverberado* depende fundamentalmente das condições de absorção sonora (R) do espaço em questão. [2]

$$L_1(dB) = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (2.11)$$

$$\text{Onde, } R(m^2) = \frac{A}{(1-\alpha_{\text{médio}})}$$

2.5 AVALIAÇÃO DO RUÍDO

2.5.1 FONTES SONORAS

Fonte sonora pode definir-se como qualquer elemento que produz uma variação de pressão traduzida num som. As fontes sonoras podem ser dos mais variados tipos, podendo produzir sons de características diferentes, de variadíssimas intensidades e frequências.

Os ruídos relacionados com as pessoas são provocados principalmente pela conversação e pela movimentação. Por norma, são ruídos extremamente variáveis e, no máximo, atingem os 90 dB (para movimento e manuseamento de objetos) e valores médios de 60 dB (para conversas) (figura 2.14).

As máquinas, por outro lado, provocam ruídos muito mais constantes e apresentam normalmente valores médios de intensidade mais elevados, variando consoante a função/trabalho do aparelho (ver exemplos das figuras 2.15 e 2.16).

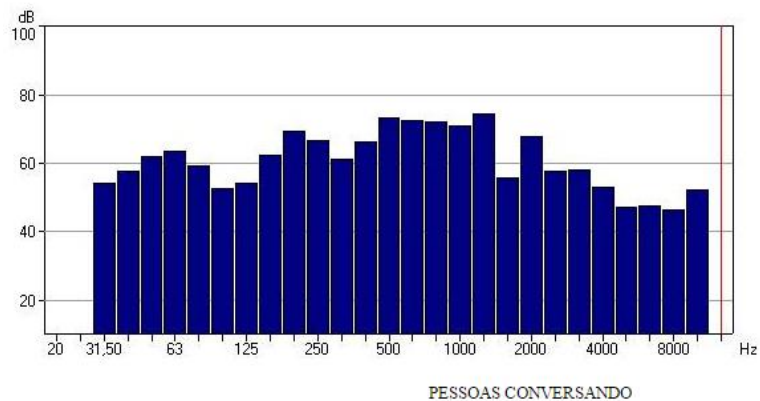


Fig. 2.14 – Níveis médios de intensidade gerados numa conversa corrente [21]

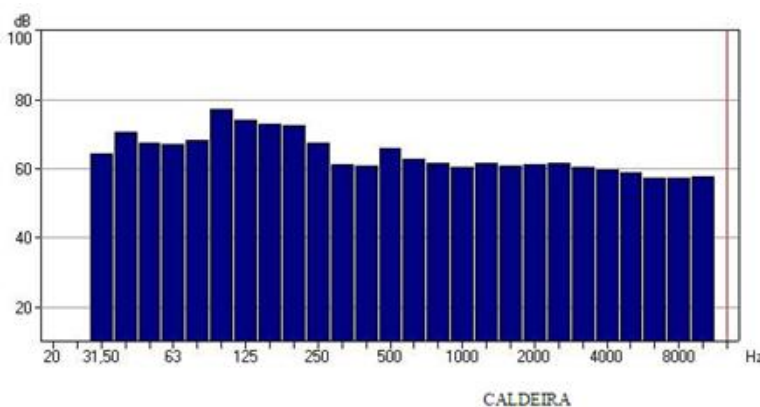
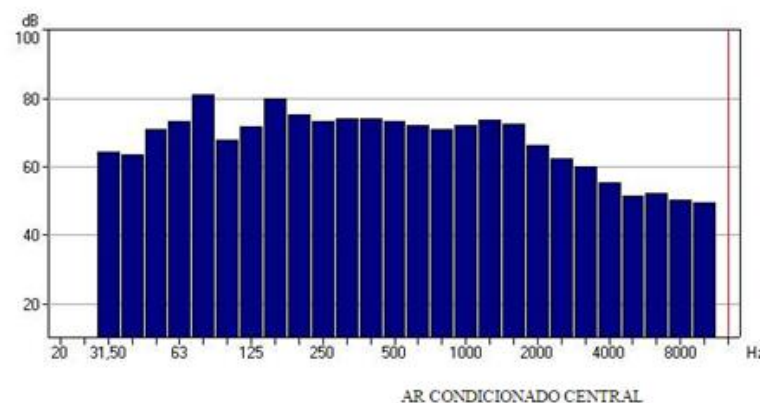


Fig. 2.15 e 2.16 – Níveis médios de intensidade gerados por um sistema de ar condicionado e por uma caldeira [21]

2.5.2. RUÍDO DE FUNDO

O ruído é o causador da chamada poluição sonora, caracterizada pela emissão contínua de barulhos. O ruído, conforme referido anteriormente define-se, como qualquer som indesejável, desagradável ou perturbador, e é capaz de causar dano físico ou psicológico para quem o ouve. A sua composição pode variar quer ao nível de frequência, intensidade e duração.

À média dos níveis de ruído mínimos dá-se o nome de ruído de fundo (RF), ou ruído residual, e é o ruído resultante de todas as atividades envolventes e exteriores ao domínio de privacidade ou interesse do ouvinte. [22]

É corrente considerar, em a análise estatística dos níveis de pressão sonora, o nível de ruído de fundo como o nível que é superado em 95% do tempo de medição – L95. [2]

No presente caso de estudo, o ruído de fundo deve-se principalmente à conversação e atividade dos utilizadores e funcionários do refeitório (manuseamento de talheres e instrumentos de cozinha), bem como aos sistemas de AVAC. Pode ainda haver ruído proveniente do exterior, provocado sobretudo pelo tráfego.

2.5.3 EFEITO LOMBARD

Entende-se por *Efeito Lombard* (EL) o fenómeno em que se gera elevação da intensidade na emissão da palavra, devido ao ruído de fundo existente no espaço. [2]

Este conceito, dado a conhecer em 1911 por um físico francês com o mesmo nome, é de surgimento bastante expectável em locais como refeitórios ou restaurantes, pela elevada densidade de pessoas a falar simultaneamente num determinado espaço. Muita gente a falar no mesmo espaço gera um elevado ruído de fundo que dificulta a compreensão e transmissão da palavra. Esta dificuldade fará cada pessoa elevar a intensidade da voz, o que, por sua vez, fará elevar o ruído de fundo. O ruído aumentará em “efeito bola de neve” até que se estabeleça o limite da intensidade vocal, fisicamente impossível de exceder. [23]

2.5.4. EFEITO COCKTAIL PARTY

Por sua vez, o *Efeito Cocktail Party* (ECP) define-se como a capacidade de focar a audição num único comunicador na presença de várias conversações simultâneas ao mesmo nível sonoro, num ambiente reverberante. A tendência natural das pessoas nestas situações é elevar o tom de voz, subindo o seu nível de intensidade e elevando a relação sinal/ruído. [2]

Por exemplo, numa conversa numa festa barulhenta, uma pessoa é capaz de ouvir e entender a pessoa com quem está a falar, ignorando o ruído de fundo. No entanto, tenderá a elevar o tom de voz para que seja possível ouvi-lo no meio de tantos sons, contribuindo também para elevar o ruído de fundo.

Pessoas com os dois ouvidos saudáveis sofrem menos com este efeito, uma vez que podem localizar melhor os sons, através da localização binaural. Pessoas com apenas um ouvido funcional são muito mais perturbadas pela interferência de ruído. [24]

2.5.5. RELAÇÃO SINAL/RUÍDO

A relação sinal/ruído consiste na diferença de nível (em dB) entre a fonte sonora em questão e o ruído de fundo. Quando o som emitido pela fonte é de igual intensidade ao ruído de fundo, o valor da relação

é 0 (valor de referência). Então, valores positivos representam situações em que a intensidade da fonte é superior ao ruído de fundo e valores negativos para o caso contrário (figura 2.17).

Esta relação tem grande utilidade pois permite para medir a inteligibilidade e a privacidade de determinado espaço. Valores positivos permitem uma boa inteligibilidade, mas pouca privacidade, enquanto que valores negativos representam situações em que a inteligibilidade da palavra é fraca. [25]

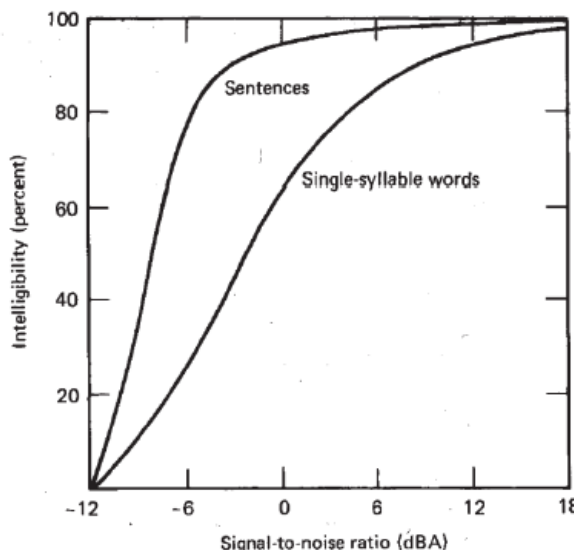


Fig. 2.17 – Relação entre inteligibilidade da palavra e relação sinal/ruído [25]

2.5.6. CURVAS DE INCOMODIDADE

As curvas de incomodidade servem para classificar ou quantificar a perturbação causada por dado ruído de fundo, em determinado ambiente, através dos seus níveis de pressão sonora.

A medição das ondas sonoras, para obter resultados mais adequados e conclusivos deve ser feita, de preferência à altura dos ouvidos dos ouvintes. Habitualmente, este tipo de curvas é mais usado em ambientes com ruídos de fundo contínuo e pouco variável, como acontece sobretudo em locais em funciona maquinaria (sistemas AVAC por exemplo).

As curvas de maior relevância para o caso em questão são a *Noise Criteria* (NC), a *Noise Rating* (NR) e *Room Criteria* (RC).

A *Noise Criteria* (NC) é uma curva é definida pelos seus níveis de pressão sonora em oito bandas de uma oitava, entre os 63 Hz e os 8 kHz. São registados os valores de pressão sonora para cada banda, sendo a NC o resultado da tangente ao máximo valor dessas medições. Por exemplo, uma classificação NC-50 significa que nenhum valor dos níveis de pressão medidos ultrapassa o valor da curva correspondente a NC-50 (figura 2.18).

A *Noise Rating* (NR) é uma curva mais utilizada que a NC. Semelhante à anterior, a NR foi institucionalizada em 1971 por norma ISO. Esta utiliza bandas de frequências de 32 Hz a 8 kHz e os valores de classificação são obtidos pelo método da tangente, tal como na curva NC (figura 2.19).

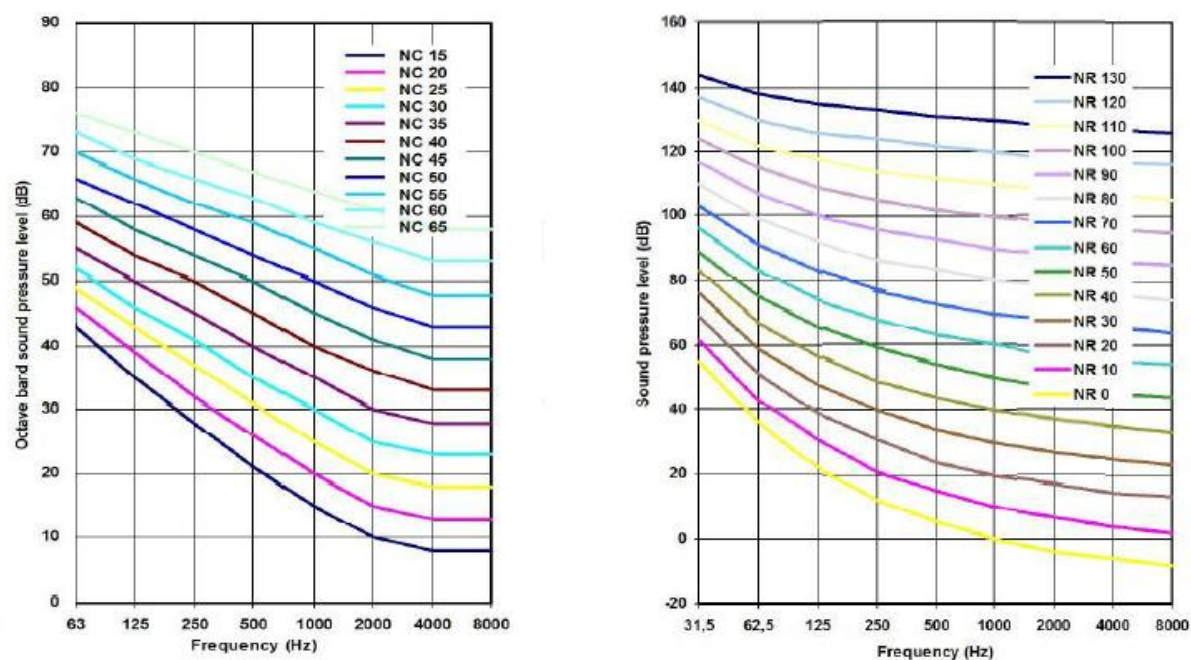


Fig. 2.18 e 2.19 – Curvas Noise Criteria [26] e Noise Rating [27]

Mais tarde, em 1981, o investigador *Blazier* desenvolveu o conjunto das curvas *Room Criteria* – RC – para aplicação preferencial como critério em espaços desocupados servidos por sistemas e instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado, e visam classificar o ruído de fundo no interior dos edifícios (figura 2.20).

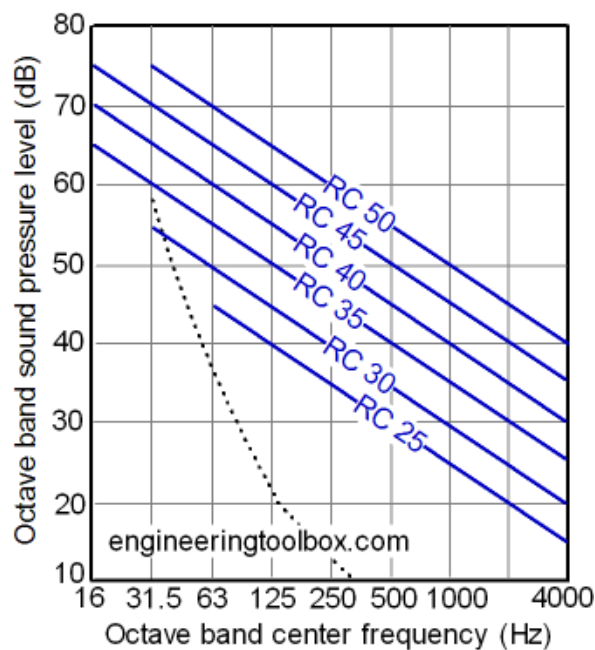


Fig. 2.20 – Curva Room Criteria [28]

2.5.7 NÍVEL DE INTELIGIBILIDADE NA PALAVRA

A inteligibilidade da palavra define-se como a aptidão de perceber e compreender bem um discurso e surge como um dos principais parâmetros de classificação dos espaços, pois reflete o nível de entendimento no diálogo entre as pessoas.

A inteligibilidade da palavra depende das características do espaço físico envolvente e das características da fonte sonora em análise.

Relativamente às características do espaço físico, a inteligibilidade encontra-se dependente sobretudo do tempo de reverberação e do ruído de fundo.

Como foi referido anteriormente, em espaços frequentados por muita gente simultaneamente (como restaurantes) pode gerar-se um elevado ruído de fundo. Este ruído de fundo, naturalmente, surgirá como barreira ao diálogo entre as pessoas, criando interferência na compreensão dos ouvintes, sendo habitual recorrer-se à *relação sinal/ruído* para perceber a sua influência na inteligibilidade. O quadro 2.3 remete para os pontos-chave da relação entre o ruído e a inteligibilidade.

Quadro 2.3 – Síntese da relação ruído/ inteligibilidade [25 apud 2]

REVERBERAÇÃO VS INTELIGIBILIDADE

A inteligibilidade varia com o inverso do quadrado do TR
Para uma boa inteligibilidade da linguagem, o TR60 deve permanecer abaixo de 1 s
O nível de campo reverberante depende da absorção das superfícies do local, do volume do ambiente e do nível do som gerado
Em algumas avaliações da inteligibilidade, é usado o EDT (<i>Earl Decay Time</i>) como medida da reverberação

Relativamente ao tempo de reverberação do espaço, o quadro seguinte evidencia a sua estreita relação com a inteligibilidade da palavra, sendo, por isso, um parâmetro tão importante na sua avaliação.

Quadro 2.4 – Síntese da relação ruído/ inteligibilidade [2]

RUÍDO VS INTELIGIBILIDADE

A relação sinal/ruído (SIN) é essencial para a inteligibilidade
Para SIN entre 0 e +10 dB a inteligibilidade será fraca; para 5/14 entre +20 e +30 dB será muito boa; para 5/14 entre +30 e +40 dB será excelente
A direção em que o ruído mascarante chega ao ouvinte é relevante. Quando a direção do ruído é a mesma do som da palavra, o efeito mascarante torna-se maior
O mascaramento do ruído será maior quando o seu espectro for mais intenso na banda de transmissão de informações (1 a 4 kHz)

Além das características do espaço, também as características do som emitido interferem na palavra. As características da voz do orador, que pode ser mais grave ou mais aguda, também interferem na inteligibilidade, uma vez que os sons agudos são mais facilmente mascaráveis pelo ruído de fundo.

Além disso, a relação entre vogais e consoantes usadas no discurso também pode interferir na compreensão. Por exemplo, só se conseguem distinguir as seguintes palavras, através das suas respetivas consoantes: *cai*, *pai*, *sai*, *vai*. Isto deve-se ao facto de, por norma, se utilizar mais tempo e maior intensidade (em média mais 70 ms e mais 12 dB) nas vogais do que nas consoantes. Além disso, o espectro das vogais é essencialmente constituído por sons graves, contrariamente ao espectro das consoantes, em que os sons agudos são mais abundantes, contribuindo para condicionar ainda mais a inteligibilidade (os sons agudos são mais fáceis de mascarar por absorção sonora, comparativamente aos sons graves) [29].

2.5.8 PARÂMETROS DE MEDIDA DO NÍVEL DA INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

A Definição (D50) corresponde à razão entre a energia recebida nos primeiros 50 ms e a energia total recebida [6]. A sua medição requer equipamentos próprios de ensaios acústicos e este parâmetro, habitualmente, expresso em percentagem, traduz-se através da seguinte expressão:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} dt \quad (2.12)$$

O índice de articulação, ou *articulation index* (AI), foi desenvolvido em 1950, com o objetivo de prever a capacidade de perceção do discurso por pessoas normais, sujeitas a um ambiente com determinado ruído de fundo presente.

Este método é calculado tendo em conta o nível de intensidade de determinada conversação face à intensidade do ruído de fundo em determinado compartimento. Para isso, são medidos os valores do nível de pressão sonora do ruído de fundo para cada uma das cinco bandas de 1/1 de oitava, nas frequências entre os 250 e 4000 Hz, ou, para uma análise mais exata, consideram-se os valores das quinze bandas de 1/3 de oitava, nas frequências entre 200 e 5000 Hz. A diferença do nível de conversação com o ruído de fundo não deve ultrapassar os 30 dB para cada banda de frequência. Caso contrário, o valor da diferença deve ser substituído por 30 dB. Após uma ponderação da diferença entre o nível da conversação e do ruído de fundo com o peso relativo a cada frequência, são somados todos os valores resultantes desta operação. O AI é o obtido através da divisão do somatório anterior por 10000. No quadro seguinte podem comprovar-se os valores dos níveis de conversação e dos pesos relativos a cada frequência para as bandas de 1/1 e 1/3 de oitava. [30]

Quadro 2.5 – Valores dos níveis de conversação e dos pesos relativos a cada frequência para bandas de 1/3 e 1/1 de oitava [30]

Frequências (Hz)	Ponderação A para 1/3 oitava (dB)	Ponderação A para 1/1 oitava (dB)
32	-39,4	-40
63	-26,2	-26

125	-16,1	-15,5
250	-8,6	-8,5
500	-4,8	-3
1k	0	0
2k	1,2	+1
4k	1	+1
8k	-1,1	-1
16k	-6,6	-7

O quadro 2.6 indica a percepção subjetiva da inteligibilidade da palavra em função dos valores numéricos do AI.

Quadro 2.6 – Relação entre índice de articulação, grau de privacidade e grau de inteligibilidade [6]

AI (Índice de Articulação)	Grau de Privacidade	Grau de Inteligibilidade
<0,05	Confidencial	Nula
[0,05 – 0,20]	Normal	Muito Fraca
[0,20 – 0,35]	Marginal	Fraca
[0,35 – 0,40]	Pobre	Sofrível
[0,40 – 0,65]	Quase sem privacidade	Boa
>0,65	Inexistente	Excelente comunicação

O SIL (*Speech Interference Level*), tal como o AI, foi desenvolvido com a intenção de caracterizar objetivamente a inteligibilidade da palavra. Para isso, este método compara valores limites com a média dos valores dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo por banda de oitava nas frequências de 500, 1k, 2k e 4k Hz, dependendo da distância entre orador e ouvinte (a percepção das consoantes tem de novo bastante influência) [30]. É um método dependente sobretudo da percepção das consoantes, na medida em que, conforme referido anteriormente, algumas palavras só são distinguíveis pelas consoantes.

Todas as reflexões que chegam ao ouvido humano, nos primeiros 50 ms, após a chegada do som direto, são apercebidas como um único som, devido ao Efeito de Precedência. Essas reflexões contribuem para uma maior sensação de intensidade desse som e, por isso, para uma melhor inteligibilidade da palavra. A partir dos 50 ms, as reflexões captadas já são apercebidas como outro som, podendo assim contribuir para o mascaramento sonoro. Assim, tendo em conta este efeito, é possível caracterizar a inteligibilidade

da palavra através da comparação da energia sonora da resposta impulsiva, correspondente apenas aos 50ms iniciais, com a energia sonora posterior a esses primeiros 50 milissegundos. [31]

Na figura 2.21 pode observar-se a relação entre o SIL e a distância entre orador e ouvinte.

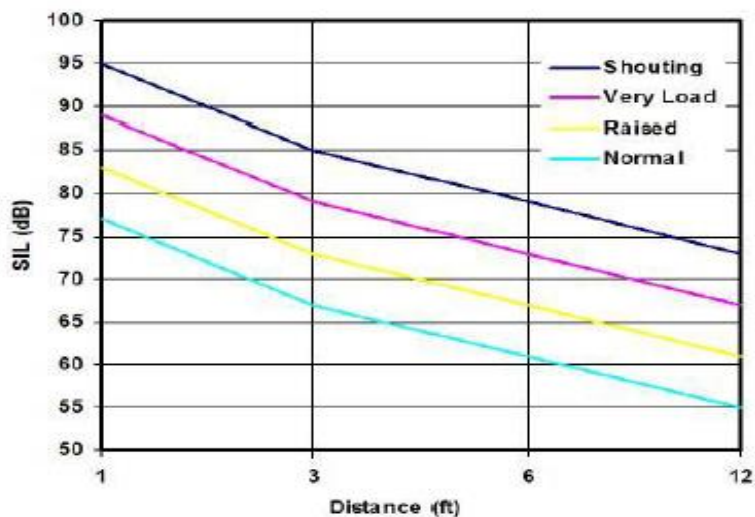


Fig. 2.21 – Variação do SIL com a distância [32]

O SIL, dado em decibéis, pode ser conseguido através da seguinte expressão, em que RF representa o nível de ruído de fundo para cada banda de frequência (500, 1000 e 2000 Hz):

$$\text{SIL (dB)} = \frac{\text{RF}_{500\text{Hz}} + \text{RF}_{1000\text{Hz}} + \text{RF}_{2000\text{Hz}}}{3} \quad (2.12)$$

Com base no SIL, Webster propôs, em 1967, uma ligeira modificação no método, passando a considerar apenas as bandas de frequências de 500, 1k e 2k Hz. Este novo índice passou a designar-se de PSIL (*Preferred Speech Interference Level*), cuja expressão é a seguinte:

$$\text{PSIL (dB)} = \text{RF}_{500\text{Hz}} + \text{RF}_{1000\text{Hz}} + \text{RF}_{2000\text{Hz}} \quad (2.13)$$

Os valores obtidos pela expressão podem ser correlacionados, através do gráfico da figura seguinte, com distância entre fonte, recetor e tons de voz (masculino e feminino), permitindo classificar a intensidade da voz.

Quadro 2.7 – Correlação entre distância à fonte sonora e valores do PSIL para classificar a intensidade da voz. [30]

Distância (m)	PSIL (dB)							
	Esforço da voz							
	Normal		Elevado		Muito alto		Gritando	
	M	F	M	F	M	F	M	F

0,3	68	63	74	69	80	75	86	81
1,0	58	53	64	59	70	65	76	71
2,0	52	47	58	53	64	59	70	65
3,0	48	43	54	49	60	55	66	61
4,0	46	41	52	47	58	53	64	59
6,0	43	38	49	44	55	50	61	56
8,0	40	35	46	41	52	47	58	53
9,0	39	34	45	40	51	46	57	52
10,0	39	34	45	40	51	46	57	52
12,0	37	33	43	38	49	44	55	50
13,0	36	31	42	37	48	43	54	49
16,0	34	29	40	35	46	41	52	47
22,0	32	27	38	33	44	39	50	45

Um método de grande aplicabilidade para medir a inteligibilidade de um espaço é o método analítico STI – *Speech Transmission Index*. Este método que tem em consideração o efeito do ruído de fundo e da reverberação, baseia a determinação da qualidade de transmissão e receção da palavra no domínio da inteligibilidade na emissão de um sinal que simula as características acústicas da voz humana por uma fonte sonora, situada na posição do orador e recebido por um microfone situado no lugar do recetor, sendo constante a diminuição da taxa de modulação do sinal. A função de modulação de transferência entre o emissor e o recetor é, depois, convertida numa taxa de inteligibilidade da palavra, podendo o resultado variar entre zero e um.

O registo de valores para o STI baseia-se na determinação da função de transferência de modulação em 98 pontos obtidos a partir de 14 frequências de modulação, repartidas de terço de oitava em terço de oitava, de 0,63 Hz em 12,5 Hz e a partir de sete bandas de oitava, donde as frequências centrais são escalonadas de 125 Hz a 8 kHz. O problema deste método reside no facto de serem necessárias noventa e oito medições, o que o torna muito complexo e moroso.

Como alternativa mais simplificada ao STI, surgiu, em 1971, o método do *Rapid Speech Transmission Index* (RASTI). Aperfeiçoado em 1985 pela *Brüel & Kjaer*, que produziu os seus próprios aparelhos de medição, o RASTI é um método muito utilizado atualmente. [6]

Tal como a denominação indica, pode ser considerada a versão rápida do método STI. A função de transferência de modulação é calculada em duas bandas de frequências: 500 e 2000 Hz, que são essenciais para a inteligibilidade da palavra e para a seleção da modelação da frequência. A medição deverá ser feita, recorrendo a vários registos em diferentes posições e mais que uma vez em cada posição, para garantir fiabilidade.

O valor do RASTI varia entre zero e um e pode ser convertido, através do seguinte quadro, apresentado na Norma CEI 268-16 [34], numa escala subjetiva de inteligibilidade da palavra.

Quadro 2.8 – Quadro para classificação de inteligibilidade através do RASTI

RASTI	INTELIGIBILIDADE
[0 – 0,30]	Má
[0,30 – 0,45]	Medíocre
[0,45 – 0,60]	Suficiente
[0,60 – 0,75]	Bom
[0,75 – 1,00]	Excelente

2.6. CORREÇÃO ACÚSTICA

2.6.1. INTRODUÇÃO

A correção ou condicionamento acústico de espaços tem como objetivo conferir-lhe características adequadas à sua utilização relativamente aos efeitos sonoros no seu interior, isto é, melhorar as condições acústicas interiores adaptando-as às necessidades referentes ao uso do espaço.

Estas melhorias acústicas, por norma, traduzem-se num reforço dos níveis de absorção do espaço, mas, também, na melhoria de valores da difusão, por exemplo.

2.6.2. ABSORÇÃO SONORA

2.6.2.1. INTRODUÇÃO

O embate de determinado sinal sonoro num obstáculo, resulta em 3 fenómenos: parte dele é refletido; outra parte é transmitida através do mesmo; e uma terceira parte é absorvida (Figura 2.22). A quantidade de energia refletida e dissipada pelo obstáculo está dependente das características materiais que este apresenta, ou do seu coeficiente de absorção α [2]. Conforme se pode verificar na expressão seguinte, este coeficiente é dado pelo quociente entre energia absorvida e a incidente.

$$\alpha = \frac{\text{Energia Absorvida}}{\text{Energia Incidente}} \quad (2.17)$$

O valor do coeficiente de absorção sonora está compreendido entre 0 e 1. Se o coeficiente de absorção sonora de determinada superfície for 0.4, significa que o material em questão absorve 40% da energia sonora incidente. Um material é considerado acusticamente absorvente quando o seu coeficiente de absorção sonora é igual ou superior a 0,5. [3]

Atualmente existem várias tecnologias de absorção sonora, com diferentes rendimentos de absorção para diferentes frequências. Para a seleção do processo a utilizar em determinada situação, deve então ser feita uma análise ao coeficiente de absorção de diferentes materiais para a gama de frequências que se pretende minorar e selecionar o mais conveniente.

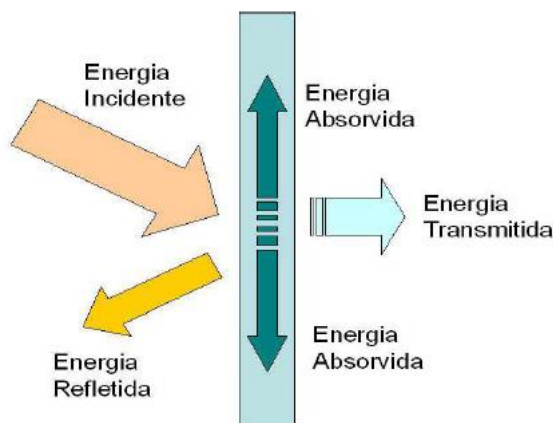


Fig. 2.22 – Diagrama exemplificativo do embate da onda sonora num obstáculo [20]

A absorção sonora média de um espaço é a grande responsável pelo seu tempo de reverberação.

2.6.2.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O Tempo de Reverberação (TR) de um compartimento é, em termos genéricos, o tempo que demora desde a chegada da onda direta até a chegada da última onda sonora refletida. Na figura 2.23 pode-se observar o fenómeno de reflexão das ondas sonoras.

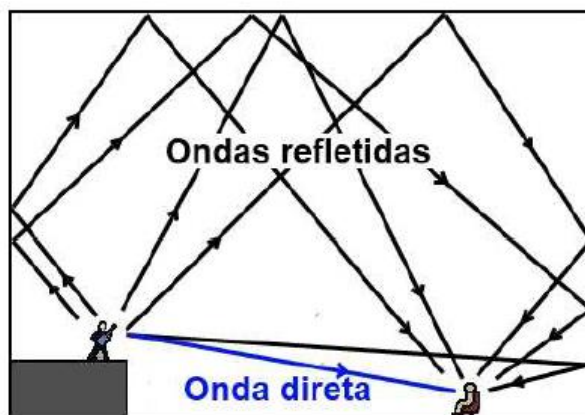


Fig. 2.23 – Reflexões das ondas sonoras num espaço fechado [20]

Como todos os ambientes estão sujeitos a um nível de pressão sonora muito superior a 0 dB, definiu-se o tempo de reverberação como o tempo (em segundos) que a energia de um campo sonoro reverberante estacionário leva a decair 60 dB, ou seja, o tempo que demora um ruído a decair em 60 dB após a sua emissão ser interrompida. É habitualmente designado como T60, T ou TR. Foi proposto pelo físico *Wallace Sabine*, em 1900, que foi um grande impulsionador de estudos da acústica, tendo desenvolvido a fórmula (abaixo descrita) que permite calcular o tempo aproximado de reverberação de um recinto, conhecidos os seus materiais e características físicas. [2]

$$TR = \left(\frac{0,16 \times V}{A} \right) \quad (2.12)$$

Sendo V , o volume do espaço em m^3 e A , a absorção sonora em m^2 .

A absorção sonora da superfície em causa é dada por:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times S_i \quad (2.13)$$

Sendo α_i , o coeficiente de absorção sonora do material e S_i , a área de cada material em m^2 .

Um elevado TR pode contribuir bastante amplificação do som em determinado espaço e, geralmente, tem um efeito desfavorável à sua qualidade acústica. Por isso, o TR é um parâmetro fundamental para a caracterização acústica do que determina “vivacidade” dos espaços, sendo habitual designar uma sala “acusticamente viva” quando apresenta um TR considerável e “acusticamente morta” quando existe pouca reverberação. [2]

Para garantir uma acústica apropriada em determinado espaço, é fundamental controlar o TR desse mesmo espaço, adequando-o à sua funcionalidade. Vários estudos foram feitos de forma a padronizar valores de TR aceitáveis para diferentes utilizações espaciais. O TR tido como ideal para restaurantes situa-se os 0.8 e os 1.2s. [2]

2.6.2.3. TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL

O Tempo de Decaimento Inicial (EDT), diferencia-se do TR pois avalia o tempo que o nível de intensidade sonora tarda a reduzir 60 dB ao seu valor na fonte, extrapolando valores a partir dos 10 dB de decaimento iniciais. [2]

Apesar de serem conceitos similares, enquanto o TR está mais ligado às propriedades físicas do espaço, o EDT está mais ligado à reverberação percebida pelo ouvinte.

O EDT, por ser medido logo nos primeiros instantes de decaimento da pressão sonora, torna-se um bom parâmetro a utilizar em situações de grande ruído de fundo ou com variações do campo difuso.

2.6.2.4. TECNOLOGIAS DE ABSORÇÃO SONORA

Os materiais absorventes podem ser agrupados em três principais categorias, em função das suas características, sendo eles [10]:

- Materiais Porosos e Fibrosos;
- Ressonadores;
- Membranas Ressonantes.

Há ainda outras tecnologias, incluindo os absorsores suspensos ou os difusores, como vamos ver mais adiante.

Cada um destes tipos de materiais atua numa gama diferente de frequências (figura 2.24), sendo as membranas mais eficazes nas baixas frequências, os ressoadores nas médias frequências e os porosos e fibrosos nas altas frequências.

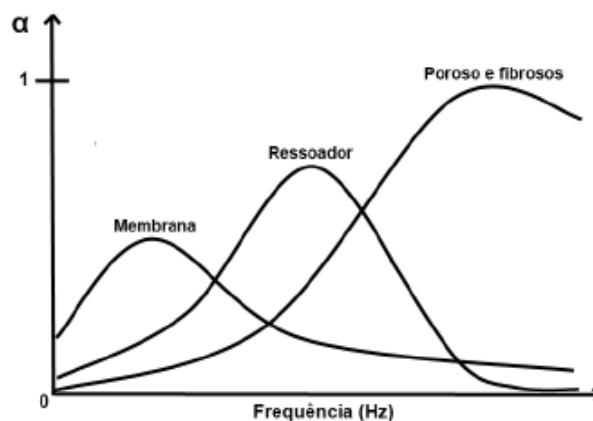


Fig. 2.24 – Diferentes tecnologias têm eficácias diferentes consoante as frequências das ondas sonoras [10]

a) MATERIAIS POROSOS

Os materiais porosos (figura 2.25) são caracterizados fisicamente por possuírem uma estrutura aberta de pequenas dimensões. Esta estrutura é acessível sobretudo às ondas sonoras de comprimento de onda reduzido, o que explica a sua maior eficácia para altas frequências. [10]

As ondas sonoras, quando entram em contacto com estas superfícies, fazem movimentar o ar ao longo do conjunto de partículas/fibras que os constituem, dissipando a energia sonora sob a forma de calor por vibração da sua própria estrutura.



Fig. 2.25 – Exemplo de material poroso [35]

Existem vários tipos de materiais porosos e fibrosos que podem ser qualificados, consoante as suas características físicas:

- Tecidos e Alcatifas

Quanto maiores forem a espessura, o peso específico e do grau de franzido dos tecidos e alcatifas, mais eficazes serão acusticamente.

- Massas porosas

Trata-se de minerais projetados com um peso específico de $150 (\pm 15) \text{ kg/m}^3$, apresentando excelente comportamento acústico. A sua qualidade como material absorvente pode ser drasticamente prejudicada quando pintados, pois a tinta tende a tapar os poros existentes, prejudicando o seu funcionamento.

- Aglomerados de fibras de madeira

Trata-se de materiais que apresentam razoáveis comportamentos acústicos nas altas frequências.

- Fibras minerais

São excelentes materiais absorventes de altas frequências. As fibras mais correntes são a lã de rocha e lã de vidro.

- Materiais plásticos

O poliuretano expandido e o poliestireno expandido são dois exemplos de materiais deste tipo. Apresentam razoável comportamento absorvente nas altas frequências.

- Aglomerados de cortiça

Existe o aglomerado negro de cortiça e o aglomerado composto de cortiça.

Apesar de estes materiais serem mais indicados para altas frequências, a sua eficiência para frequências mais baixas pode ser melhorada com aumento da espessura (figura 2.26). Assim, a espessura ótima do material depende sobretudo da gama de frequências para a qual se pretende que o desempenho de absorção seja elevado.

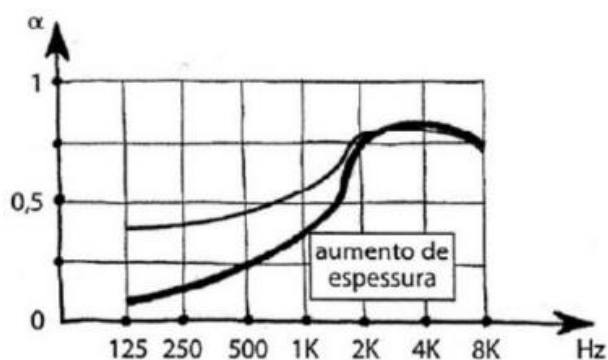


Fig. 2.26 – Curva do comportamento médio de materiais porosos [2]

b) RESSOADORES

Os ressoadores ou ressoadores de *Helmholtz* (figuras 2.28 e 2.29) são sistemas para atuar na absorção de médias frequências preferencialmente. Um ressoador é um sistema composto por uma cavidade de paredes rígidas com um pequeno orifício, apresentando uma forma idêntica a uma garrafa. [10]

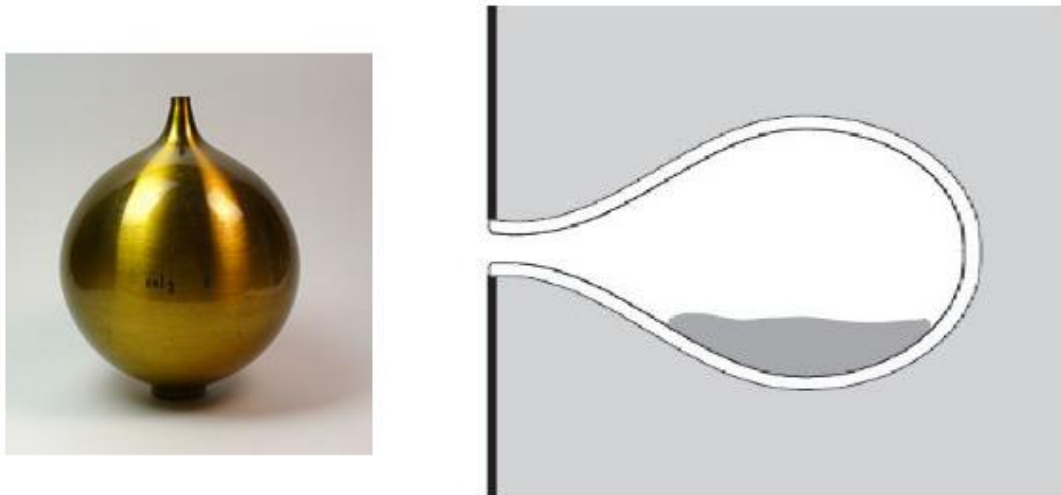


Fig. 2.27 e 2.28 – Ressorador de *Helmholtz* original [36] e esquema do seu interior [2] respetivamente

O ar do gargalo é colocado em vibração, de modo idêntico ao que acontece num sistema mecânico massa/mola. A massa em movimento é a do ar contido no gargalo e a mola é o ar existente no volume interior. [2]

Quando uma onda sonora alcança a superfície de entrada do gargalo da cavidade ressonante, provoca deslocamentos alternados à massa de ar aí contida. Estes deslocamentos, juntamente com a energia dissipada pelo atrito do ar contra a parede do gargalo, constituem o processo de absorção sonora conferido pelos ressoadores.

A sua frequência de eficácia máxima calcula-se através da expressão:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V(l + 1,6r)}} \quad (2.14)$$

Sendo:

c, a celeridade do ar em m/s;

A, a área do orifício de entrada (gargalo) em m²

V, o volume da cavidade interior em m³;

l, o comprimento do gargalo em m;

r, o raio do gargalo em m.

Englobados na categoria dos ressoadores, podem encontrar-se os ressoadores agrupados. A sua forma mais comum são os painéis perfurados (metálicos, de madeira ou de gesso cartonado), que são bastante utilizados em tetos falsos, conforme se pode ver nas figuras 2.29 e 2.30.



Fig. 2.29 e 2.30 – Exemplos de ressoadores agrupados em tetos falsos [2]

A frequência eficaz máxima dos ressoadores agrupados pode ser determinada da seguinte forma:

$$f = \frac{10 \times c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{d(e + 1,6r)}} \quad (2.15)$$

Sendo:

C, a celeridade do ar em m/s;

P, a percentagem de área perfurada;

d, a largura da caixa-de-ar em cm

e, a espessura da placa perfurada em cm;

r, o raio de cada perfuração em cm.

c) MEMBRANAS RESSONANTES

As membranas ressonantes (figura 2.31) são sistemas principalmente eficazes nas baixas frequências. São sistemas de estrutura bastante fina que, quando atingida por uma frente de onda sonora, entra em vibração, atenuando, desta forma, as possíveis reflexões. O seu funcionamento assemelha-se ao de um baloiço na medida em que quando se pretende parar um baloiço, não vamos contra ele, mas seguimos a direção do seu movimento, acrescentando resistência na direção inversa. O mesmo se processa entre estas membranas e as ondas sonoras. [10]



Fig. 2.31 – Exemplo de membrana ressonante [10]

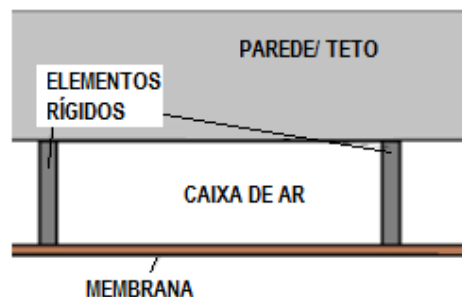


Fig. 2.32 – Esquema ilustrativo de uma membrana num sistema com caixa-de-ar [10]

É importante a presença de um material absorvente na caixa-de-ar da membrana, de forma a melhorar a sua eficácia absorvente (figura 2.33). Conforme se verifica no gráfico da figura seguinte, pode-se comparar a eficácia da absorção de uma membrana com e sem material absorvente.

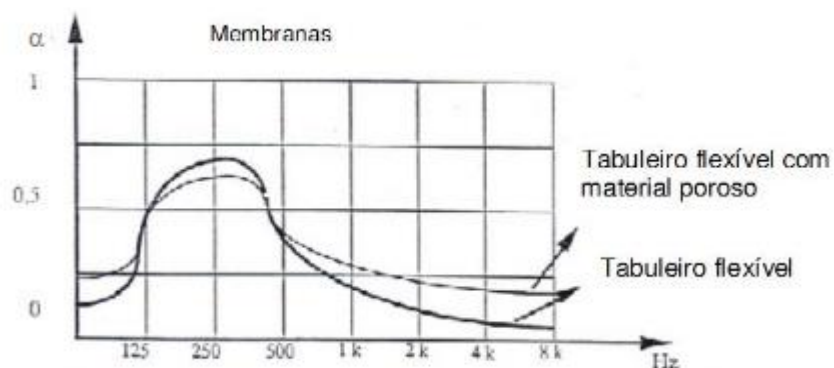


Fig. 2.33 – Curva de comportamento médio de uma membrana, com e sem material absorvente na caixa-de-ar

d) ABSORSORES SUSPENSOS - BAFLES

Os absorsores suspensos (figura 2.34) são utilizados para aumentar a capacidade de absorção de determinado espaço, fundamentalmente, aumentando bastante a área de absorção sonora do espaço. A implementação dos painéis absorventes, que os constituem, são colocados, suspensos, perpendicularmente ao teto.

Geralmente, estes painéis são de plásticos absorventes, como poliestireno expandido ou poliuretano. Esta é uma solução sobretudo indicada para pavilhões de grandes dimensões ou espaços com TR muito altos. [2] [10]



Fig. 2.34 – Exemplo de *difusores suspensos* aplicados num pavilhão [37]

e) DIFUSORES E GEOMETRIA ESPACIAL

Entende-se por difusão sonora como o fenómeno que ocorre quando a reflexão sonora acontece numa superfície irregular. É um fenómeno que ajuda a distribuir o som igualmente no espaço, uma vez que ocorre a dispersão das ondas refletidas independente do ângulo de incidência (figura 2.36). Assim, a difusão contribui para diminuir os problemas referentes ao posicionamento e à interferência de ondas, conferindo uma reverberação mais adequada ao espaço em questão. [10]

A particularidade desta tecnologia está no facto de ser uma técnica de difusão que apenas redistribui a energia no espaço, enquanto que as outras técnicas funcionam absorvendo energia.

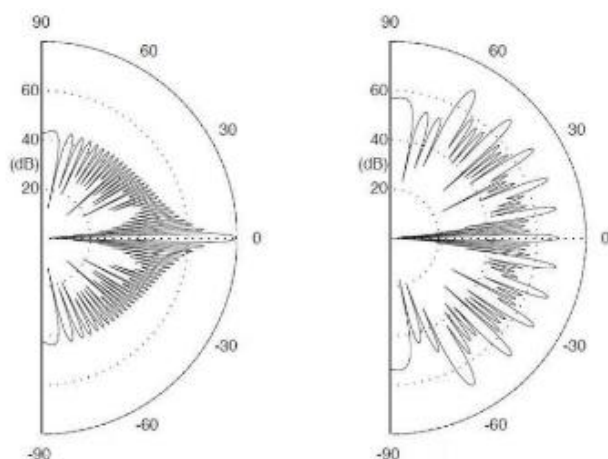


Fig. 2.35 – Espectro de reflexão direta e difusa respetivamente [38]

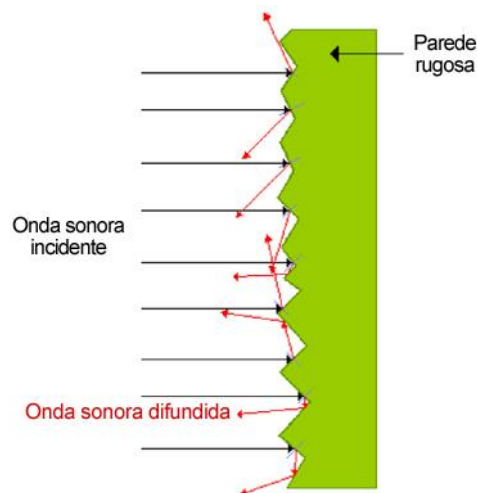


Fig. 2.36 – Esquema ilustrativo da difusão de uma onda sonora

Consoante as frequências que os difusores visam difundir, a sua forma pode variar. Para baixas frequências (elevados comprimentos de onda) recomenda-se que estes sejam mais “abertos” ou “ondulados”, enquanto que, para altas frequências interessa sobretudo que sejam dotados de pequenas irregularidades (como os materiais porosos). [2] [39]

Na figura seguinte pode observar-se um exemplo da aplicação desta tecnologia.

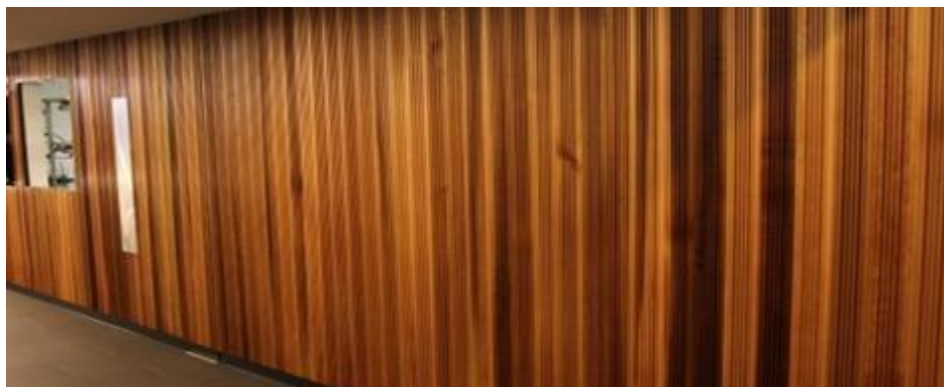


Fig. 2.37 – Exemplo parede revestida por difusor acústico [40]

2.7 ISOLAMENTO SONORO

2.7.1 INTRODUÇÃO

O conceito de isolamento sonoro presume a existência de dois espaços – um espaço emissor e um espaço recetor (no qual os sons recebidos são percebidos como sendo ruído) – geralmente contíguos; presume ainda o impedimento da passagem desse som-ruído entre os dois espaços. [6]

Um problema de isolamento sonoro pode ser também classificado segundo a forma como se processa a emissão e propagação do ruído no espaço emissor. [2]

No caso de a emissão e propagação do ruído se processar através da vibração do ar contido no espaço emissor por solicitação de uma dada fonte, estamos perante um problema de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea. Quando a emissão e propagação do ruído resulta da vibração de elementos sólidos por ação direta da fonte sonora, estamos perante um problema de isolamento sonoro a ruídos de percussão. Quando um ruído de condução aérea transpõe um elemento rígido, pode dizer-se que ocorre transmissão marginal.

A figura seguinte ajuda a perceber a diferença entre transmissão sonora aérea e marginal.

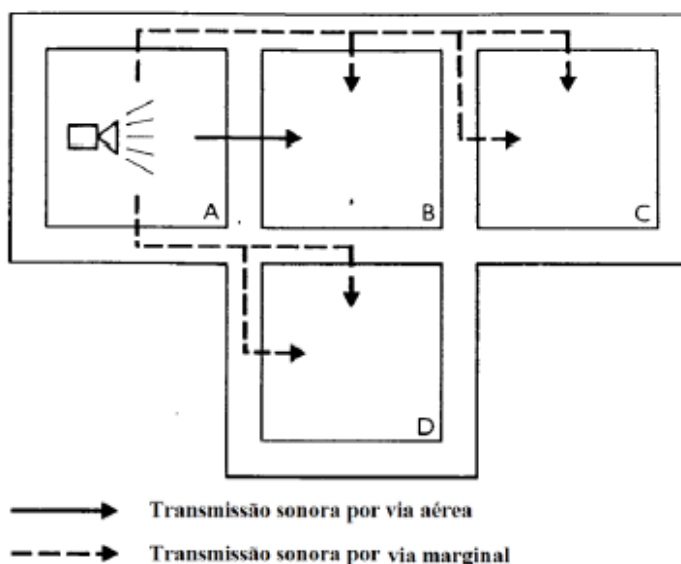


Fig. 2.38 – Esquema ilustrativo da transmissão sonora

2.7.2 RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA

Os ruídos de condução aérea ou, simplesmente, ruídos aéreos são ruídos que se propagam através do ar.

Como vimos, quando uma onda sonora incide num elemento construtivo, uma parte da sua energia é refletida, outra parte é absorvida. A restante é transmitida para o espaço recetor, mediante a vibração do elemento construtivo. Este fenómeno encontra-se representado na figura 2.39.

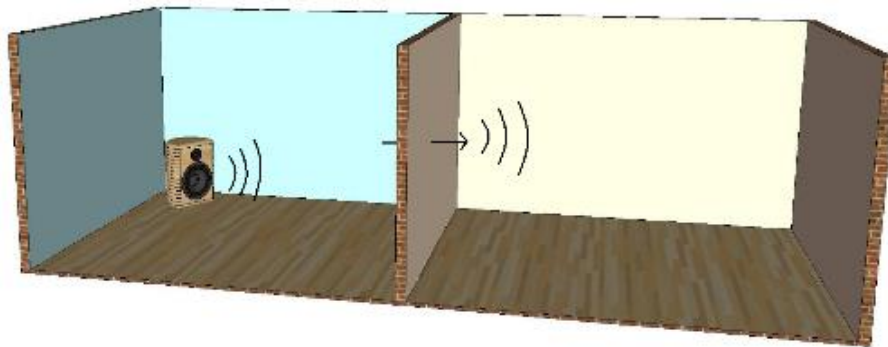


Fig. 2.39 – Esquema ilustrativo de um ruído de condução aérea

O isolamento sonoro a ruídos de condução aérea resulta, assim, da capacidade de dissipação da energia sonora incidente no elemento construtivo. Para quantificar essa capacidade surge o coeficiente de transmissão sonora, τ . Como podemos ver na expressão seguinte, este é igual ao quociente entre a potência sonora transmitida por um elemento construtivo e a potência sonora nele incidente:

$$\tau = \frac{W_2}{W_1} \quad (2.16)$$

Sendo:

W_1 , a potência sonora incidente no elemento construtivo (dB)

W_2 , a potência sonora transmitida pelo elemento construtivo (dB)

Ainda assim, tendo em conta que os valores do coeficiente de transmissão sonora são habitualmente muito reduzidos, é normal caracterizar-se o desempenho de isolamento sonoro a ruídos aéreos através de outro parâmetro, a redução sonora (R). Quanto maior for o R de um elemento construtivo, melhor será o seu isolamento sonoro a ruídos de condução aérea. Surge assim a noção de isolamento bruto, D . A redução sonora e o isolamento bruto são dados pelas seguintes expressões:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (2.17)$$

$$D = L_1 - L_2 \quad (2.18)$$

Sendo:

L_1 , o nível médio de pressão sonora no espaço emissor (dB);

L_2 , o nível médio de pressão sonora no espaço recetor (dB)

Geralmente, o espaço recetor L_2 é a incógnita do problema de isolamento. Por isso, surge a seguinte expressão para calcular o D .

$$D = R + 10 \log \frac{A}{S} \quad (2.19)$$

Sendo:

A , a área de absorção sonora equivalente do espaço recetor em m^2 ;

S, a área do elemento construtivo de separação entre os espaços emissor e recetor.

2.7.3 RUÍDOS DE PERCUSSÃO

Os ruídos de percussão, contrariamente aos ruídos aéreos, não são originados pela incidência de ondas sonoras nos elementos construtivos, mas pela origem direta de ruído (exemplo: passos, arrastar mobiliário). Esta solicitação direta da fonte de ruído origina a sua vibração, cuja energia será em parte dissipada através do elemento, e a restante transmitida para o espaço recetor, fazendo vibrar o ar contido no espaço (torna-se um ruído aéreo).



Fig. 2.40 – Esquema ilustrativo de um ruído de percussão

Na análise dos ruídos de percussão é fundamental atender a que o desempenho medido para uma solução construtiva é o nível de pressão sonora no espaço recetor (L_2). A energia sonora que atinge o espaço recetor será menor quanto menor for o nível de pressão deste espaço. Sendo, então, L_2 que define a qualidade/eficácia da solução de isolamento sonoro.

Por sua vez, o nível de pressão sonora de percussão depende das características de absorção sonora do espaço recetor.

A expressão que se segue está normalizada e visa avaliar o isolamento a ruídos de percussão.

$$L_{nT} = L_2 + 10 \log \frac{TR}{TR_0} \quad (2.20)$$

Sendo:

L_{nT} , o nível de pressão sonora de percussão padronizado (dB);

L_2 , o nível de pressão sonora de percussão no local recetor (dB);

TR_0 , o tempo de reverberação de referência (s), tomando um valor igual a 0,5 no caso de edifícios residenciais e situações análogas;

TR , o tempo de reverberação do espaço recetor (s).

2.7.4 TECNOLOGIAS DE ISOLAMENTO SONORO

O cálculo da energia sonora transmitida através de uma parede simples, conhecendo o nível de pressão sonora do ruído incidente, bem como o isolamento sonoro bruto normalizado do material, será a diferença entre estes dois valores. No entanto, não só pelos elementos comuns, os ruídos podem penetrar no recinto. A existência de condutas de AVAC, fendas, orifícios, janelas, portas, etc. nas paredes faz invariavelmente diminuir o seu isolamento sonoro.

Se um elemento de uma parede está ligado com outros elementos segundo uma dada direção, a vibração do primeiro elemento de paredes é transmitida aos outros elementos contíguos, alcançando, deste modo, o espaço a isolar. Este processo, que, no fundo, é uma transferência indireta da energia, designa-se por transmissão marginal.

Uma base fundamental do isolamento sonoro é a Lei da Massa. Esta lei é um método estimativo que estabelece a redução de intensidade acústica através de um determinado elemento; é função do produto do quadrado da massa pela frequência e é expressa em dB.

Pela Lei da Massa, pode-se afirmar que quanto maior for a massa do elemento separador, maior será o seu isolamento sonoro.

Atualmente, o mercado oferece diversas solvências de isolamentos (diversas marcas, diversos materiais). Muitas vezes, o isolamento sonoro é completado com caixas-de-ar em paredes duplas e lajes.

Os materiais mais correntes usados no complemento das caixas-de-ar para o isolamento sonoro são [40]:

- Lã de rocha
- Lã de vidro
- Vermiculita
- Espumas elastoméricas
- Cortiça

a) COBERTURA

Conforme se pode ver na figura seguinte, o isolamento acústico em coberturas deve estar assente na estrutura metálica da cobertura, imediatamente por baixo da base em que as telhas estão assentes [41].

O isolamento acústico, habitualmente, é feito recorrendo a mantas acústicas (figuras 2.41 e 2.42).



Fig. 2.41 – Exemplo de aplicação de manta acústica alumínica em telhado [39]

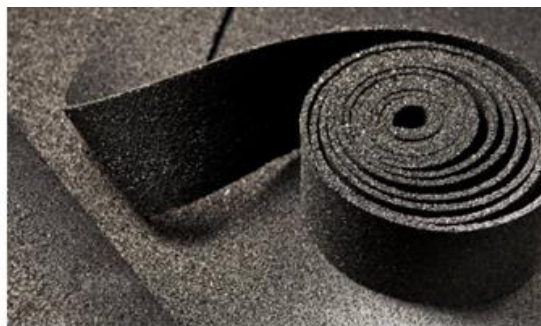


Fig. 2.42 – Manta acústica [39]

Na figura 2.43 pode visualizar-se o esquema estrutural habitual nas coberturas de edifícios.

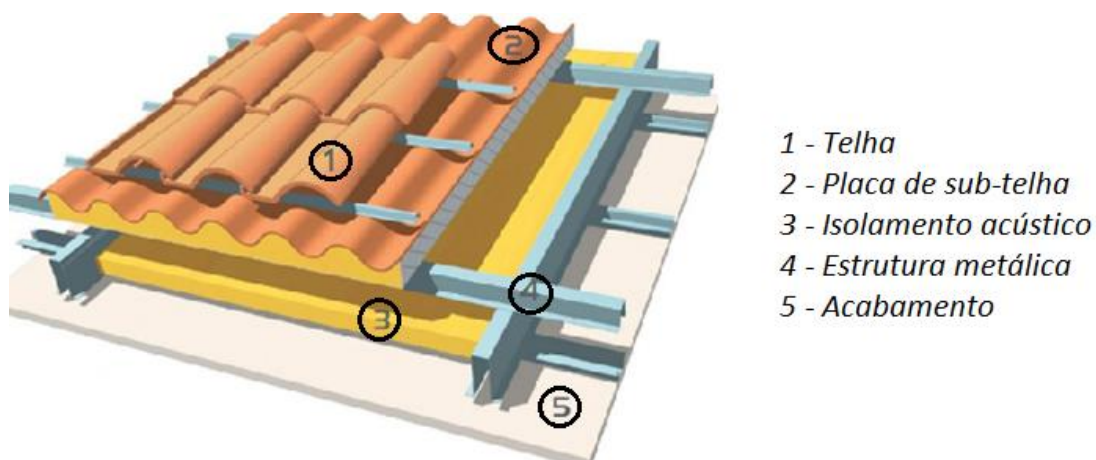


Fig. 2.43 – Esquema estrutural da cobertura de edifícios de aplicação de manta acústica aluminizada em telhado [41]

b) PAREDES

As soluções acústicas aplicáveis nas paredes variam consoante elas sejam exteriores ou interiores.

Nas paredes interiores é corrente utilizar-se paredes duplas com caixa-de-ar e isolante (figura 2.44), sendo um processo eficaz. [2]



Fig. 2.44 – Parede interior dupla com caixa-de-ar e painel de cortiça [42]

É recomendado o uso do isolamento sonoro entre os pilares, no caso de paredes duplas com a estrutura vertical no seu interior, conforme se pode visualizar na figura 2.45.

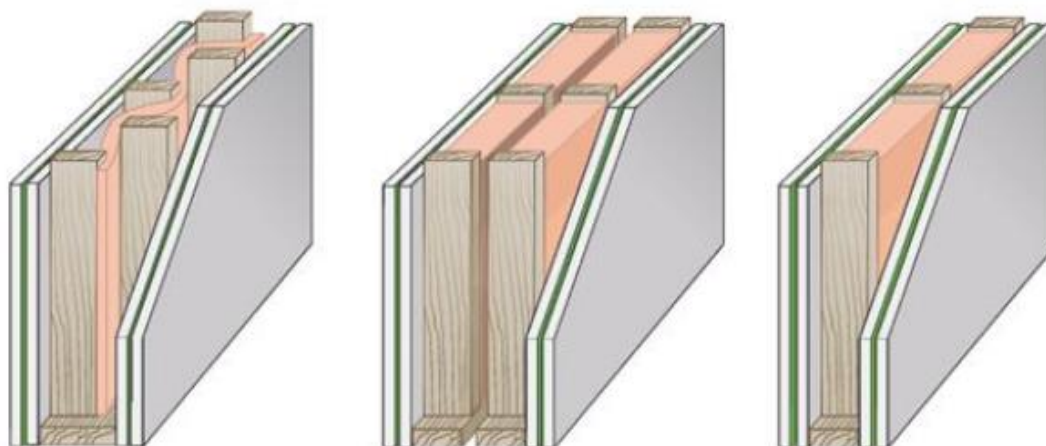


Fig. 2.45 – Diferentes disposições do isolamento sonoro em parede dupla interior, face ao diferente posicionamento da estrutura [41]

A eficiência durante a fase de construção é muito importante para o isolamento acústico. As frestas devem ser eliminadas, pois o som passa através de qualquer mínima abertura. Deve ter-se especial atenção às juntas entre a parede e o piso, para que não haja lacunas. Deve ainda evitar-se a coincidência da posição de tomadas nas duas faces de uma parede para que o som não passe por elas de um ambiente para outro. [37]

No entanto, para garantir que o isolamento nas paredes funcione, é preciso evitar o efeito *flanking* (figura 2.46).

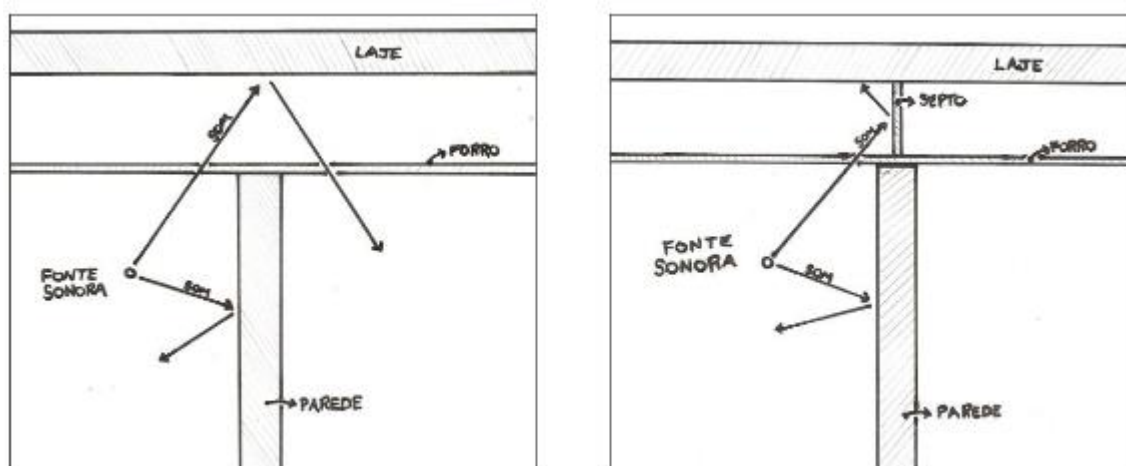


Fig. 2.46 – Esquema ilustrativo do efeito *flanking* e solução [39]

Assim, as paredes devem chegar até a laje, impedindo a passagem do som de um ambiente para o outro. Caso contrário, devem ser utilizados septos que fechem o espaço entre as paredes e o teto. [37]

c) LAJES

Quanto às lajes, os sistemas de isolamento acústico também podem variar. Na figura 2.47 é apresentado um esquema em corte de uma laje e soluções alternativas de instalação eficaz do isolamento sonoro na união laje/parede. [2]

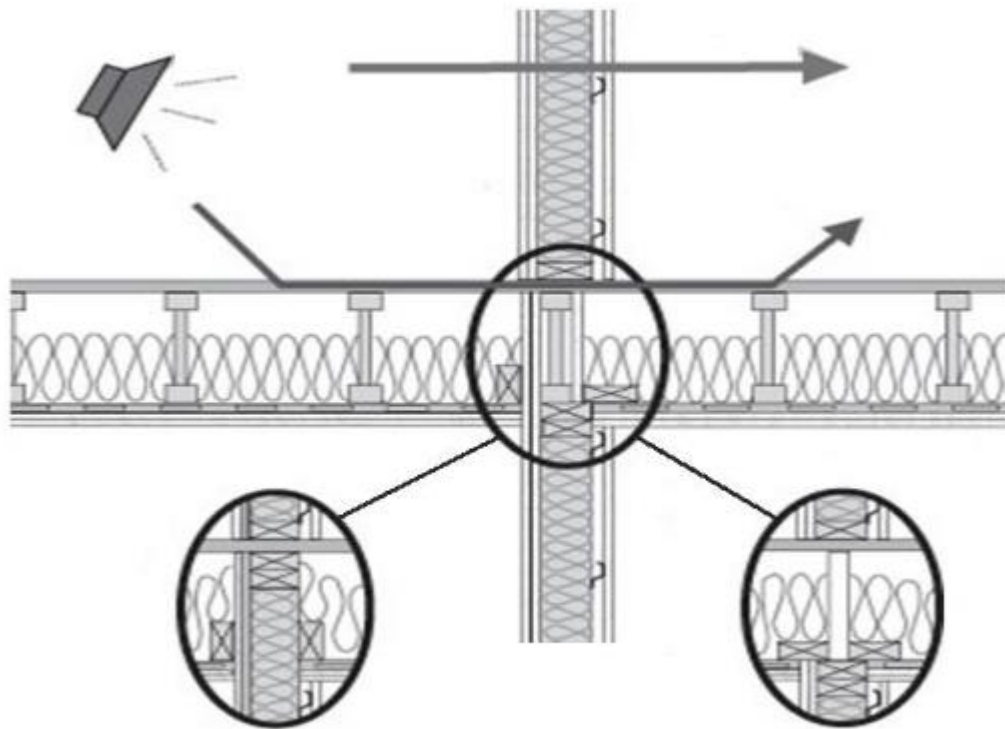


Fig. 2.47 – Corte esquemático de três diferentes soluções de isolamento acústico na interseção entre parede e laje

Materiais resilientes, como borrachas, são utilizados como isolador de vibrações, suportando pisos flutuantes ou equipamentos ruidosos. Em relação às lajes dos edifícios, deve-se considerar a atenuação de sons aéreos e de percussão. Lajes construídas de materiais pesados, como betão, atenuam bem os sons aéreos, porém, facilitam a transmissão de sons de percussão, principalmente se a superfície do piso é rígida. No entanto, podem ser melhoradas com o uso de carpete.

Surgem então as lajes-flutuantes, que são uma solução estrutural eficaz contra vibrações e ruídos de impacto, em que é colocado um material resiliente entre o piso e a laje, conforme se pode ver nas figuras 2.48 e 2.49.

O contrapiso tem a função de absorver as tensões e amortecimento entre a estrutura e o revestimento. No entanto, a execução do contrapiso flutuante não é um processo simples, exigindo um projeto de execução bastante detalhado. Isto porque qualquer contacto da laje com paredes, rodapés de portas e componente da vedação vertical pode resultar na transmissão de vibração pela estrutura do edifício, tornando o sistema menos eficaz. [44]

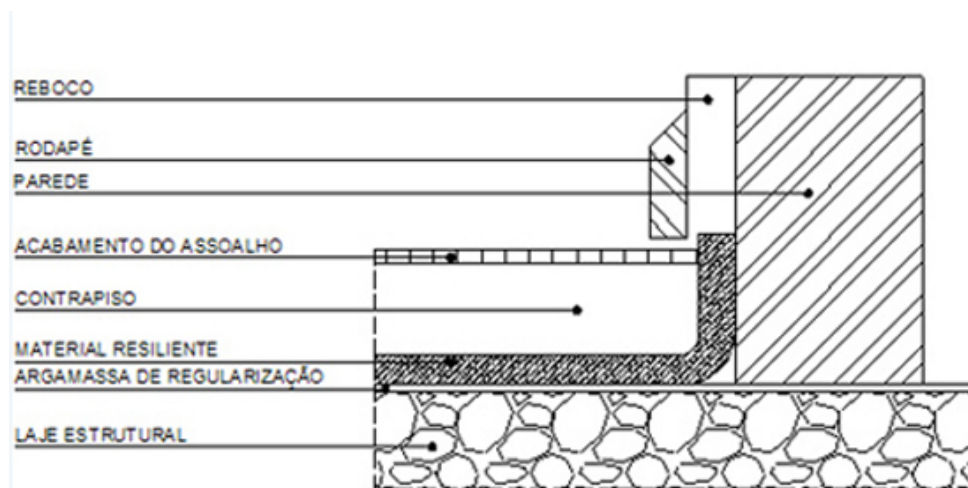


Fig. 2.48 – Esquema ilustrativo da disposição de uma laje flutuante [41]



Fig. 2.49 – Esquema de uma laje interior com isolamento sonoro na face superior [44]

2.8 CONFORTO ACÚSTICO

2.8.1 DEFINIÇÃO

Conforto pode definir-se como um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente que envolve a pessoa, um ambiente de comodidade e bem-estar.

O conforto acústico entende-se como sendo a sensação percecionada num espaço interior, quando os níveis de ruído são níveis cómodos/confortáveis, sejam estes ruídos provenientes do exterior do espaço, ou produzidos no seu interior.

Este conceito é um conceito subjetivo e está profundamente relacionado com os hábitos e as práticas culturais.

A obtenção do conforto acústico é o objetivo do tratamento acústico dos edifícios. É importante que seja garantido de modo forma a providenciar bem-estar aos utilizadores dos espaços. O desconforto acústico é altamente prejudicial à capacidade de concentração, pode proporcionar mau estar e dificulta a comunicação.

No projeto de conceção dos edifícios existem dois momentos capitais para o conforto acústico: primeiro, quando se decide a localização e a orientação do edifício; e depois, quando são definidas as características de construção de sua a envolvente, determinante no impacto do ruído nos utilizadores [45].

2.8.2 RUÍDO DE FUNDO

O ruído de fundo, quando atinge níveis elevados, é altamente gerador de desconforto acústico. Especificamente em restaurantes, é muito comum a ocorrência do efeito *Lombard*, que leva o nível médio da pressão sonora a aumentar, com o aumento do número de pessoas nos estabelecimentos. Acrescidos os ruídos provocado pela utilização dos talheres e pratos, assim como pelos sistemas de ventilação AVAC ou pelos sistemas de exaustão das cozinhas, há tendência, nestes tipo de estabelecimentos, de se elevar o nível médio do ruído de fundo, a níveis passíveis de interferir nas conversas, dificultando a compreensão e causando desconforto nos utilizadores.

O RRAE apresenta algumas normas legislativas a cumprir pelos estabelecimentos, previstas para controlar os seus níveis de fundo, que serão descritas mais adiante.

2.8.3 INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

Como tem vindo a ser referido, a inteligibilidade da palavra define-se pela capacidade de ouvir e perceber o diálogo de determinada conversação.

A inteligibilidade está dependente dos efeitos de mascaramento provocados pelo ruído de fundo, e é baseada na diminuição da taxa de modulação de um sinal de experiência, que simula as características acústicas da voz humana, desde que o sinal seja transmitido numa sala [29].

Atualmente, o método mais comum de medição da inteligibilidade da palavra é através dos aparelhos da marca *Brüel & Kjaer*, capazes de avaliá-la através da emissão e captação de um ruído de características semelhantes à da voz humana, que é lido por um recetor que avalia a sua inteligibilidade numa escala de zero a um.

A definição do que constitui um som e do que constitui um ruído é ainda algo imprecisa, no entanto, um o ruído terá um conteúdo spectral semelhante ao do som de modo a formar uma relação sinal/ruído significativa.

Este é um conceito é dos principais fatores a ter em conta no projeto acústico de qualquer edifício, implicando o seu acondicionamento acústico. Os restaurantes não são exceção, estes espaços são cada vez mais procurados pelos utilizadores, não só pela oferta gastronómica, mas também pela qualidade dos seus espaços (na qual se integra a qualidade/conforto acústico). O tratamento acústico dos restaurantes, pode ser então, bastante rentável, permitindo aos clientes usufruir de momentos mais agradáveis durante a sua refeição.

2.8.4 PRIVACIDADE DA PALAVRA

No sentido inverso à inteligibilidade, a privacidade numa conversa entende-se como sendo o controlo da exposição da palavra de modo a não se ser compreendido por outros utilizadores do mesmo espaço. Por exemplo, num restaurante, normalmente os utilizadores pretendem ser ouvidos pelas pessoas que estão consigo na sua mesa, mas não pretendem que a sua conversa seja ouvida noutras mesas.

Como vimos, a conversação e a compreensão nas mesas de um restaurante torna-se difícil quando os níveis de ruído de fundo superam determinado limite; por outro lado, para níveis de ruído de fundo muito baixos, a privacidade entre mesas distintas não está garantida. Este dilema é uma constante em espaços como restaurantes, sendo que, normalmente, as soluções idealizadas passam pelo controlo da densidade de utilizadores por m², implantação de barreiras acústicas entre as mesas ou aumento da absorção sonora do espaço.

O aumento da relação sinal/ruído diminui, geralmente, diminui a privacidade dos espaços, sendo habitual introduzir-se música ambiente em restaurantes, com o objetivo de aumentar o “ruído de fundo”, em casos de privacidade reduzida. [2]

3

ESTUDOS MAIS RELEVANTES NA ÁREA

3.1. ACÚSTICA EM GERAL

Os primeiros estudos sobre acústica surgiram nos séculos VI a III a. C. pela vaga de filósofos como Pitágoras, Aristóteles, entre outros, estando estes estudos relacionados fundamentalmente com a origem e forma propagação do som.

Também no mundo oriental, no antigo império chinês, até ao século III a.C., surgiram estudos sobre a música e o som, em que os sons foram classificados por timbre e por altura, e se especificaram várias escalas musicais. [46]

Sobre a acústica arquitetónica, o primeiro registo que se conhece data do século I a. C., no império grego, em que foram estudados os ângulos de incidência do som e foram desenvolvidos os princípios fundamentais da Acústica Geométrica que culminou nos teatros gregos. Mais tarde, no império romano, o engenheiro e arquiteto *Vitruvius* seguiu os estudos sobre a acústica dos teatros romanos. [47]

No final do século XIX, *Wallace Clement Sabine*, físico norte-americano, fundou o campo da acústica arquitetónica, tendo lançado os primeiros estudos sobre acústica de interiores e acondicionamento acústico de espaços. *Sabine* incidiu os seus estudos na forma como a energia sonora era refletida e constatou que o tempo de reverberação dos espaços era dependente da quantidade de energia sonora dissipada pelos materiais absorventes. Posto isto, estudou métodos para a determinação dos coeficientes de absorção, tendo proposto uma fórmula matemática – Formula de Sabine– ainda hoje utilizada para prever tempos de reverberação. A fórmula de *Sabine* foi mais tarde revista e aperfeiçoada por outros físicos, tais como *Norris e Eyring*. [2] [48]

Estes avanços no conhecimento sobre o tempo de reverberação permitiram uma grande evolução nos processos construtivos de então, passando a fazer-se uma seleção de matérias de construção mais eficazes na absorção sonora.

Em 1911, o físico francês *Étienne Lombard* introduziu o conceito de *Efeito Lombard*, que definiu como o fenómeno de elevação da intensidade da palavra devido à elevação do ruído de fundo existente. Este efeito, com particular interesse para este estudo, explica a tendência para elevar a intensidade da voz na presença de elevado ruído de fundo, o que, por sua vez, leva a um aumento desse mesmo ruído. [49]

Mais tarde, *Arthur Korn* estudou como é que diferentes valores de intensidade interferem no ruído de fundo. Num estudo publicado em 1954, *Korn* concluiu que níveis de intensidade da palavra abaixo dos 45 dB não interferem no ruído de fundo, não contribuindo, assim, para o *Efeito Lombard*; os seus estudos permitiram ainda concluir que para valores acima dos 55 dB se dá um acréscimo de 0,38 dB no nível de intensidade da palavra, para cada 1 dB de aumento no ruído de fundo. [49]

Relacionado com o efeito *Lombard*, surgiu o efeito *Cocktail Party*, apresentado pelo físico *Colin Cherry* em 1953. Este efeito descreve a habilidade de focar a atenção e ouvir um único orador entre a mistura sons que constitui o ruído de fundo presente em determinado espaço. O trabalho realizado por *Cherry* revela que esta capacidade humana de nos focarmos num único som e nos abstrairmos do ruído de fundo é afetada por diversos fatores entre os quais o sexo do orador, a direção de partida do som, o timbre e a taxa de expressão do comunicador. [50]

Meyer, em 1954, divulgou uma série de estudos sobre fenómenos percetivos referentes aos primeiros instantes (50 ms) do decaimento da energia. Nesses estudos, surgem pela primeira vez os parâmetros subjetivos, Clareza e Definição acústica, tendo sido definidas fórmulas matemáticas ainda usadas atualmente no cálculo destes parâmetros. [51]

Beranek foi o primeiro a tentar sistematizar um conjunto abrangente de critérios com o objetivo de classificar a acústica de salas de música. O seu primeiro livro sobre o assunto *Music, Acoustics and Architecture* (1962) foi um marco histórico para a acústica de salas [48]. Elaborou um sistema de pontuação, assente em parâmetros subjetivos que considerou relevantes, para avaliar acusticamente um espaço.

Quadro 3.1 – Parâmetros subjetivos de *Beranek* (1962) [48]

Atributos Positivos Independentes	Atributos Negativos Independentes	Atributos Dependentes
Intimismo	Eco	Clareza
Vivacidade	Ruído	Brilho
Calor	Distorção	Ataque
Nível de Som	Desuniformidade	Extensão dinâmica
Difusão		
Equilíbrio		
Conjunto		

Benarek introduziu ainda o conceito de *Speech Communication Criteria* e as curvas *Noise Criteria* para avaliar e classificar a influência do ruído de fundo numa conversação. Estes métodos continuaram a ser desenvolvidos e foram surgindo diferentes versões da NC com aperfeiçoamento de alguns parâmetros, tais como o *Balanced Noise Criteria* (NCB), *Room Criteria* (RC), *RC Mark II* e *Room Noise Criteria* (RCN).

Em 1971, *Gardner* publicou um estudo sobre o efeito da palavra de muitas pessoas no mesmo espaço fechado. Os resultados do estudo permitiram concluir que a duplicação do número de oradores, faz elevar em 6 dB o nível de ruído de fundo (através do *Efeito Lombard*). Além disso, fez a mesma análise para casos de música de fundo, constatando que, ao duplicar a sua intensidade, provoca um acréscimo de 3 dB(A) no ruído de fundo. [52]

Na década de 1970, as técnicas de medição, tanto da resposta impulsiva como do tempo de reverberação e dos demais parâmetros, vinham evoluindo consideravelmente, mas foi a evolução tecnológica e

consequente surgimento dos computadores que tornou possível implementar novas técnicas de investigação científica que originaram novas descobertas e técnicas no domínio da acústica.

Em 2001, foi proposto por *Haan* e *Kwon*, um novo critério de medição da capacidade de difusão das superfícies dos espaços através da modelagem computacional. Este critério baseia-se na diferença de fase dos valores dos parâmetros acústicos do espaço entre dois microfones, um direcionado para a sua parte dianteira e o outro para a sua parte traseira. As simulações computacionais permitiram analisar a variação da diferença de fase dos registos obtidos pelos microfones, de acordo com a difusidade das superfícies de um espaço utilizando duas imagens 3D. Em seguida, as experiências de campo foram realizadas para medir o nível de pressão sonora (L_p), tempo de decaimento curto (EDT) e a clareza nos dois espaços que apresentavam diferentes condições de difusidade de superfície. Os resultados permitiram comprovar que a diferença destes três parâmetros acústicos, capturada nos microfones, decresce com o aumento da difusidade da superfície interior e que, no espaço de difusidade elevada, estes parâmetros decrescem nas frequências abaixo de 250 Hz. Por sua vez, isto permitiu aos investigadores concluir que sons de altas frequências podem facilmente refletir e sofrer difusão em espaços de difusidade elevada, enquanto som de baixas frequências difratam através da superfície. A diferença dos parâmetros acústicos referidos pode ser usada como critério para avaliar a difusidade da superfície. [2] [53]

No quadro 3.2., encontra-se um quadro síntese dos estudos mais importantes no ramo da acústica de interiores relativamente ao coeficiente de absorção, tempos de reverberação, Efeito *Lombard* e Efeito *Cocktail Party*, e os seus valores recomendados pelos diversos investigadores, cronologicamente.

Quadro 3.2 – Resumo de estudos de alguns parâmetros relevantes da acústica de interiores [2]

Investigadores/ Datas						
Parâmetros	Sabine	Lombard	Cherry	Korn	Benarek	Gardner
	1898	1911	1953	1954	1964	1971
A	Início					
TR	Início					
Efeito Lombard		Início		>55 dB		
Efeito Cocktail Party			Início			
Estudos em particular (observações)	Impulsionador do conceito de absorção e TR	Criador do EL	Criador do ECP	Leq<45 dB, não se dá EL; Leq>55 dB, aumento de 0,38 dB/dB	Conceito de Speech Communication Criteria	Duplicando o número de oradores, eleva-se em 6 dB

3.2. ACÚSTICA NA RESTAURAÇÃO

O primeiro grande estudo sobre acústica em restauração surgiu apenas em 1993 – *Quiet Areas in Restaurants* – da autoria de R. Moulder. [54] Este estudo foi uma grande referência para estudos posteriores, acerca do excesso de ruído em restaurantes, e dos seus efeitos negativos, principalmente para pessoas com deficiências auditivas. O autor propõe a possibilidade de existirem, em restaurantes, áreas mais silenciosas para incapacitados auditivos, visto estes serem fortemente afetados por ambientes ruidosos. Para isso avaliou diversos parâmetros relacionados com o bem-estar em treze restaurantes-tipo americanos; mediu áreas e volumes, assim como os valores médios dos coeficientes de absorção sonora, tempos de reverberação e níveis de ruído de fundo, em cada um dos treze espaços. O TR foi medido com e sem ocupação, em terços de oitava, desde os 100 Hz aos 4 kHz. O valor médio do ruído de fundo foi registado com recurso a um gravador digital, para melhor medir as variações sonoras à hora de uma refeição, ao longo de 45 minutos. As análises de Moulder incidiram essencialmente na relação sinal/ruído, índice de articulação, índice de transmissão da palavra, e nível de inteligibilidade da palavra. Os resultados revelaram que o nível médio de ruído nos restaurantes avaliados variava entre 55 e 68 dB(A) e os tempos de reverberação para as bandas de frequência de 500, 1000 e 2000 Hz entre 0,36 e 0,95 s. Estes dados permitiram afirmar que, na maioria dos estabelecimentos, as condições de conforto acústico eram inaceitáveis para pessoas com problemas auditivos e sugeriu um TR máximo de 0,5 s, propondo medidas concretas de melhoria acústica para cada um dos restaurantes analisados.

Tendo em conta que um dos fatores que mais contribui para a elevação do ruído de fundo são os próprios utilizadores, Moulder sugeriu ainda que se estabelecesse um limite mínimo de 1 metro quadrado por pessoa, apontando como valores ideais para incapacitados auditivos, o intervalo de 1,5 a 3 metros quadrados por pessoa. Fixou ainda, os níveis de pressão sonora recomendados em restaurantes, nos 58 dB (valor máximo) [2].

Em 1994, Charles Lebo estudou o ruído em vinte e sete restaurantes da região de San Francisco (EUA) com o objetivo de descobrir qual o impacto do ruído em utilizadores com problemas auditivos [55]. Testou-se um mesmo aparelho auditivo em todos os vinte e sete restaurantes para tentar perceber de modo o ruído de fundo afetava os utilizadores com limitações na capacidade auditiva. Observou-se que os valores de ruído de fundo variavam entre os 59 e os 80 dB(A), sendo 71dB(A) o nível médio de intensidade para os 27 restaurantes, valor que excede a intensidade média do nível da palavra (65dB(A)). Os 27 restaurantes foram classificados segundo três classes:

- Classe 1: Menos de 65 dB(A); Atmosfera tranquila com serenidade acústica; (relação sinal/ruído = 0)
- Classe 2: Entre 65 e 74 dB(A); Alta variabilidade na inteligibilidade de fala para indivíduos normais e com deficiência auditiva; (relação sinal/ruído ≤ 10)
- Classe 3: Mais de 75 dB(A); Alto nível de ruído ambiente, com ou sem música, conversa difícil para os clientes com audição normal e impossível para pessoas com perdas auditivas. (relação sinal/ruído ≥ 10)

Apenas seis restaurantes foram classificados com a 1ª classe. Os resultados concluíram que ambientes com valores de ruído superior a 65 dB (A) são bastante cansativos para pessoas auditivamente incapacitadas após um curto período de exposição. O mesmo acontece para pessoas com audição normal para valores superiores a 70 dB(A).

Em 1997, Tang et al. estudaram o Efeito Lombard numa cantina da universidade de Hong Kong [56] e os seus estudos revelaram que era comum a intensidade vocal dos utilizadores aumentar quando o ruído de fundo excedia os 69dB (A). Os estudos nesta cantina demonstraram mais uma vez haver relação

direta entre o número de utilizadores e o ruído de fundo, mas foram importantes fundamentalmente por permitirem concluir que o modelo numérico de previsão de níveis de pressão sonora até então utilizado para qualquer caso, não garantia fiabilidade para números reduzidos de utilizadores ($n < 50$), devido à elevada variabilidade dos NPS, nem para mais de cerca de 250 utilizadores, pois o modelo parece superestimar os valores de pressão sonora.

Em 1999, *White* tentou definir as condições acústicas ideais para restaurantes e outros espaços de restauração. Para isso, questionou utilizadores de quatro restaurantes da sua cidade. [57]. Os resultados dos questionários permitiram detetar uma relação direta entre a agradabilidade do espaço e os níveis de ruído. Por outro lado, o desagrado dos utilizadores era geralmente coincidente com tempos de reverberação elevados.

Posteriormente, *White* calculou o RASTI para uma distância de 0,8 m (valor que assumiu como normal para uma conversa à refeição) e concluiu que, para valores até 0,15, o ambiente é desagradável devido à fraca perceção da palavra, enquanto que, para valores acima de 0,3, o discurso é mais facilmente compreendido tornando o ambiente mais agradável para os utilizadores.

Em 2000, *Kuttruff* desenvolveu técnicas de controlo passivo de ruído. Propôs o uso de membranas, ressoadores e materiais porosos para controlar os tempos de reverberação de meios ruidosos [58].

Também em 2000, *Fernandez* concluiu que o nível de inteligibilidade numa sala só alcança valores aceitáveis quando os valores de TR são inferiores a 1 s. Relativamente à relação sinal/ruído, afirma que a inteligibilidade será má para valores até 10 dB, boa para valores entre 10 e 20 dB e excelente para valores superiores a 20 dB. [59]

O avanço tecnológico permitiu evoluir as técnicas de investigação e, em 2002, *Kang*, estudou as características principais da inteligibilidade da palavra em espaços de restauração com elevada taxa de ocupação e tentou descobrir estratégias arquitetónicas de tratamento acústico, através de um programa informático baseado em radiação, o RAAD, que consegue prever certos parâmetros acústicos dum espaço, utilizando radiação de feixes luminosos. O RAAD correlaciona diversos parâmetros acústicos permitindo calcular o número máximo de utilizadores de um espaço com determinadas características, tendo-se revelado bastante eficaz. O estudo de *Kang* permitiu concluir ainda que a maior parte dos restaurantes estudados tinham uma arquitetura claramente desfavorável a um bom comportamento acústico das suas salas, revelando despreocupação face ao conforto acústico aquando do seu *design* por parte dos arquitetos. sendo notória a falta de preocupação com a conforto não sendo a acústica alvo de grandes preocupações. *Kang* divulgou ser necessário aumentar a absorção sonora e a área por utilizador, assim como manipular o pé-direito e aumentar a relação comprimento/largura dos espaços com vista a obter ambientes acústicos adequados. [60]

Em 2003, os investigadores *Astolfi e Fillipi* estudaram a relação entre a inteligibilidade e a privacidade da palavra, e o conforto acústico que delas advém. Para isso, estudaram o TR, o número de pessoas por m^2 , e o tipo e a idade dos utilizadores em quatro pizzarias, parâmetros que consideraram determinantes na definição do nível de conforto acústico dos espaços. Assim, os investigadores realizaram medições nas quatro pizzarias para saber as suas dimensões espaciais, os seus coeficientes de absorção, os seus tempos de reverberação e as densidades de utilizadores médias para cada um deles. Além disso foram medidos os níveis médios de pressão sonora, assim como a intensidade média da palavra em cada local. Após a obtenção dos resultados das medições, os investigadores realizaram um inquérito de satisfação aos clientes das pizzarias, relativamente ao ambiente acústico nelas sentido.

O estudo de *Astolfi e Fillipi* revelou que o Efeito *Lombard* era bastante notório nos quatro espaços, sendo o ruído de fundo nas quatro pizzarias sensivelmente o mesmo, devido ao facto de os utilizadores

tenderem a elevar a voz durante as conversas para conseguirem obter uma relação sinal/ruído aproximadamente nula. Os investigadores concluíram ainda que é bastante difícil conseguir equilibrar a relação entre a inteligibilidade e a privacidade em espaços de restauração, uma vez que nos casos em que a inteligibilidade era assegurada a privacidade era mais débil e vice-versa. Os investigadores apontaram a elevada densidade de utilizadores por m^2 , como a causa principal deste problema e definiram um limite máximo RASTI, 0,3, de modo a obter um mínimo de privacidade da palavra em determinado espaço. [61]

Em 2004, estudos foram levados a cabo por Rychtáriková [62], com o objetivo de prever as características acústicas de um refeitório para estabelecer traços gerais de orientação para a fase de projeto. O seu estudo demonstrou que uma análise ao *Strength G* é bastante mais fidedigna do que apenas uma análise ao TR, permitindo concluir que os gráficos G-TR são os instrumentos mais indicados para este tipo de previsões. Concluíram ainda, que para valores médios do coeficiente de absorção menores que 0,2, é praticamente impossível alcançar uma boa inteligibilidade da palavra.

Em 2005, *Bollard* investigou o tempo de reverberação de quatro restaurantes no Sul de França [63]. O seu estudo demonstrou como se podem integrar diferentes materiais absorventes sonoros, em diferentes tipos de arquitetura, evidenciando soluções acústicas bem-sucedidas. No seu estudo encontram-se descrições detalhadas das soluções arquitetónicas dos espaços analisados, sobretudo sobre as características absorventes das paredes e tetos. Os tempos de reverberação dos quatro restaurantes analisados, variavam entre os 0,8 e os 1,1 s, para as gamas de frequências de 500 a 2.000 Hz.

Ainda no ano de 2005, foi publicado um estudo por *M. Long*, *Dinner Conversation (an oxymoron?)* [64] em que é novamente referida, a importância do uso de revestimentos absorventes sonoros nos interiores de restaurantes. Também a relação entre o nível de inteligibilidade e o valor da relação sinal/ruído voltou a ser destacada neste estudo.

Através de fórmulas matemáticas simples (enunciadas no 2º capítulo da presente dissertação), *Long* calculou os níveis de pressão sonora típicos de espaços de restauração e relacionou-os com os tempos de reverberação e densidade de utilizadores ótimos para valores de inteligibilidade e privacidade aceitáveis. As conclusões obtidas permitiram definir um mínimo de 6,3 m^2 de absorção por mesa para obter uma boa inteligibilidade da palavra para uma distância de 1 m entre o orador e o ouvinte. *Long* concluiu ainda que, para casos em que teto seja composto por um matérias altamente absorventes, o espaçamento mínimo entre as mesas deverá ser de cerca de 2,5 m, para uma sala uniformemente ocupada sendo que, para esta distância, a absorção máxima admissível não deve ser superior a 20 m^2 por mesa, de modo a obter também bons níveis de privacidade.

Em 2008, com o objetivo de melhorar o ambiente em cantinas escolares sem diminuir a sua amplitude, *Marisco et al.* estudaram os diversos parâmetros relacionados com a inteligibilidade da palavra: tempo de reverberação (T30), índice de transmissão da palavra (STI), Claridade (C80) e Definição (D50) [65]. O grupo de investigadores usando como caso prático de estudo uma cantina em Roma, através de um modelo informático, tentou encontrar os valores ideais dos parâmetros acusticos para aquele espaço e tentou arranjar uma solução de tratamento acústico eficaz para o caso, tendo a solução passado pelo revestimento da cantina com painéis absorventes acústicos, para reduzindo o T30 e aumentando os restantes índices em avaliação, anteriormente referidos. No final do estudo, os investigadores concluíram que o modelo informático era bastante eficaz na previsão das características acústicas de espaços e poderia ser muito útil na execução dos projetos de acústica, conferindo maiores certezas.

Hodgson et al. desenvolveram, em 2009, um modelo iterativo de previsão de níveis de ruído e inteligibilidade em espaços de restauração [66]. O seu modelo consistia em avaliar o Efeito *Lombard*, basendo-se sobretudo no número de utilizadores por cada orador e na absorção sonora por utilizador em

determinado espaço, para prever o nível de inteligibilidade desse espaço. Foi possível concluir que, em média, os utilizadores de um restaurante podem estar expostos a valores de níveis sonoros até 82 dB(A); que a intensidade dum orador pode variar entre 56 e 82 dB(A); que em média existe um orador em cada três utilizadores; e que o Efeito *Lombard* tem um declive de 0,69 dB/dB. [2] [66]

Ainda em 2009 foi publicado um estudo de *Fullerton et al.*, em que é feito e realizado o projeto de transformação dum espaço outrora ocupado por um banco, num espaço residencial e de restauração. Os principais problemas acústicos do espaço prenderam-se com o isolamento sonoro, insuficiente para atenuar o ruído do restaurante para as habitações contíguas. O facto curioso, neste caso, é que, apesar de os níveis sonoros do restaurante, à partida, não parecerem muito elevados, eram perceptíveis nas habitações, devido ao facto de a habitação adjunta apresentar níveis de ruído muito reduzidos, na ordem dos 35 dB (A). Os ruídos produzidos pelo restaurante atingiam os 80 dB(A), podendo aumentar até 10 dB(A) o ruído de fundo da habitação adjacente (por transmissão marginal). Assim, foi necessário aplicar uma técnica de isolamento sonoro de elevada eficácia, tendo a opção recaído numa construção em viga dupla (no teto – elemento separador), com materiais isolantes acusticamente por forma a sustar os ruídos provenientes das máquinas. Contudo, foi impossível isolar totalmente os pilares que acabaram por se revelar como os maiores condutores de ruídos entre os dois espaços. A qualidade acústica do espaço vinha sofrendo críticas bastante negativas, tendo mais tarde sido inevitável um acondicionamento acústico do edifício de modo a reduzir o seu TR médio (de 1,2 para 0,6 s) e melhorar os níveis de conforto. [67]

Em 2009, os investigadores *Dorsh e Beiler* [68] estabeleceram uma comparação entre um modelo matemático e *software*, *CadnaA*, com o objetivo de avaliar o ruído exterior, proveniente de um restaurante com música ao vivo. As suas conclusões indicaram que o modelo matemático é mais simples e rápido de utilizar, mas que o *software* informático é mais flexível, tendo maior aplicabilidade. Além disso o *CadnaA* permite a representação visual do espectro sonoro provocado pela fonte, o que pode também ter grande utilidade para os projetistas.

Em 2010, *Hodgson e Nahid* estudaram a relação entre a inteligibilidade e a privacidade no discurso. Utilizando o *software Catt-Acoustic*, os investigadores avaliaram a influência que as dimensões geométricas de restaurantes, o efeito da ocupação e os materiais utilizados, teriam na percepção do discurso no interior dos espaços. Utilizaram um método simples de previsão do Efeito *Lombard* com base na teoria do campo difuso e consideraram haver um orador a cada três utilizadores, tendo ainda distinguido quatro tipos de utilizadores (orador principal, ouvinte principal, orador secundário e ouvinte secundário). Depois disso, com auxílio do *Catt-Acoustic* (e averiguando os coeficientes de absorção sonora para as diversas superfícies), os investigadores determinaram quais os níveis de intensidade sonora de um orador a 1 m de distância e qual o seu nível de inteligibilidade e privacidade face a uma sala com diversas ocupações e geometrias. Os valores médios de TR registados variaram entre os 0,16 e os 1,51 s, enquanto os valores do nível de intensidade sonora da palavra variaram entre os 60 e os 82 dB. A relação sinal/ruído variou entre -4,3 e +4,8 dB e os valores de STI variaram entre 0,36 e 0,60. Os resultados sugeriram que a forma mais eficaz de aumentar simultaneamente a inteligibilidade e a privacidade dos restaurantes, seria a execução de barreiras acústicas absorventes entre mesas dos restaurantes. Esta solução poderá ser, no entanto, bastante dispendiosa e de difícil compatibilidade com a componente estética. Assim, realçaram a importância do uso de materiais absorventes sonoros nas paredes e teto (e cantos da sala) para melhorar o ambiente acústico dos espaços, assim como a definição da distância entre mesas. [69]

Atualmente o uso deste tipo de *softwares* de modelação acústica é cada vez mais comum, eficaz e de melhor acessibilidade e aplicabilidade. A *Datakustic*, empresa que desenvolveu o *CadnaA*, que se destina à previsão do ruído ambiental, desenvolveu também o *Cadna R* e o *BASTIAN*, destinados ao

cálculo e avaliação dos níveis sonoros nas salas, e à transmissão de ruídos entre espaços respetivamente, sendo ferramentas que se complementam e que podem ser usadas em conjunto na execução do ambiente acústico dos espaços. Além dos *softwares* já referenciados, existem muitos outros como por exemplo o *Odeon*, ou o *Raven*.

Em 2012, *J. Rindel* desenvolveu um modelo de previsão simples para o ruído ambiente devido às conversas em estabelecimentos de restauração. O modelo, que se baseia no efeito *Lombard*, tem sido utilizado para vários casos de teste. A principal incerteza no seu modelo de previsão prendia-se com o parâmetro “tamanho do grupo”, referente ao número médio de pessoas por pessoa falante. Foi, então, definido o valor de 3,5 como o valor corrente para este parâmetro. Para a caracterização das condições acústicas, o modelo testava então a inteligibilidade da palavra, utilizando como parâmetro objetivo a razão sinal/ruído para um altifalante a uma distância de 1 m. Uma relação sinal/ ruído de -3 dB é sugerida como uma base realista para critérios de design. Isto leva a uma exigência combinada para o tempo de reverberação e o volume em que o tempo de reverberação deve ser o mais curto possível e o volume deve ser elevado, com um mínimo de $TR \times 20 \text{ m}^3$ por pessoa. O estudo de *Rindel* sugere ainda a introdução da capacidade acústica de um espaço qualquer como parâmetro limitante do número de pessoas permitido no espaço. [70]

L. Hamayon, investigador francês, na sua publicação *Réussir l'acoustique d'un bâtiment* [71], de 2013, analisou os valores dos parâmetros acústicos regulamentares para uma instituição de ensino francesa e os seus diferentes espaços. Os valores regulamentares relativos à limitação de emissões sonoras, nos estabelecimentos de ensino, exigem a obtenção de tempos de reverberação abaixo dos 1,2 s para salas de restauração /refeitórios com volume superior a 250 m^3 . Estes valores correspondem à média do tempo de reverberação nos 500, 1000 e 2000 Hz. Este TR é dado para instalações mobiladas desocupadas. É difícil prever como é o mobiliário e o seu nível de absorção sonora, mas estima-se que absorção equivalente dos móveis varia entre 1/6 e 1/10 da da superfície do solo do local. [71]

Na análise particular do refeitório, começou por afirmar que era preciso, se possível, limitar a densidade de ocupacional para valores entre os 0,4 e 0,5 alunos por metro quadrado. Isto, devido ao já referido efeito *Lombard*. Sugeriu então o tratamento da sala com materiais absorventes e a partição do espaço (Fig. 3.1). Cada parcela espacial seria para 25 a 30 alunos e cada mesa para 6 a 8 alunos, de modo a os alunos serem capazes de falar com todas as outras pessoas da sua mesa, sem levantarem a voz sobre o barulho do ambiente.

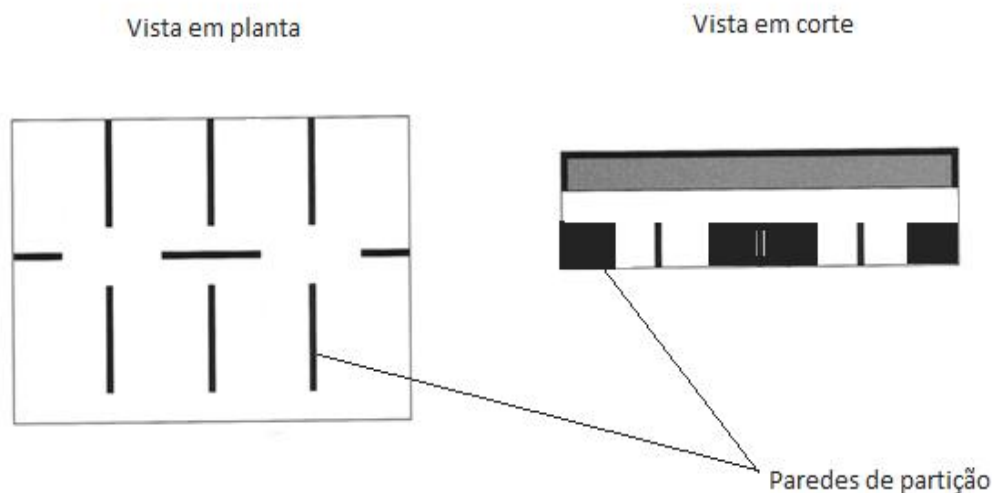


Fig. 3.1 – Esquema ilustrativo de refeitório e disposição das paredes divisórias, vista em corte e em planta [71]

Os tempos de reverberação regulamentares pareceram ao autor muito altos, tendo em conta o elevado número de fontes sonoras. Assim, defendeu valores de TR próximos dos 0,5 s para refeitórios com volume máximo de 250 m³ e 0,7 s para salas com volume superior a 250 m³. Estes valores de TR, correspondiam a salas com alturas entre os 2,80 e 3,20 m.

Os materiais absorventes a utilizar deveriam ter um coeficiente de absorção, de preferência, maior do que 0,6 em bandas de oitava centradas em 500, 1000 e 2000 Hz. Como a maioria dos materiais absorventes é frágil e passível de ser danificada pelos alunos, sugeriu protegê-los, sem alterar as suas qualidades de absorção, usando placas metal perfurado ou tijolo perfurado de qualquer tipo.

Em casos de salas com alturas elevadas, corrente em espaços polivalentes, é sugerida a utilização de *baffles* para aumentar a absorção sonora. O desempenho destes defletores depende das suas características materiais, das suas dimensões e sua disposição (Fig. 3.2). [71]

Na maioria dos casos, a cozinha está conectada com a sala de jantar, pelo que o controlo/ redução do ruído deste compartimento é importante para que não prejudique o ambiente acústico da sala de jantar. As cozinhas costumam ser revestidas (piso e as paredes) com superfícies extremamente refletoras, pelo que o autor recomenda o tratamento acústico do teto, através do uso de materiais altamente absorventes.

O TR ideal da cozinha seria inferior a 1,5 s. [71]

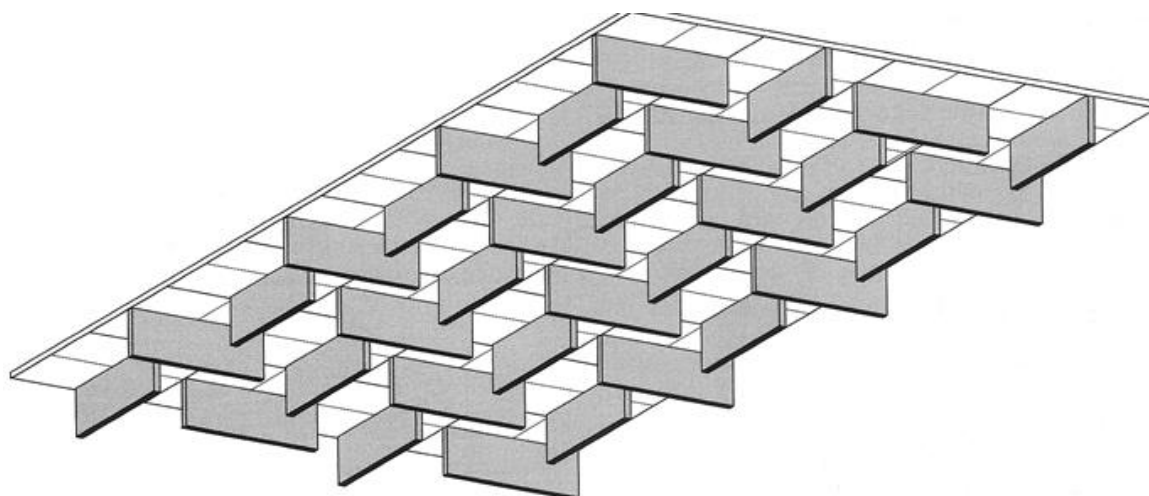


Fig. 3.2 – Exemplo esquemático da disposição dos *baffles* [71]

Em 2014, *P. Battaglia.*, estudou a impressão subjetiva de conforto acústico, com uma grande base de dados de 75 inquéritos-padrão para 11 restaurantes diferentes (825 no total). Os resultados indicaram que há uma forte correspondência entre o tempo de reverberação e a impressão subjetiva de conforto acústico, existindo um pequeno intervalo do tempo de reverberação que pode produzir conforto acústico para clientes de todas as faixas etárias, nomeadamente entre os 0,5 e os 0,7 s.

O estudo de *Battaglia* permitiu concluir ainda que diferentes componentes subjetivos de conforto acústico (silêncio, comunicação, privacidade...) variam significativamente por faixa etária com consequências específicas para o design acústico de restaurantes para diferentes clientela e que não há correspondência aparente entre o ruído de fundo e a impressão subjetiva de conforto acústico, pelo menos dentro da faixa de 70 a 84 dB(C) do conjunto de dados. [72]

O quadro 3.3 contém um breve resumo, por ordem cronológica, dos estudos anteriormente descritos sobre a acústica em espaços de restauração, evidenciando os principais parâmetros principais e os valores recomendados aconselhados pelos diversos investigadores.

Quadro 3.3 – Resumo dos estudos feitos até à data de hoje sobre acústica em restaurantes

Parâmetro/ Investigador	α	TR (s)	Lp dB(A)	Relação Sinal/ Ruído (dB)	Área por utilizador (m ² /pessoa)	ST I	Efeito <i>Lombard</i>	Estudos em particular
<i>Moulder</i> 1993		< 0,5	< 58		0,67 ~ 0,33			Estudo em 13 restaurantes americanos
<i>Lebo</i> 1994			< 65	≤ 10				Estudo de 27 restaurantes americanos; referência ao nível sonoro da palavra
<i>Tange</i> 1997							> 69	Estudo numa cantina em Hong Kong; estudo da relação entre ruído e fundo e nº de utilizadores
<i>White</i> 1999	> 0,2 2				< 0,67	> 0,3		Inquéritos em 4 restaurantes americanos demonstraram haver fortes relações entre desagrado e os valores elevados de RF e TR e reduzidos de RASTI

Kuttruff 2000	Propôs o uso de membranas, ressoadores e materiais porosos para controlar os tempos de reverberação de meios ruidosos						
Fernandez 2000	< 1,0		> 10				Inteligibilidade será má para valores até +10 dB, boa entre +10 e +20 dB e excelente para valores entre +20 e +30 dB
Kang 2002				0,25	> 0,4		Análise da qualidade de previsão do programa RADD
Astolfi e Fillipi 2003				0,2			Análise da relação inteligibilidade/privacidade; questionário de satisfação em 4 pizarias
Rychtáriková 2004	> 0,2						Análise ao TR/ <i>Strength G</i>
Bollard 2005	Relato de quatro restaurantes em França e suas principais características acústicas						
Long 2005	Análise da relação entre o nível de inteligibilidade e o valor da relação sinal/ruído; Conclui que a área de absorção por mesa deve oscilar entre 6 e 20 m ²						
Marisco et al. 2008	< 0,9				> 0,6		Estudaram diversos parâmetros descritores da inteligibilidade da palavra (T30, STI, C80, D50)
Hogdson et al. 2009						0,69 dB/dB	Modelo iterativo de previsão dos níveis de ruído e inteligibilidade em restaurantes
Fullerton et al. 2009	< 1,2						Transformação dum banco num edifício

							habitacional/ restaurante
Dorsh e Beiler 2009	Avaliação do ruído exterior, provocado por um restaurante com música ao vivo, através de modelo matemático e <i>software CadnaA</i>						
Hodgson e Nahid 2010	Com auxílio do <i>software Catt-Acoustic</i> , concluíram que o uso de painéis acústicos à volta das mesas seria a melhor forma de aumentar a inteligibilidade e a privacidade dos espaços						
Rindell 2012	Desenvolveu um modelo de previsão, baseado no efeito <i>Lombard</i> , para o ruído ambiente devido às conversas em estabelecimentos de restauração. Sugeriu uma relação sinal/ ruído de -3 dB é como base realista para critérios de <i>design</i> .						
Hamayon 2013	> 0,6	> 0,5 até 250 m ³ ; > 0,7 para volum es superi ores a 250 m ³			0,4 ~ 0,5		
Battaglia 2014	Estudou a impressão subjetiva de conforto acústico em 11 restaurantes diferentes (825 no total). Conclui existir um pequeno intervalo do tempo de reverberação, entre os 0,5 e os 0,7, que pode produzir conforto acústico para clientes de todas as faixas etárias; conclui ainda não haver correspondência entre o RF e a impressão subjetiva de conforto acústico, entre os 70 e os 84 dB(C).						

4

REABILITAÇÃO ACÚSTICA EM RESTAURANTES

4.1 INTRODUÇÃO

Os problemas acústicos em espaços de restauração são muitas vezes ignorados devido ao facto de muitos dos donos/gerentes destes estabelecimentos gostarem de ter um espaço “barulhento”, pois este excesso de ruído costuma estar associado a muitos clientes, o que significará que o espaço é bom, o que chama ainda mais clientes. Assim, quem gere estes espaços prefere ignorar as críticas negativas relacionadas com o ruído, mesmo que sejam das queixas mais comuns em restaurantes [2]. Não querem ter um restaurante silencioso, assumindo “se é muito silencioso é porque está praticamente vazio” e, assim, não acham vantajoso investir para reduzir o ruído do estabelecimento. Mas a acústica e os melhoramentos acústicos fazem muito mais pelo espaço que “reduzir o seu ruído”.

A estratégia dos gerentes até pode resultar e permitir continuar a ter clientes e a ser rentável. No entanto, o seu desconhecimento relativamente ao que uma boa acústica pode oferecer impede, muitas vezes, que os espaços se tornem mais agradáveis.

O tratamento acústico dos espaços, ao mesmo tempo que reduz o ruído geral da sala, procura garantir privacidade na conversa de cada mesa. Os clientes estão confortáveis quando podem, sem elevar o tom de voz, ser ouvidos com clareza por quem está na sua mesa: nem o ruído das outras mesas interfere na conversa, nem as suas conversas são perceptíveis nas outras mesas (pois chegam como um ruído minimizado). [2]

O objetivo da reabilitação acústica em restaurantes é aumentar o conforto e, no fundo, a qualidade dos estabelecimentos; melhorar a privacidade e a inteligibilidade nas conversas de cada mesa do espaço.

O tratamento acústico posterior à obra requer, naturalmente, reformas e trabalho refeito, pelo que o ideal seria sempre executar o projeto acústico no início da obra, junto com o projeto arquitetónico. Isto permitiria reduzir bastante os custos associados ao tratamento acústico. [73]

4.2 EXECUÇÃO DA REABILITAÇÃO ACÚSTICA

As obras de reabilitação acústica de edifícios têm características próprias que as tornam diferentes da construção tradicional. Geralmente, requerem o manuseamento, trabalho com materiais muito específicos e a mão-de-obra especializada, pois o detalhe na execução das técnicas construtivas faz toda a diferença. Por regra, os problemas surgem quando o desempenho acústico das soluções construtivas existentes está desajustado face às necessidades do edifício em questão e face aos ruídos que se façam

sentir. O reforço da qualidade acústica de determinado restaurante é fundamental sempre que se sinta desconforto motivado por fontes de ruído ou vibrações de percussão. Este tipo de problemas causa incómodo nos clientes e interfere no seu bem-estar. [74]

Quando estes problemas são detetados deve então contar-se com técnicos especializados (engenheiros) para iniciar o processo de reabilitação do espaço. Um projeto de reabilitação acústica geralmente é feito de forma faseada pela seguinte ordem [75]:

- Vistoria / Diagnóstico;
- Projeto de Reabilitação Acústica;
- Obra de Reabilitação Acústica.

A vistoria ao local deve ser feita por técnicos especializados cuja instrução e experiência permita identificar rapidamente as patologias e a origem dos problemas acústicos nos elementos construtivos. Durante a fase de vistoria são ainda feitos ensaios acústicos, fundamentais quer para o diagnóstico da situação em causa, quer para fornecerem dados técnicos para o projeto de reabilitação acústica.

Geralmente o que está em causa, não é apenas a transmissão de ruído pelo elemento construtivo direto (parede, pavimento) mas por todos os elementos construtivos que separam os edifícios, podendo qualquer um deles ser relevante para a resolução do problema. Assim, torna-se necessária uma análise cuidada de cada situação, por forma a identificar os pontos críticos e definir a melhor intervenção de reabilitação acústica para a situação em causa, tendo sempre em conta a relação entre custo e otimização de conforto acústico.

Tendo em conta os elementos recolhidos, nos dados técnicos de ensaios e também nos requisitos legais aplicáveis à situação referente, pode ser iniciado o projeto. É frequente os limites legais aplicáveis não serem suficientes para satisfazer as suas expectativas do projetista, pelo que recorrentemente são dimensionadas soluções com requisitos internacionais.

Finalizado o projeto, são discutidas as alternativas que conduzem à melhor relação desempenho / preço e podem iniciar-se os trabalhos.

4.3 CASOS PARTICULARES DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA EM RESTAURANTES

Neste subcapítulo estão presentes alguns casos de reabilitação acústica em restaurantes, com vista a melhor perceber os problemas mais comuns e as soluções de tratamento que podem/ devem ser adotadas.

4.3.1 BOSTON PENNY SAVINGS BANK: TRANSFORMAÇÃO DE UM BANCO NUM EDIFÍCIO DE UTILIZAÇÃO MISTA

No ano de 2007, em Boston, o antigo edifício do *Boston Penny Savings Bank* (figura 4.1), foi reabilitado e transformado num edifício de utilização mista, com dois espaços comerciais no rés-do-chão e habitação nos pisos superiores (figura 4.2). O edifício, inaugurado em 1917, manteve a estrutura externa original e deu origem a 23 residências de luxo e a dois espaços comerciais, tendo ainda 25 lugares de estacionamento subterrâneo. [76] [77]



Fig. 4.1 – *Boston Penny Savings Bank*, antes do processo de reabilitação [78]



Fig. 4.2 – *Boston Penny Savings Bank*, após do processo de reabilitação [79]

O facto de o projeto incidir num edifício de utilização mista leva naturalmente a maiores preocupações acústicas, sobretudo com o ruído proveniente do 1º piso que não deve afetar os moradores dos pisos superiores. A *Acentech* foi a responsável pela vertente acústica deste projeto. Os novos espaços de habitação seriam luxuosos, devendo, por isso, ter um excelente desempenho acústico. Pretendia-se obter um isolamento de 55 dB ou superior.

Foi, então, proposto para as paredes divisórias entre residências contíguas, divisórias duplas com múltiplas camadas de placas de gesso, isolamento da canalização e ainda isolamento de impacto nas cozinhas.

Para as construções piso/teto, foram usados tetos suspensos e sub-revestimentos acústicos nos pavimentos para minimizar a transmissão de ruídos de percussão.

Relativamente aos espaços comerciais do rés-do-chão, as preocupações com a acústica centravam-se sobretudo no espaço que serviria para restaurante. O outro espaço estava destinado a um simples balcão de atendimento ao cliente, sendo esperado que a maioria das atividades deste espaço sejam calmas e não produzam muito ruído. As únicas preocupações com o ruído deste espaço advinham dos sistemas de ventilação que o serviam. O espaço destinado para o restaurante era então o maior desafio a nível acústico da obra.

Devido ao *design* interior exigido pelo restaurante ser diferente do banco, a solução adotada para o teto dos dois espaços também teve de ser diferente. Para o estabelecimento bancário, foram colocados painéis de gesso contínuos sob as vigas estruturais da laje do 2º piso, criando um teto falso cuja cavidade foi preenchida por lã de vidro. Para o espaço do restaurante, era pretendido um teto o mais alto possível e, por isso, foi projetado para caber dentro das vigas estruturais. Esta solução exigiria mais atenção aos detalhes construtivos, devendo os locais onde a placa de gesso e as vigas se encontram estar devidamente selados (não devem existir fugas) e não se devem tocar (evitar criação de caminhos para transmissão sonora). Também foi aplicado material isolante, tal como no estabelecimento bancário. Na figura 4.3 pode observar-se a aplicação da lã de vidro no teto do restaurante e ainda o isolamento aplicado na estrutura base do edifício.



Fig. 4.3 – Instalação do isolamento no teto do restaurante, Boston [79]

O teto do restaurante projetado pelo arquiteto seria totalmente em madeira, sendo visualmente ímpar, mas não tendo qualquer papel acusticamente isolante ou absorvente (figura 4.4). Assim, foi introduzido material altamente absorvente entre o teto de madeira e o isolamento sonoro adotado.

Outra preocupação acústica foi isolar o ruído dos equipamentos mecânicos utilizados pelos espaços comerciais, que ficariam localizados no primeiro andar e no telhado do edifício. O isolamento de vibrações do equipamento foi planeado além dos tetos isoladores de som para o equipamento do primeiro andar. No telhado, o equipamento mecânico foi isolado completamente para controlar a vibração, e a base do telhado foi alterada de forma a melhorar o desempenho de isolamento para as residências abaixo.

Após a conclusão dos trabalhos, ocupação das residências e início do funcionamento dos estabelecimentos comerciais, surgiram queixas dos residentes do 1º piso relativas a ruídos vindos do restaurante. Foram então feitos testes ao isolamento do sistema teto/pavimento que separava os dois espaços e obteve-se um NIC de 58, considerado muito bom e dentro do que foi inicialmente projetado. Também foi medido o nível de ruído de fundo nas residências, com resultados de RC-20(N), NC-20 e 27 dB(A), níveis excepcionalmente baixos. Estes níveis, devidos à zona bastante calma e sossegada em que o edifício se situa, faziam com que, no entanto, os ruídos de percussão do restaurante se sentissem mais, ainda que os testes tenham revelado um nível de isolamento sonoro aceitável. [78] [79]



Fig. 4.4 – Teto de madeira do restaurante, Boston. [79]

Muitas das queixas dos moradores prendiam-se com o arrastar de cadeiras/mesas do restaurante. Para atenuar estes ruídos, o gerente do restaurante instalou pequenas “almofadas” de feltro nos pés das cadeiras/mesas. Ainda assim, as queixas mantiveram-se. Foi então testado o nível de transmissão sonora através da estrutura do edifício. Os resultados mostraram que as ligações entre o teto de madeira e as lajes estruturais criavam um caminho de transmissão sonora bastante eficiente para os sons de impacto.

Um par de meses após a abertura do restaurante, surgiram as primeiras críticas. Relativamente à acústica, os comentários revelaram que o espaço tinha níveis de ruído bastante elevados e intrusivos para conversar. Após essas revisões, foram feitas medições do TR do restaurante, desocupado. Obtiveram-se valores de 1,2 s, valores maiores que os inicialmente esperados. Estes valores deveram-se ao facto de o

absorvente acústico entre o teto de madeira e a estrutura não ter sido colocado. Foram então feitas obras de reabilitação, sendo instalado o absorvente acústico, e foram feitas novas medições para o TR, tendo os resultados sido de 0,6 s, o que permitiu melhorar o ambiente.

Concluindo, o desenvolvimento de projetos de uso misto introduz desafios acústicos que requerem atenção significativa e processos construtivos potencialmente detalhados. As construções melhoradas podem incluir tetos de isolamento acústico, construções de vigas duplas e controlo do ruído provocado pelos sistemas mecânicos.

O estudo deste caso destaca as questões acústicas entre uma residência e um espaço de restaurante adjacente. O facto de a zona ser muito tranquila foi tido como um fator significativo relativamente à audibilidade do ruído provocado pelo restaurante. No entanto, a solução acústica adotada para a ligação entre o teto do restaurante e a estrutura do edifício não se revelou nada eficaz, sendo o nível de transmissão de ruído de impacto através da estrutura o principal problema na acústica do edifício. [78] [79]

4.3.2 CONSTELLATION SYSTEM – AMBIENTE SONORO DINAMICAMENTE CONTROLADO

Ao longo dos anos têm surgindo grandes avanços tecnológicos, integrando cada vez melhor o mundo digital nos diversos sectores da atividade humana, permitindo o aparecimento de novas técnicas e possibilidades.

Em 2012, um restaurante em Berkeley, Califórnia, tornou-se no primeiro a adotar um sistema acústico inovador desenvolvido pela *Meyer Sound*, o *Constellation System*. Este sistema, que já tinha sido adotado com sucesso em anfiteatros e salas de espetáculo, é uma tecnologia relativamente nova que controla os níveis de reverberação de uma sala com o pressionar de um botão. Usando uma combinação de materiais de absorção de som, microfones, altifalantes e um processador digital, é possível controlar o ambiente acústico do restaurante, tornando-o mais alto ou mais suave, consoante as preferências ou necessidades. [80]



Fig. 4.5 – Restaurante Comal, Berkeley [82]

Inicialmente, a equipa de engenheiros instalou alguns painéis acústicos nas paredes do restaurante para aumentar a capacidade de absorção sonora do espaço e amortecer o TR. Para controlar ativamente a profundidade e textura do som (tanto conversa e como música ambiente), foi então adicionado o sistema acústico *Constellation*. Para isso, foram distribuídos pelos 3000 m² do restaurante, um total de 83 altifalantes, subwoofers e microfones. Na figura 4.5 pode observar-se estes equipamentos no teto e nas paredes do restaurante, bem como um painel de absorção acústica no lado esquerdo da imagem. Os microfones captam o som, que é enviado para um computador, onde é processado em tempo real por uma plataforma de áudio-digital desenvolvida pela *Meyer Sound*. Esta plataforma aplica ao som um algoritmo de reverberação, que permite regenerar e melhorar o som, que depois é reintroduzido na sala em níveis controlados. Todo este sistema pode ser controlado pelo gerente do restaurante, através de uma simples aplicação instalada num *smartphone*. A aplicação tem *presets* originais, não sendo necessário ter grandes conhecimentos de acústica para conseguir manuseá-la. [81] Além disso, é possível configurar diferentes TRs para diferentes áreas do restaurante, o que permite distinguir o ambiente acústico do bar e da sala de jantar, por exemplo.

O sistema recebeu críticas bastante positivas, pois este controlo dinâmico do ambiente acústico permite que os restaurantes tenham espaços “vivos”, sem que o ruído interfira nas conversas, em qualquer situação (pode-se ajustar ao número de clientes e ruído instalado). Atualmente, mais 3 restaurantes na Califórnia utilizam o *Constellation System*. [83]

4.3.3 RESTAURANTE BRODIE, ESCÓCIA

Este restaurante familiar, localizado em Forres, no norte da Escócia, é um dos principais centros turísticos da região. Para compensar o crescimento do turismo na zona, e consequentemente o aumento do número de clientes, foi construída uma extensão do restaurante (fig. 4.6). Este novo espaço foi concebido em plano aberto, com tetos altos, e bastante amplo.

Infelizmente, o conforto acústico do restaurante não ficou devidamente assegurado, o que proporcionou bastantes críticas relacionadas com o ruído interior do restaurante. O novo *design*, consistindo em superfícies refletoras e reverberantes, criou uma grande câmara de eco. [84]

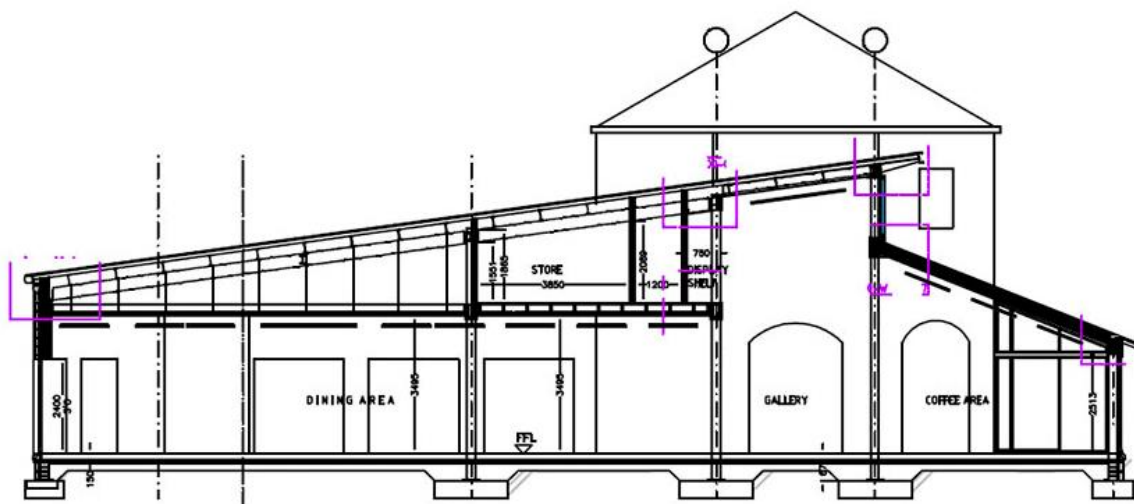


Fig. 4.6 – Esquema da nova parte do restaurante *Brodie*, *Forres*, visto em corte [84]

Para contrariar estas críticas, a gerência do restaurante, contactou uma empresa de acústica, a *Resonics*, para reabilitar o espaço acusticamente.

Como é habitual, era pretendido fornecer clareza acústica ao espaço sem que a parte estética fosse diminuída. O tema do restaurante combina elementos do novo e do velho: o restaurante moderno contrasta com imagens e temas da natureza e da Escócia tradicional, inspirado nos planaltos circundantes.

A solução apresentada, consistiu em instalar painéis acústicos no espaço, com pinturas nelas impressas para melhorar a estética (figura 4.7).

Nas áreas em que se verificava ecos mais intensos, sobretudo no centro da sala de jantar (maior condensação) e no corredor elevado, foram instalados painéis acústicos de forma padronizada no teto para aumentar a capacidade de absorção da sala, diminuir o TR e o eco gerado (fig. 4.8). [84]



Fig. 4.7 – Tela impressa nos painéis acústicos do *Brodie, Forres* [84]



Fig. 4.8 – Painéis acústicos circulares na sala de jantar do *Brodie, Forres* [84]

4.3.4 RESTAURANTE CASA CRUZ, LONDRES

Este restaurante, localizado na zona ocidental da cidade de Londres, foi concebido num local outrora ocupado por um *pub*. A equipa de engenharia acústica *Resonics* foi chamada para fornecer uma solução acústica para esta ambiciosa conversão.

O design interior do restaurante era bastante arrojado e moderno. O espaço continha um bar oval central revestido, tal como as paredes, com uma superfície de cobre e o piso, feito em mármore, com um padrão composto por uma série de segmentos triangulares alternados irradiados a partir do centro da sala (fig. 4.9). Todas estas superfícies, bastante refletoras, contribuíam certamente para as más condições acústicas interiores apresentadas.



Fig. 4.9 – Restaurante Casa Cruz, Londres [85]

O teto não tinha qualquer solução de tratamento acústico e foi, por isso, o principal alvo de reabilitação. O dono do restaurante pretendia ainda que este combinasse com o padrão do piso, criando um efeito de reflexão entre eles (fig. 4.10).

A solução da equipa de engenheiros recaiu em incorporar um sistema acústico oculto, permitindo apresentar exteriormente o padrão pretendido. Para isso, foi usado um revestimento têxtil a proteger o absorvente acústico, lã de rocha, que passou a preencher o teto do restaurante. O revestimento têxtil foi instalado no próprio local, tendo sido cortados os segmentos triangulares em cores alternadas para produzir o padrão pretendido (fig. 4.11). Este revestimento impediu a cedência do material absorvente e ainda a exposição da estrutura. [85] [86]

Os resultados obtidos foram bastante positivos, pois tanto os objetivos de correção acústica como os visuais foram cumpridos. O padrão foi bem replicado pelo têxtil, nada refletor (e trespassável pelo som), e a lã de rocha aumentou bastante a capacidade absorvente do espaço, baixando o TR. [85]

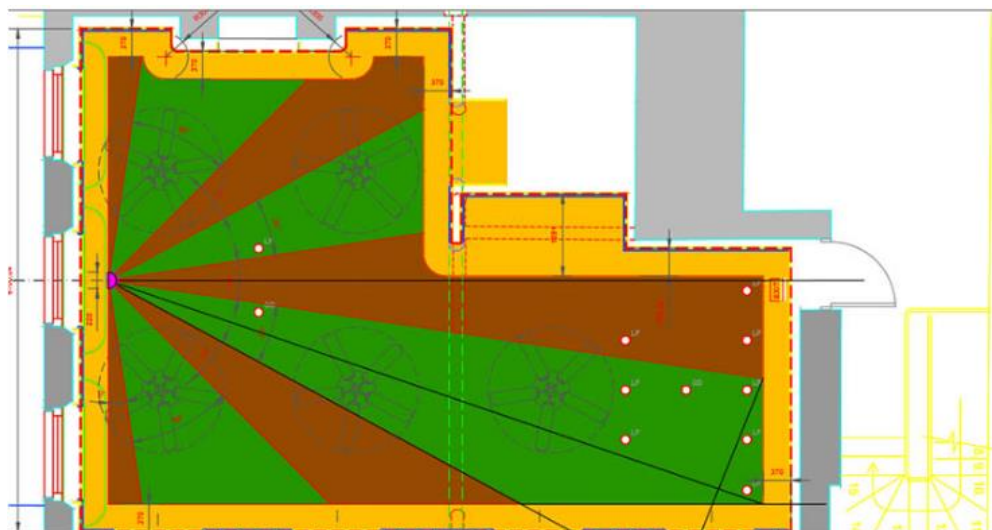


Fig. 4.10 – Detalhe do padrão do teto do Casa Cruz [85]

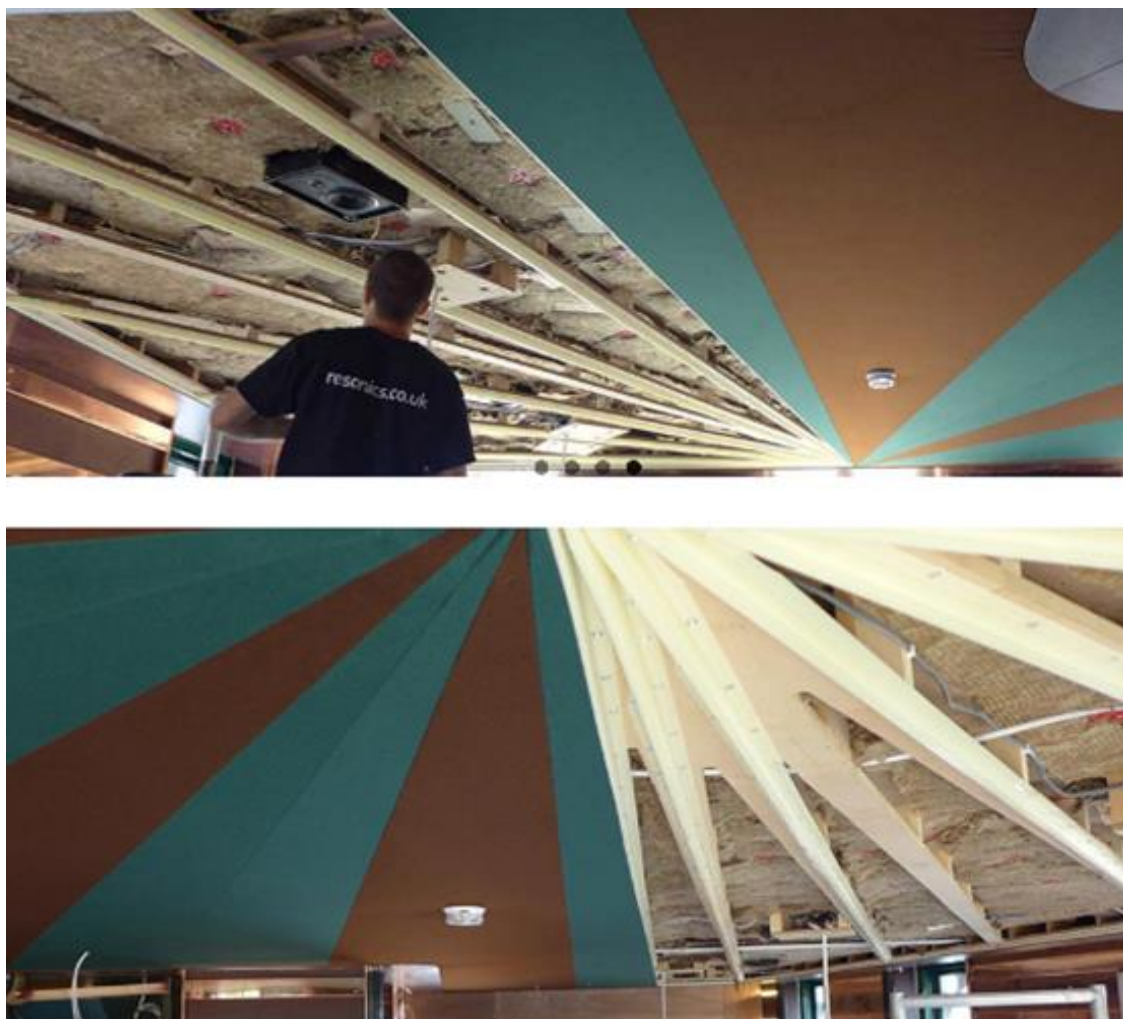


Fig. 4.11 – Instalação do revestimento têxtil no teto [85]

4.3.5 CANTINA DO DFID, LONDRES

O Departamento Internacional de Desenvolvimento – DFID – contactou uma empresa de engenharia acústica para fazer uma avaliação e eventual tratamento do ambiente acústico da cantina e da área de *break-out* na sua sede, no *Palace of Whitehall* em Londres.

O *Palace of Whitehall* é um edifício em que estão instalados vários serviços do governo britânico e foi construído no século XVI. Trata-se, portanto, de um edifício histórico, que mantinha ainda o teto e paredes originais, sendo que a solução de tratamento acústico adotada não deveria alterar o aspeto do edificado. [87] [88]

Os técnicos concluíram que o espaço tinha um problema de reverberação, causado principalmente pela elevada altura e pelas superfícies rígidas, muito refletoras. Este ambiente reverberante provocava níveis de ruído excessivos, falta de inteligibilidade e de privacidade. As medições feitas revelaram um TR de 3,34 s, valor extremamente elevado. O objetivo seria baixá-lo para os 1.2 s.

A solução idealizada foi o uso de painéis altamente absorventes (cerca de 90% de capacidade de absorção) no teto e paredes dos espaços. Na zona da cantina, instalaram-se painéis circulares (fig. 4.14); por outro lado, na zona de *break-out*, os painéis instalados foram quadrangulares por forma a encaixarem melhor na geometria e estética da sala (fig. 4.12). Para completar, foram ainda instalados painéis acústicos nas paredes de ambas as salas (fig. 4.13). [87]



Fig. 4.12 e 4.13 – Painéis acústicos do teto, quadrangulares e circulares, na sala de *break-out* e cantina do DFID, respetivamente [87]

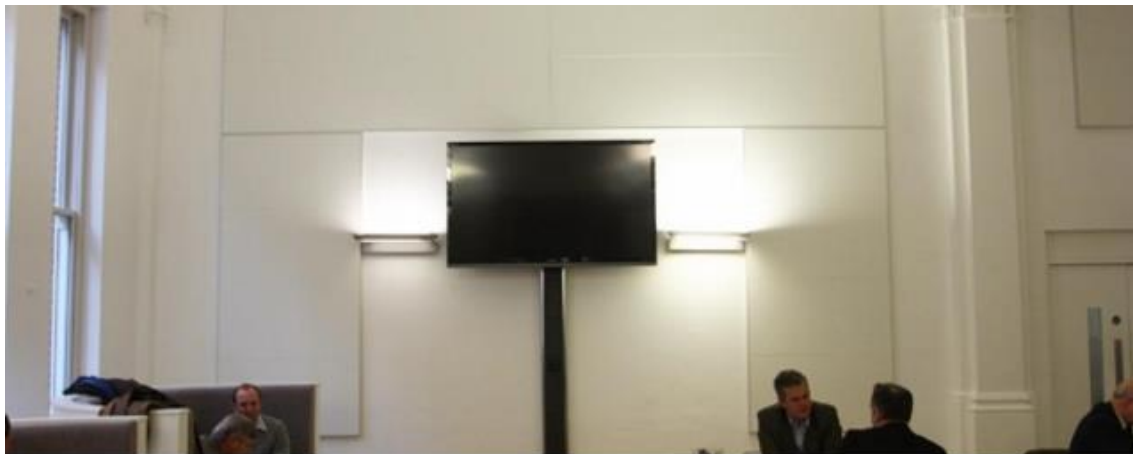


Fig. 4.14 – Painéis acústicos das paredes na sala de *break-out* [87]

Os painéis do teto único foram pendurados nuns “cabides” de aço. Os painéis assim suspensos, além de facilitarem a sua manutenção (limpeza), aumentam a sua área superficial e, consecutivamente, a sua capacidade de absorção.

O resultado final foi uma solução acústica altamente eficaz (cada elemento da solução proposta garantiu 90% de absorção sonora – classe A), tendo sido cumpridos os objetivos estabelecidos, tanto acústica como visualmente. [87]

4.3.6 RESTAURANTE THE CLINK, LONDRES

O restaurante *The Clink*, situado no centro de Londres, é um caso único, devido ao facto de ter sido construído no edifício de uma antiga prisão, mantendo mesmo a sua estrutura. O restaurante faz parte de um projeto de reabilitação de antigas prisões no Reino Unido e chama a atenção do público precisamente por esse fator.

Os responsáveis pelo restaurante entraram em contacto com uma empresa de consultoria acústica, neste caso a *Ecophon*, quando se tornou claro que o restaurante tinha défices elevados de conforto acústico, tornando-se num espaço bastante ruidoso quando as conversas dos clientes se misturavam com os ruídos provenientes da cozinha, que tinha a agravante de ser aberta.

O *design* inicialmente projetado na sala do restaurante previa uma sala única, com tetos altos e inclinados, paredes revestidas a azulejo, mesas de vidro e pisos de madeira. A junção de todas estas superfícies altamente refletoras e a geometria do espaço contribuíram bastante para as más condições de conforto acústico do espaço.

A equipa a cargo do projeto começou então por medir o tempo de reverberação do espaço e delineou o objetivo atingir: uma redução de 3dBA nos níveis sonoros sentidos no restaurante. Recorrendo a fotos do interior do restaurante, foi feito um mapeamento de modo a escolher os melhores locais para colocar painéis acústicos de alto desempenho, produzidos pela própria *Ecophon*. No entanto, a solução dos projetistas acabou por recair na instalação desses painéis na parte superior das paredes e no teto, em quase todo o perímetro do restaurante (um total de 85 m² de área de painel acústico). Os painéis, constituídos por lã de vidro de alta densidade, foram fixados diretamente às paredes e ao teto e revestidos

com um acabamento branco, de modo a dar um aspeto fresco e limpo que se integrasse no *design* da sala. A redução de 3 dBA foi conseguida. [88]

Nas figuras seguintes é possível visualizar a diferença no espaço após a intervenção, sobretudo no teto.



Fig. 4.15 – Restaurante The Clink, antes da reabilitação [89]



Fig. 4.16 e 4.17 – Restaurante The Clink, após a reabilitação [88]

5

CASO PARTICULAR DE ESTUDO – CANTINA FEUP

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DA CANTINA FEUP

5.1.1 LOCALIZAÇÃO

A cantina da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) é um espaço de restauração dos SASUP, destinado, essencialmente, aos utentes da FEUP, situando-se no *campus* da mesma, na Rua Dr. Roberto Frias, Paranhos, Porto (Fig. 5.1).

A zona em que o edifício da cantina está localizado é delimitada pela Rua D. Frei Vicente da Soledade e Castro, a Norte; pela autoestrada A3, a Este, que passa a cerca de 100 m da cantina; pela Travessa das Lamas, a Sul; e pelo UPTEC, a Oeste.

A cantina situa-se localizada próxima de parques de estacionamento, não sendo, no entanto, uma zona de grande tráfico automóvel.

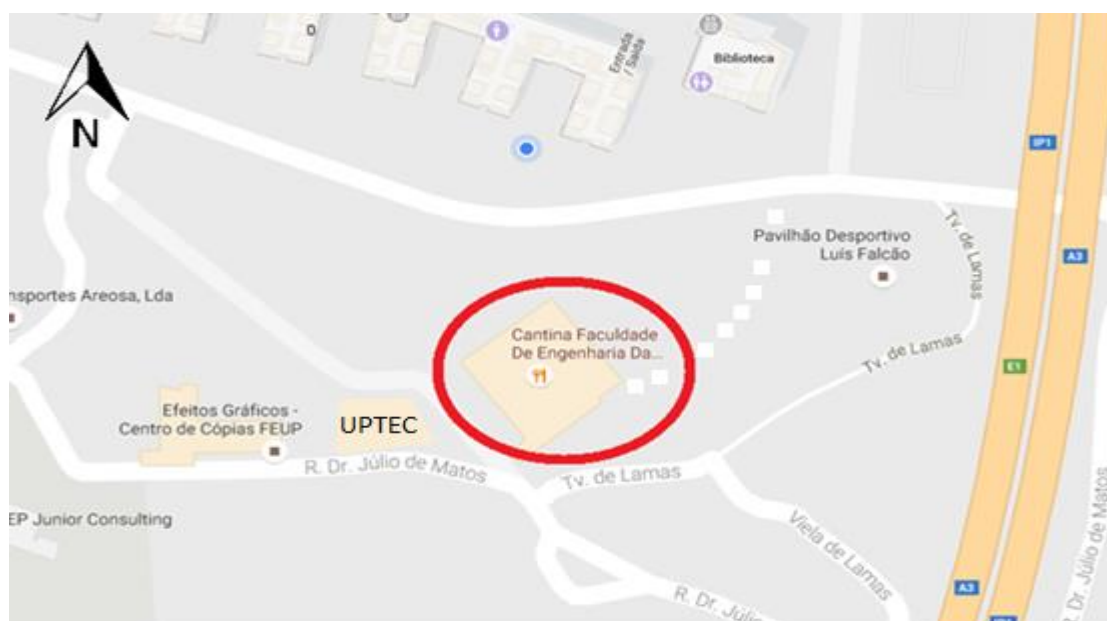


Fig. 5.1 – Mapa da zona envolvente à cantina da FEUP [90]



Fig. 5.2 – Fotografia aérea da zona envolvente à cantina da FEUP [90]

5.1.2 DIMENSÕES

O quadro 5.1 apresenta alguns valores referentes às principais dimensões e utilização da cantina (foram feitas algumas estimativas e alguns cálculos).

Quadro 5.1 – Valores aproximados relativos à cantina da FEUP [2]

Comprimento (m)	32,8
Largura (m)	14,9
Pé-direito (m)	3,5
Pé-direito rebaixado (m)	2,5
Área (m^2)	453
Volume (m^3)	1446
Tempo de abertura da cantina (min)	150
Número de utilizadores médio em 150 min – 2,5h	1300
Número de mesas	28
Número de lugares	330
Densidade média (utilizador/ m^2)	0,57
Tempo médio de espera na fila (min.)	10
Tempo médio de uma refeição (min.)	25

Nº médio de utilizadores ao mesmo tempo na cantina	260
Nº máximo de utilizadores em fila de espera	70
Nº de utilizadores máximo ao mesmo tempo na cantina	400

5.1.3 TIPOLOGIA DO EDIFÍCIO

O edifício tem geometria retangular e está implantado segundo uma orientação Nordeste-Sudoeste, sendo o lado de maior extensão da cantina, o que está virado para Sudoeste e o de menor extensão virado para Noroeste. O edifício da cantina compreende: o refeitório, a cozinha e seus anexos, uma área para casas de banho e as zonas do *grill* e do bar (esta última considerada como pertencente à cantina por não haver separação).

O edifício é constituído por dois pisos. O piso 0, destinado apenas a cargas e descargas e arrumações, e o piso 1, destinado às atividades de restauração, que vai ser o alvo do estudo acústico. Na figura 5.3 está representada a planta do 1º piso, onde se pode observar a sua organização espacial.

O 1º piso é maioritariamente delimitado por grandes áreas de vidro na fachada, que por um lado potenciam a vista para o exterior e favorecem luminosidade natural do espaço mas que, por outro lado, são superfícies altamente refletoras do ponto de vista acústico.

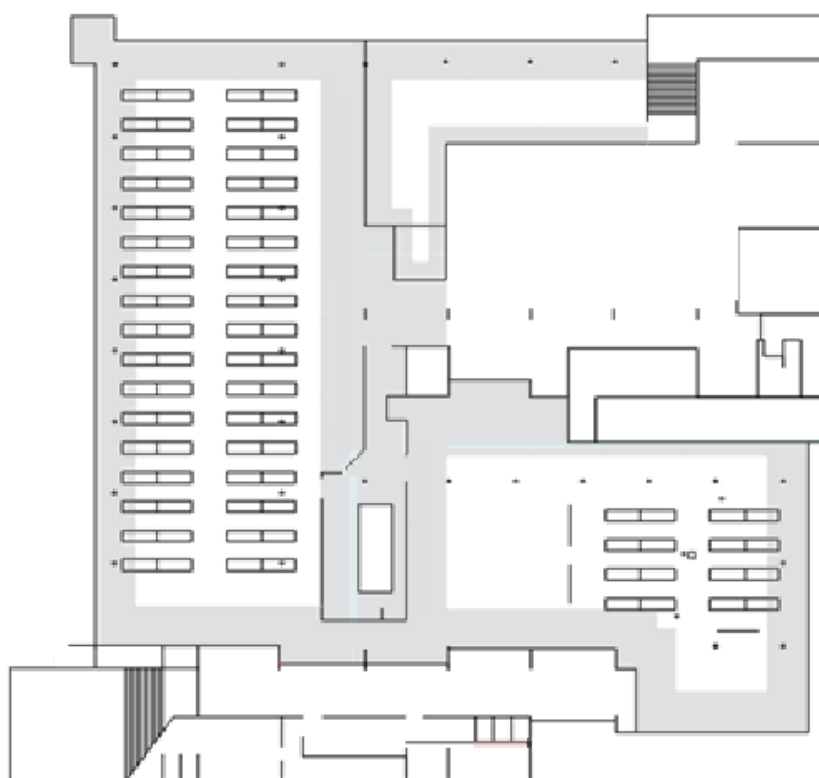


Fig. 5.3 – Planta do piso 0 da Cantina da FEUP

Nas figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7, é possível observar os alçados Norte, Sul, Este e Oeste.



Fig. 5.4 – Alçado Norte da cantina da FEUP



Fig. 5.5 – Alçado Sul da cantina da FEUP



Fig. 5.6 – Alçado Este da cantina da FEUP



Fig. 5.7 – Alçado Oeste da cantina da FEUP

A geometria espacial é relativamente simples. De salientar que apresenta uma redução do pé-direito junto às janelas e na zona de acesso à cozinha (zona sombreada a cinza na figura 5.3).

O acesso ao edifício é dado por duas saídas a noroeste e a sudeste (representadas na planta a vermelho) mais uma saída – de emergência – na zona do bar (representada a vermelho tracejado).

5.2 VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE RUÍDOS EXTERIORES NO RUÍDO DE FUNDO

Apesar de o edifício da cantina se encontrar não muito distante da autoestrada A3 (cerca de 100 m, a Este), o ruído proveniente desta não é muito significativo, pois está protegido pelo Pavilhão desportivo

Luís Falcão, que funciona como barreira parcial para esse ruído. A Sul e a Oeste, não se regista ruído exterior significativo proveniente do UPTEC e dos arruamentos próximos.

Apesar de o edifício ser circundado por alguns parques de estacionamento, estes não são provocadores de quantidades de ruído significativas.

Os ruídos exteriores mais notórios serão provenientes da rua da FEUP (Rua Dr. Roberto Frias), a Norte, mais movimentada. No entanto, não é previsível que estes sejam expressivos face ao ruído interior do edifício.

5.3 REQUISITOS ACÚSTICOS

Como já foi anteriormente referido, para a avaliação do conforto acústico em restaurantes e refeitórios, os parâmetros acústicos analisados neste estudo serão comparados com os definidos na legislação nacional.

Os requisitos relativos às condições acústicas em refeitórios estão presentes no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-lei nº129/2002 de 11 de Maio, que regula a vertente do contacto acústico em edifícios, republicado pelo Decreto-lei nº 96/2008 de 9 de Junho [1]. No entanto, a legislação nacional, é bastante escassa no que diz respeito aos requisitos acústicos em cantinas ou refeitórios, sendo as normas impostas para cantinas escolares manifestamente insuficientes e não existindo sequer para cantinas universitárias como é o presente caso de estudo. Para efeitos de verificação da regulamentação, considerar-se-á a cantina da FEUP como uma cantina escolar.

Para o estudo de locais de restauração, nomeadamente de refeitórios escolares, os requisitos a cumprir são os indicados no artigo 7º, relativos a "edifícios escolares e similares, e de investigação". Relativamente ao ruído de fundo em cantinas escolares, como o Decreto-Lei nº 962008 (RRAE) não estabelece valores para cantinas ou refeitórios, os valores medidos serão comparados com as curvas de incomodidade NC e NR e com os valores propostos por *Lebo* [55], referidos anteriormente:

- Classe 1— Menos de 65 dB(A); Atmosfera tranquila com serenidade acústica.
- Classe 2 — De 65 a 74 dB(A); Alta variabilidade na inteligibilidade de fala para indivíduos normais e com deficiência auditiva.
- Classe 3 — 75 dB(A) ou mais; Alto nível de ruído ambiente; conversa difícil para os clientes com audição normal e impossível para pessoas com perdas auditivas.

O tempo de reverberação também será comparado com os limites impostos no artigo 7º do RRAE. Este artigo diz que "no interior dos locais que constam do quadro III do anexo ao presente Regulamento, considerados mobilados normalmente e sem ocupação, o tempo de reverberação, T , correspondente à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, deve satisfazer as condições indicadas no referido quadro", que referem que o tempo de reverberação máximo para refeitórios escolares deverá respeitar a seguinte equação:

$$T = 0,15 V^{1/3} \quad (5.1)$$

Em que, V é o volume do refeitório em m^3 .

Considerando um volume de $1446 m^3$ para o presente caso de estudo, tem-se que o TR regulamentar máximo para o refeitório da cantina da FEUP seria de 1,70 s. No espaço do *grill*, considerando um volume de $578 m^3$ (40% do volume da cantina), tem-se um TR regulamentar de 1,25 s.

Será ainda importante considerar que "o valor obtido para o tempo de reverberação, T , diminuído do fator I no valor de 25% do limite regulamentar, deve satisfazer o limite regulamentar" [4]. Assim, obtém-se, para o presente caso, um TR regulamentar máximo menor que 2,13 s para a zona da cantina e 1,56 s para a zona do *grill*.

O estudo de 2012 [1] considerou um TR de 2,23 s para o espaço da cantina e não é expectável que tenha sofrido variações significativas.

Quanto ao nível de inteligibilidade da palavra, este será calculado através da medição do RASTI, seguindo a Norma CEI 268-16 (CEI, 1988) [33], cujos valores serão obtidos com auxílio dos equipamentos de medição da *Brüel & Kjaer* referidos anteriormente.

5.4 ASPETOS CONSTRUTIVOS RELEVANTES

Pode considerar-se o interior do edifício dividido em várias zonas, identificadas na planta da figura 5.8. As zonas do bar e das casas de banho não serão analisadas, sendo este estudo focado na zona do refeitório e na zona do *grill*.

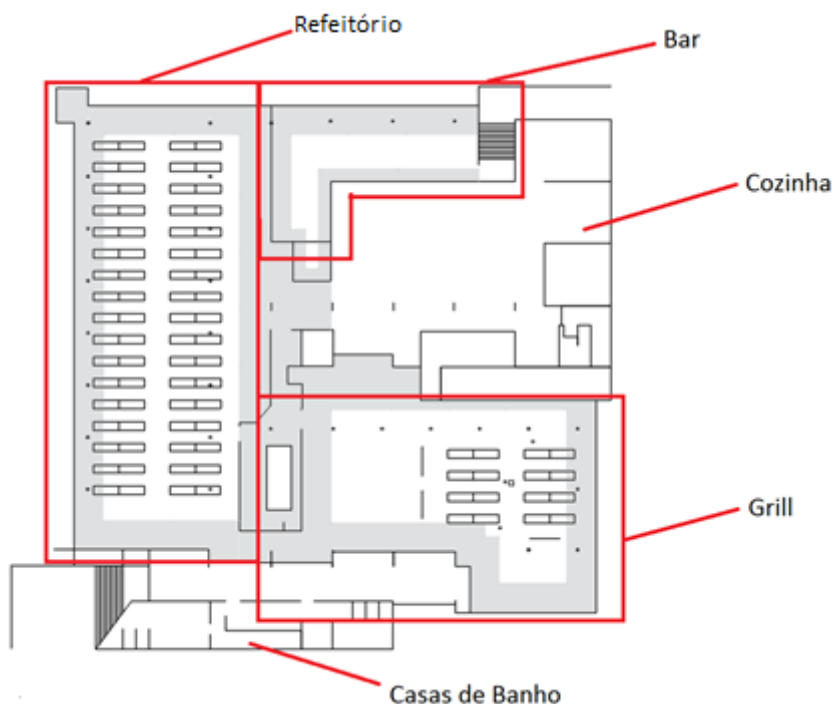


Fig. 5.8 – Divisão dos espaços do edifício da cantina da FEUP

5.4.1 ZONA DO REFEITÓRIO

O espaço do refeitório é um espaço quadrangular com cerca de 453 m² de área, com um aspeto bastante amplo, devido ao elevado pé-direito, à distância elevada entre os pilares e à fachada envidraçada do edifício. A fachada é composta por 20 janelas, totalizando uma área de cerca de 70 m² [2] (fig. 5.9).

O teto apresenta duas soluções construtivas distintas, havendo uma zona com pé-direito mais elevado que outra (figuras 5.10 e 5.11). Como referido anteriormente, a zona representada na planta a cinza (fig. 5.8), apresenta uma redução de 1 m no pé-direito face ao pé-direito do vão central da cantina. Esta

redução, concebida através de gesso cartonado, pode ser visualizada nas fotos do interior do refeitório da cantina.

Por outro lado, o teto do vão principal, com um pé-direito de 3,5 m, apresenta um revestimento em “teto suspenso” de placas quadrangulares removíveis em gesso cartonado perfurado. Segundo os projetistas, existe uma camada de cerca de 10 cm de lâ-de-rocha no seu interior. Além disso, esta solução construtiva permite cobrir e esconder os cabos elétricos e tubos do sistema de extinção de incêndios.



Fig. 5.9 – Interior da cantina da FEUP (refeitório)

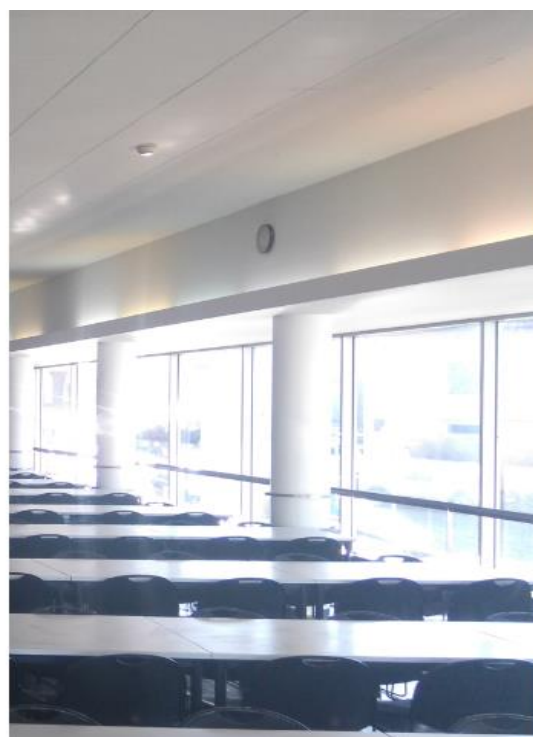


Fig. 5.10 e 5.11 – Detalhe do construtivo do teto (refeitório)



Fig. 5.12 e 5.13 – Revestimento do pavimento e das paredes (refeitório)

O pavimento do refeitório é composto por tijoleira cerâmica de cor, colada à laje fungiforme de betão armado através de um ligante de cor clara. O mesmo tipo de revestimento é aplicado às paredes interiores até uma altura de 1 m (figura 5.12).

Este revestimento está também presente no canto Oeste do edifício, interseção das duas paredes de fachada Sudoeste e Noroeste (figura 5.14 – também é possível visualizar, novamente, a solução de redução do pé-direito).

A partir de 1 m de altura, as paredes são revestidas a reboco branco, assim como os pilares (figura 5.13), com exceção feita à parede Este (contígua à cozinha), que apresenta painel decorativo/informativo sobre o reboco (figura 5.15).



Fig. 5.14 – Detalhe do canto Oeste da cantina (refeitório)

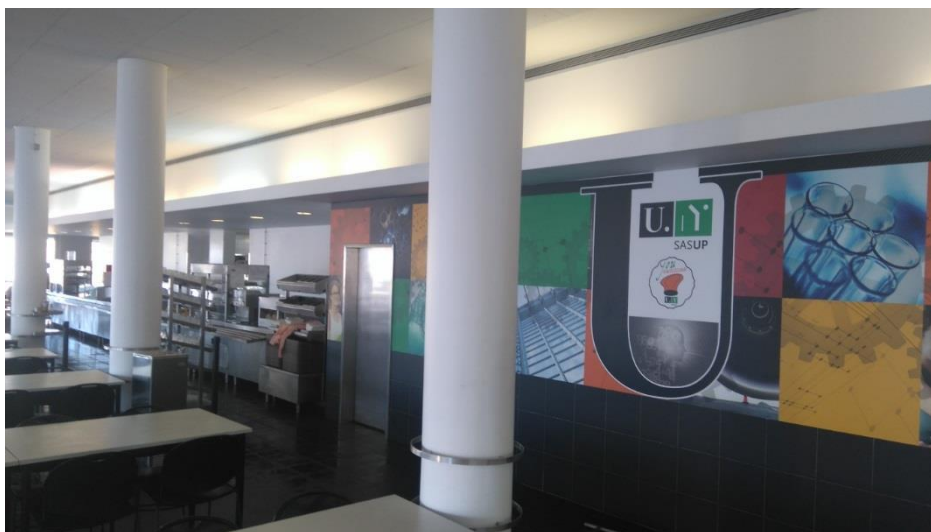


Fig. 5.15 – Parede Este do refeitório da cantina da FEUP

Como se verifica nas fotos dos alçados Norte, Este e Oeste (figuras 5.4, 5.6 e 5.7), a fachada do edifício é toda envidraçada. A solução construtiva compreende uma grelha metálica entre o rodapé cerâmico e a caixilharia das janelas (figura 5.16) que contribui para a ventilação natural do edifício. Por outro lado, esta solução construtiva é prejudicial ao isolamento sonoro da fachada, tornando-a mais permeável à transferência de ruídos com o exterior.



Fig. 5.16 – Pormenor da grelha de ventilação na fachada do edifício da cantina da FEUP

Existe uma porta amovível a separar o refeitório do bar (figura 5.17), mas, habitualmente, está recolhida, não havendo qualquer separação entre os dois espaços, tornando-os num único espaço. As medições foram feitas com a porta recolhida, pois a porta fechada impediria o funcionamento do bar.

Entre o refeitório e o *grill* também não existe qualquer barreira física, havendo um corredor (a ligar estes dois espaços) que é usado como ponto de recolha dos tabuleiros.

Igualmente entre a cozinha e o refeitório não existe barreira física, podendo o som circular livremente (figura 5.18).



Fig. 5.17 – Porta removível recolhida, no lado esquerdo (divisória entre o refeitório e bar)



Fig. 5.18 – Ligação entre cozinha e refeitório

As mesas e cadeiras do espaço são feitas à base de plástico e metal, e as suas superfícies são pouco absorventes.

5.4.2. ZONA DO GRILL

Este espaço foi remodelado em Fevereiro de 2015. Apresenta uma área bastante menor que o refeitório (cerca de 40%) e, tal como o espaço do refeitório, apresenta redução de pé direito. O teto apresenta um conjunto de 25 painéis acústicos suspensos, com o mesmo formato do sistema de iluminação – uma solução que permite aumentar a absorção sonora do espaço, ao mesmo tempo que se integra bem, do ponto de vista arquitetónico (figuras 5.19 e 5.20). A planta do teto deste espaço encontra-se representada na figura 5.21.



Fig. 5.19 – Espaço do *grill*



Fig. 5.20 – Painéis acústicos suspensos no teto do *grill*

Os painéis suspensos do teto foram executados em gesso cartonado de 15 mm com estrutura metálica oculta e suspenso da laje com varões roscados. O seu desenho é da autoria do Arq. Rui Silva e exclusivo desta obra. Os painéis possuem as mesmas dimensões e formato dos candeeiros suspensos, camuflando-se entre eles. O seu desenho e pormenores estruturais estão presentes na figura 5.22, que representa a planta e corte lateral dos painéis.

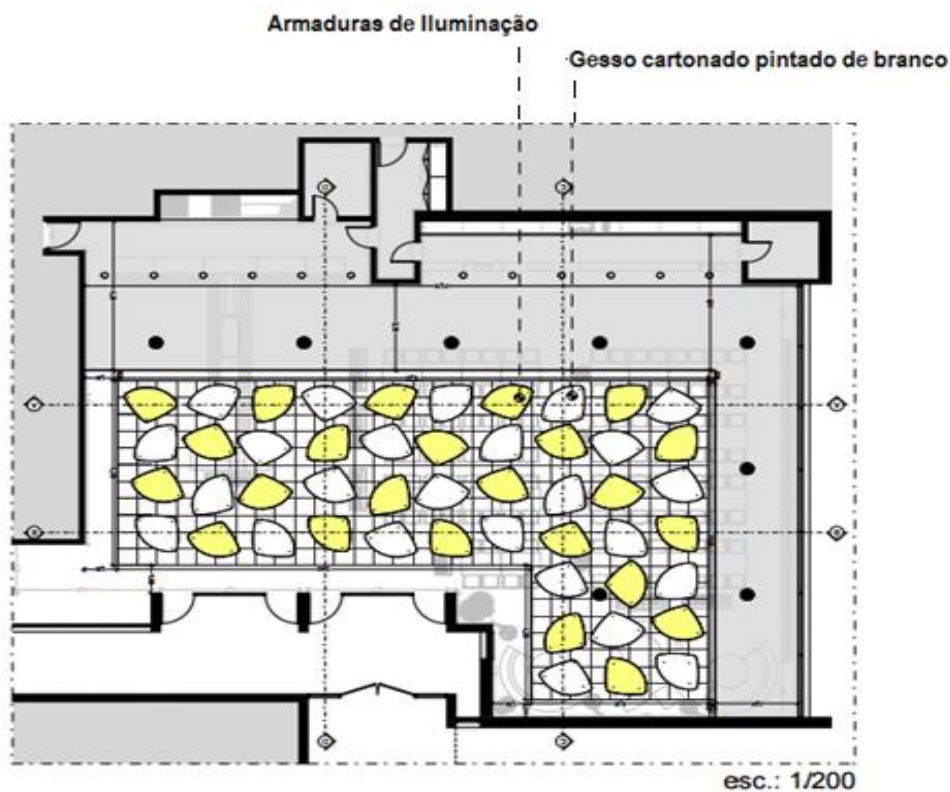


Fig. 5.21 – Planta do teto do Grill

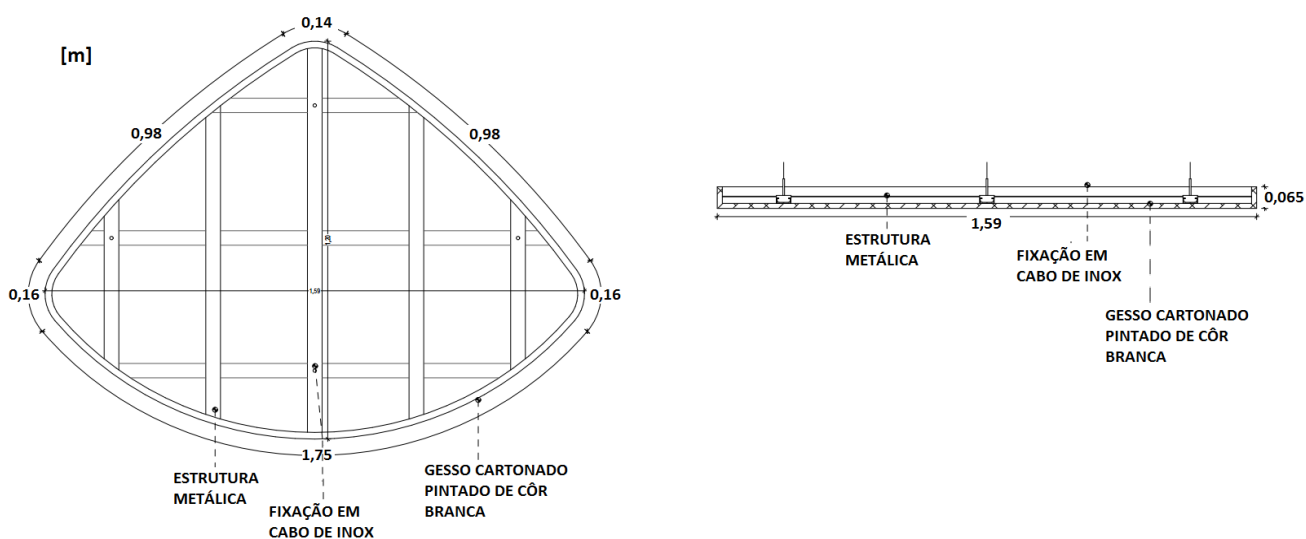


Fig. 5.22 – Esquema estrutural dos painéis suspensos do teto do Grill, em planta e em corte, respetivamente

Quanto ao teto, suspenso e de cor escura, foram utilizados painéis *Tonga A 22* (600 por 600 mm), compostos por lâ-de-rocha de alta densidade de 22 mm de espessura, assentes em perfis de alumínio T15 de 15 mm. As características técnicas e estruturais destes painéis, fabricados pela *Eurocoustic*, estão presentes na figura 5.23.

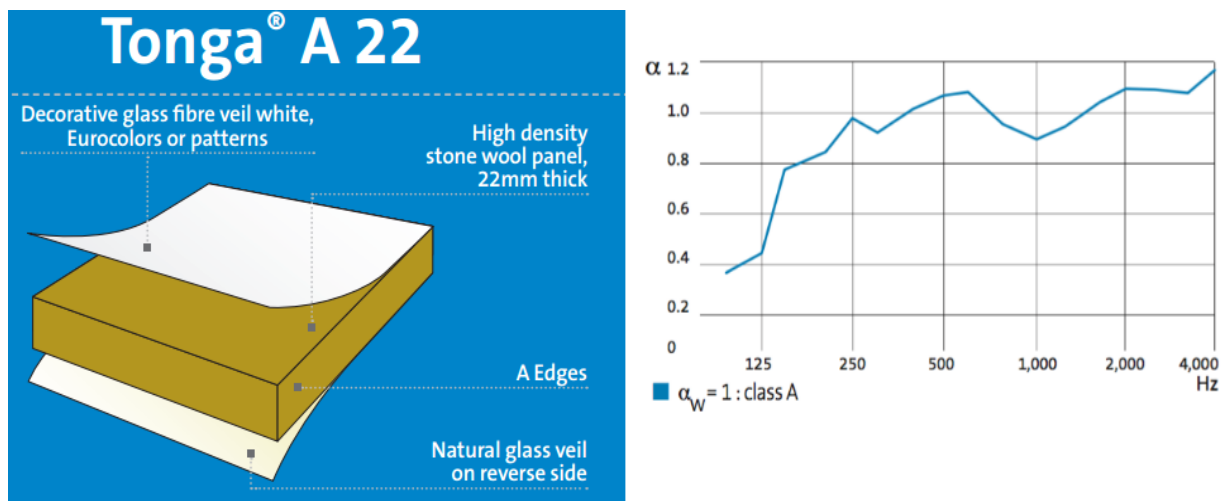


Fig. 5.23 – Pormenores estruturais e características de absorção acústica dos painéis *Tonga A 22* [91]

O facto de este tipo de material possuir diversos formatos modulares [91] permite a sua utilização quer em espaços mais decorativos quer noutros mais técnicos. O acesso às infraestruturas existentes (redes elétricas, detenção de incêndio, áudio, ventilação, climatização, etc..) é fácil e rápido, não sendo necessária a utilização de mão-de-obra específica para refechamento do teto (ao contrário dos tetos em gesso cartonado, por exemplo). A manutenção dos painéis também é bastante simples, podendo ser limpos sem grandes restrições [91].

Esta solução procurou resolver acusticamente os problemas anteriormente existentes naquele espaço, tornando-o, assim, mais agradável, quer para os utilizadores quer para os funcionários da unidade alimentar.

Quanto ao revestimento do pavimento e das paredes é igual à zona do refeitório, assim como a fachada do lado Este (figura 5.6).

Na figura 5.19, também é possível observar (no lado esquerdo da foto) o anteriormente referido corredor de ligação entre o refeitório e o *grill*. Também nesta zona do *grill* não há barreira física a separar a cozinha (figura 5.24).

O mobiliário (mesas e cadeiras) é semelhante ao do refeitório.

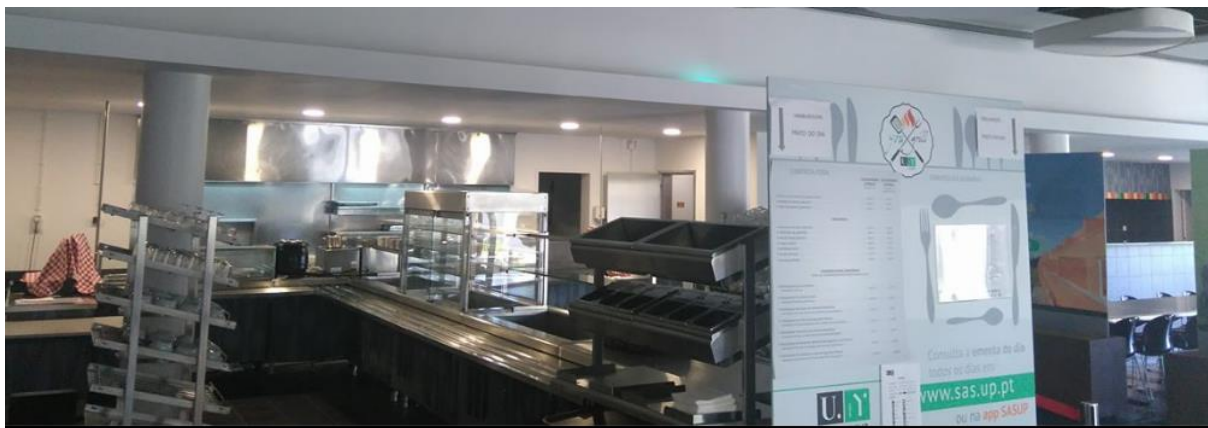


Fig. 5.24 – Ligação entre cozinha e *grill*

5.5 MEDIÇÕES

5.5.1 INTRODUÇÃO

Neste subcapítulo são apresentadas todas as medições efetuadas (pelo Eng. António Eduardo Costa, do Laboratório de Acústica da FEUP). As medições foram feitas com o objetivo de avaliar o conforto acústico dos espaços do refeitório e do *grill*, nomeadamente avaliar o ruído ambiente (RA), os níveis de inteligibilidade (RASTI) e os tempos de reverberação (TR).

Para a realização destas medições foram usados os seguintes equipamentos:

- Medidores RASTI *Brüel & Kjaer*: Transmissor modelo 4225; Recetor modelo 4419 (a) e (b) – (figura 5.25);
- Fonte sonora *Brüel & Kjaer* modelo 4224 (c) – (figura 5.25);
- Sonómetro *Brüel & Kjaer* modelo 2260 (d) – (figura 5.25).

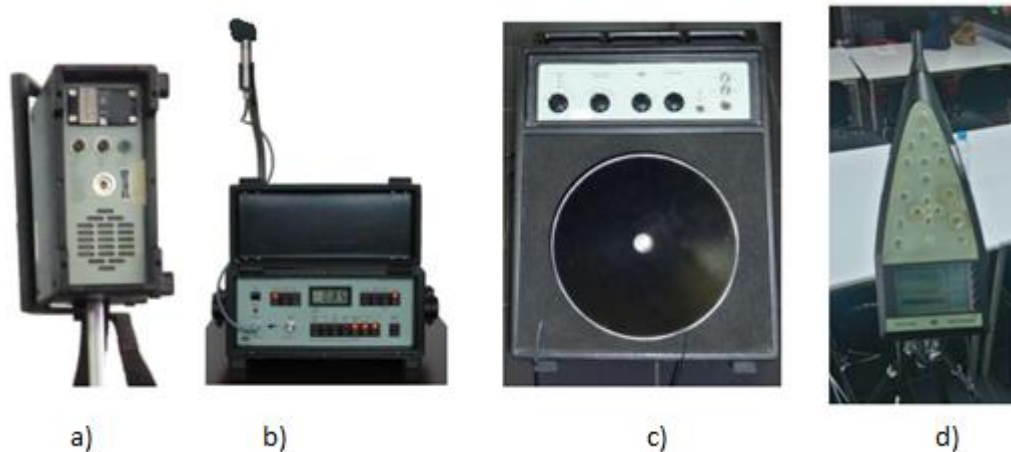


Fig. 5.25 – Equipamentos utilizados para efetuar as medições acústicas

5.5.2 RUÍDO AMBIENTE

No presente caso de estudo foi medido o ruído ambiente para os seguintes casos:

- RA1 – ruído no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço;
- RA2 – ruído no *grill* na sua utilização corrente à hora do almoço;
- RA3 – ruído no *grill* desocupado com AVAC desligados;
- RA4 – ruído no *grill* desocupado com AVAC ligados.

Foram, então, medidos os valores dos níveis de pressão sonora, através do sonómetro *Brüel & Kjaer* 2260 (e de um tripé). Nos quatro casos, tanto no espaço do refeitório como no espaço do *grill*, as medições foram feitas em dois pontos distintos, bem afastados um do outro, de modo a obter maior representatividade dos resultados (figura 5.26).

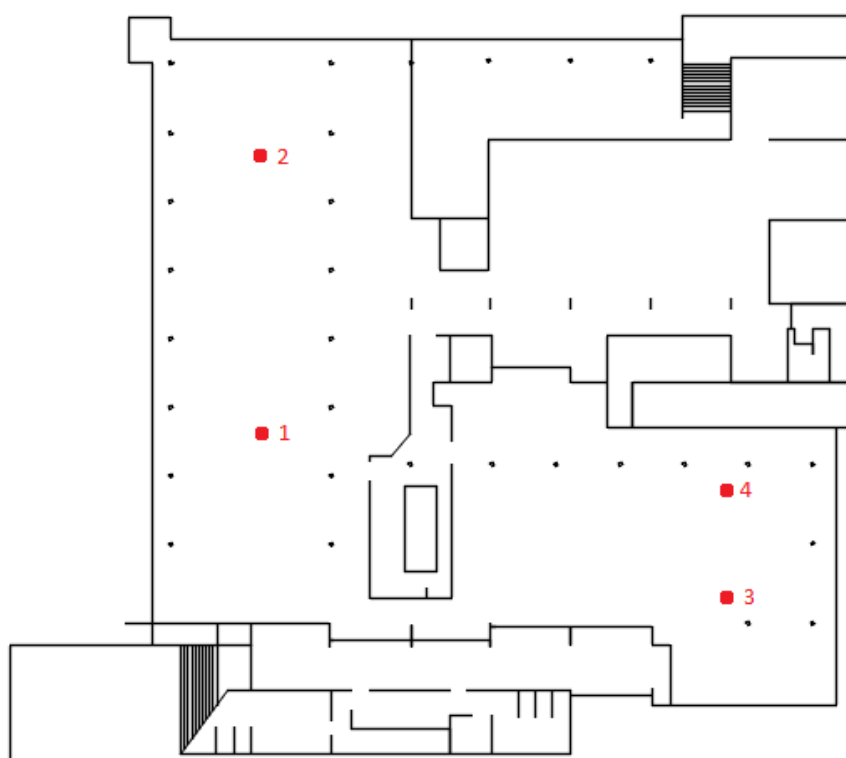


Fig. 5.26 – Localização dos pontos da medição de Ruído Ambiente, efetuada no refeitório e no *grill*

Os valores destas medições apresentam-se nos quadros 5.2 a 5.5, para os intervalos de oitava compreendidos entre os 16 Hz e os 16 kHz.

5.5.2.1 RUÍDO AMBIENTE NO REFEITÓRIO NA SUA UTILIZAÇÃO CORRENTE À HORA DO ALMOÇO (RA1)

Para avaliar os níveis de pressão sonora a que um utilizador está sujeito no refeitório, foram feitas medições nos pontos 1 e 2, assinalados na figura 5.25, para quantificar o ruído à hora do almoço no refeitório da cantina da FEUP. As medições foram realizadas no dia 5 de Dezembro de 2016, entre as 13h30 e as 14h30, sendo que o refeitório estava com uma taxa de ocupação de cerca de 90-95%

(correspondente a cerca de 300 pessoas). Os resultados obtidos são apresentados no quadro 5.2 e a média dos valores registados nestas medições encontra-se representada graficamente na figura 5.27, para uma melhor perceção da distribuição dos NPS.

Quadro 5.2 – Valores das medições efetuadas para o ruído no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço

Frequências	Ponto 1 (dB)	Ponto 2 (dB)	Média (dB)
16	61,9	60,5	61,2
32	63,1	62,0	62,6
63	68,4	66,4	67,4
125	67,6	67,1	67,4
250	73,3	72,8	73,1
500	77,9	77,4	77,7
1k	75,0	74,8	74,9
2k	71,1	70,7	71,2
4k	65,4	65,2	65,3
8k	56,5	56,2	56,4
16k	47,0	46,8	46,9

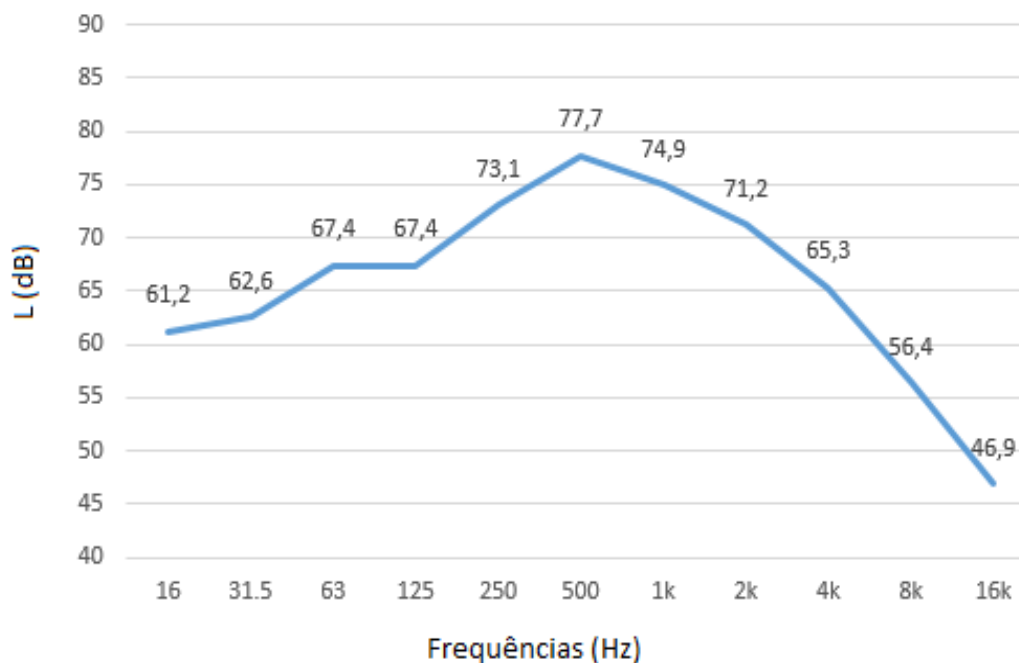


Fig. 5.27 – Curva da média das medições do ruído no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço

5.5.2.2 RUÍDO AMBIENTE NO *GRILL* NA SUA UTILIZAÇÃO CORRENTE À HORA DO ALMOÇO (RA2)

Para avaliar os níveis de pressão sonora a que um utilizador do *grill* está sujeito, foram feitas medições nos pontos 3 e 4, assinalados na figura 5.26, para quantificar o ruído ambiente à hora do almoço. As medições foram realizadas no dia 5 de Dezembro de 2016 entre as 13h30 e as 14h30, sendo que o *grill* estava com uma taxa de ocupação de cerca de 70%. O ideal seria efetuar as medições com uma taxa de ocupação maior. No entanto, ao fazer as medições, foi notório que as principais fontes de ruído não são os utilizadores durante a refeição, mas, sim, os ruídos provenientes da cozinha e do corredor de receção dos tabuleiros (referido no ponto 5.4 do presente estudo). Portanto, esta taxa de ocupação não terá grande influência nos resultados.

Os resultados obtidos são apresentados no quadro 5.3 e a média dos valores registados nestas medições encontra-se representada graficamente na figura 5.28, para uma melhor perceção da distribuição dos NPS.

Quadro 5.3 – Valores das medições efetuadas para o ruído no grill na sua utilização corrente à hora do almoço

Frequências	Ponto 3 (dB)	Ponto 4 (dB)	Média (dB)
16	61,5	60,7	61,1
32	64,1	64,2	64,2
63	67,4	66,1	66,8
125	64,7	65,4	65,1
250	63,5	64,4	64,0
500	66,3	66,4	66,4
1k	63,2	62,1	62,7
2k	60,1	59,4	59,8
4k	56,1	55,8	56,0
8k	50,5	50,3	50,4
16k	41,8	41,6	41,7

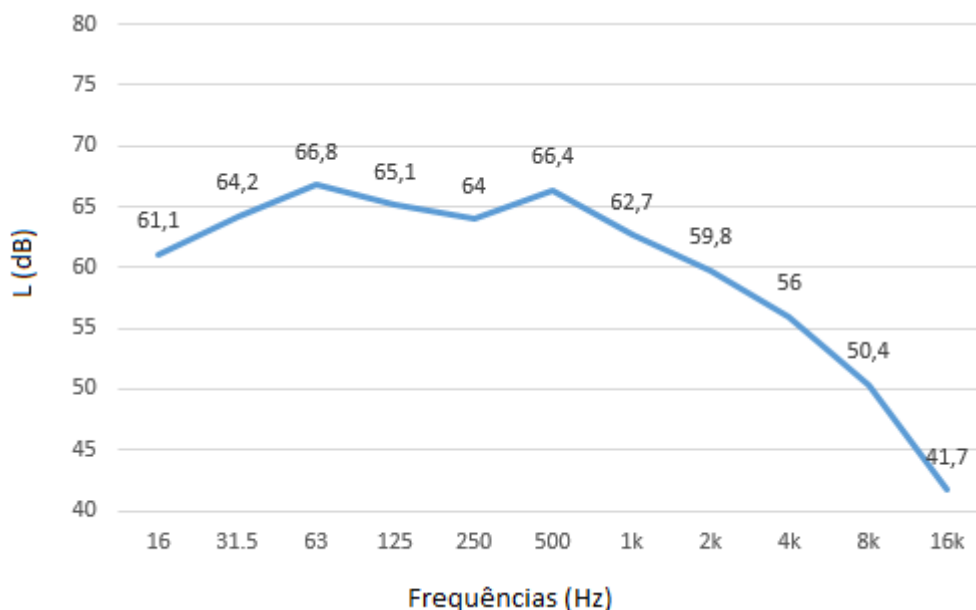


Fig. 5.28 – Curva da média das medições do ruído no grill na sua utilização corrente à hora do almoço

5.5.2.3 RUÍDO AMBIENTE DO GRILL DESOCUPADO COM AVAC DESLIGADOS (RA3)

As medições feitas neste ponto e no seguinte (5.5.2.4) visam essencialmente descobrir a importância que os ruídos de AVAC têm nos níveis de pressão sonora que se fazem sentir no espaço do *grill*. Assim, foram feitas medições nos pontos 3 e 4, assinalados na figura 5.26, primeiramente com AVAC desligados e posteriormente com AVAC ligados, para registar as diferenças sentidas. As medições foram realizadas no dia 5 de Dezembro de 2016 por volta das 15h30, sendo que o *grill* estava desocupado (apenas tinha o mobiliário). Os resultados obtidos são apresentados no quadro 5.4 e a média dos valores registados nestas medições encontra-se representada graficamente na figura 5.29, para uma melhor percepção da distribuição dos NPS.

Quadro 5.4 – Curva da média das medições do ruído no grill na sua utilização corrente à hora do almoço

Frequências	Ponto 3 (dB)	Ponto 4 (dB)	Média (dB)
16	52,5	52,7	52,6
32	57,2	57,2	57,2
63	51,3	52,1	51,7
125	49,2	49,6	49,4
250	40,9	42,7	41,8
500	40,8	41,5	41,2
1k	39,0	40,2	39,6
2k	34,4	35,3	34,9

4k	35,6	36,2	35,9
8k	31,1	32,2	31,7
16k	19,3	20,6	20,0

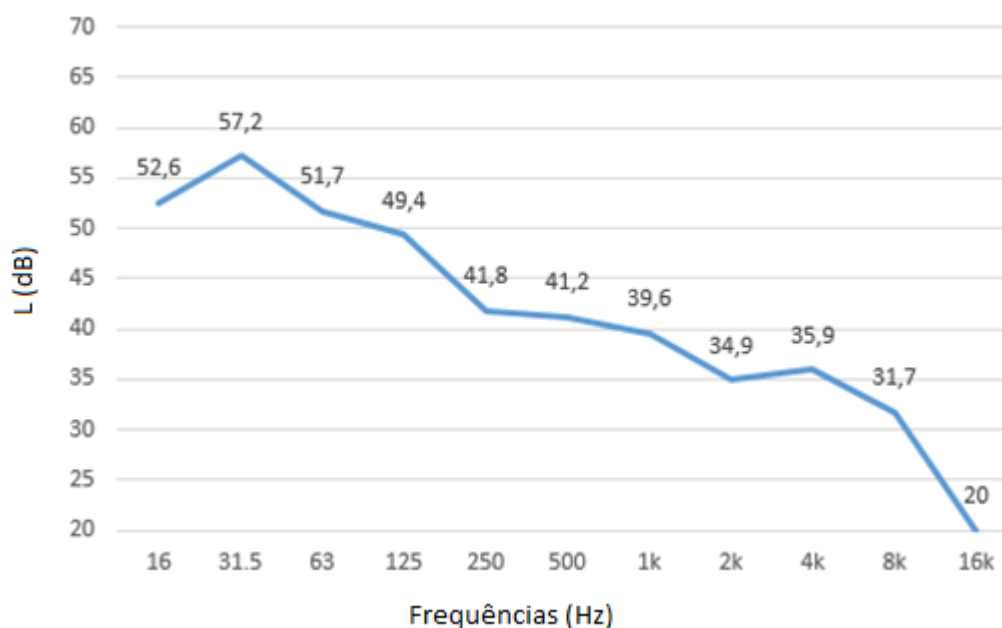


Fig. 5.29 – – Curva da média das medições do ruído no grill desocupado com AVAC desligados

5.5.2.4 RUÍDO AMBIENTE DO GRILL DESOCUPADO COM AVAC LIGADOS (RA4)

Conforme já referido, posteriormente às medições feitas com AVAC desligados, foram feitas medições com AVAC ligados. Estas medições feitas nos pontos 3 e 4, assinalados na figura 5.25, foram realizadas no dia 5 de Dezembro de 2016, por volta das 16h30, sendo que o *grill* estava desocupado (apenas tinha o mobiliário), de forma a avaliar com maior exatidão a real contribuição dos ruídos de AVAC para o ruído de fundo geral do *grill*. Os resultados obtidos são apresentados no quadro 5.5 e a média dos valores registados nestas medições encontra-se representada graficamente na figura 5.30, para uma melhor perceção da distribuição dos NPS.

Quadro 5.5 – Valores das medições efetuadas para o ruído no grill desocupado com AVAC ligados

Frequências	Ponto 3 (dB)	Ponto 4 (dB)	Média (dB)
16	60,0	59,0	59,5
32	61,9	62,6	62,3
63	61,5	63,4	62,5

125	61,3	62,6	62,0
250	50,2	52,6	51,4
500	49,0	50,0	49,5
1k	47,6	49,2	48,4
2k	42,5	45,0	43,8
4k	39,8	42,0	39,9
8k	34,8	36,0	35,4
16k	24,7	25,4	25,1

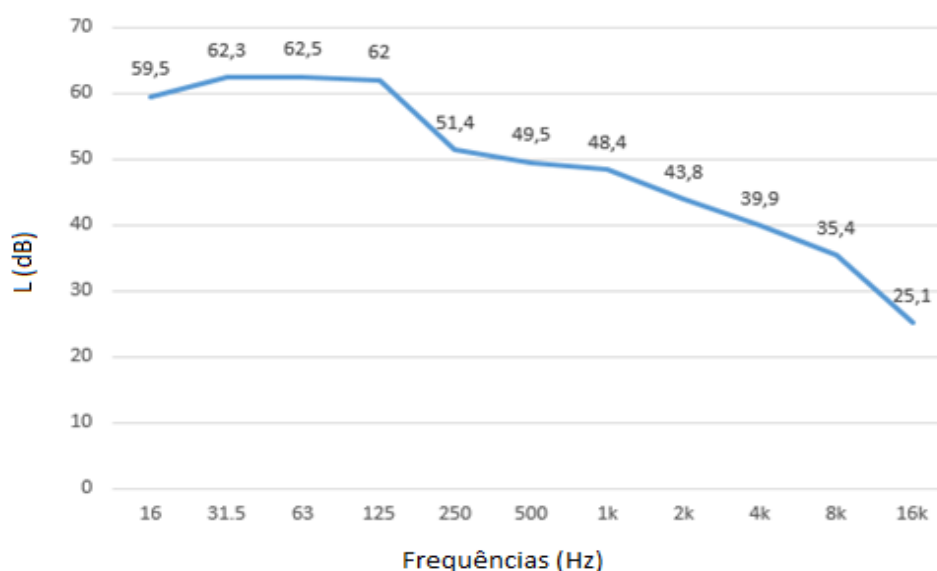
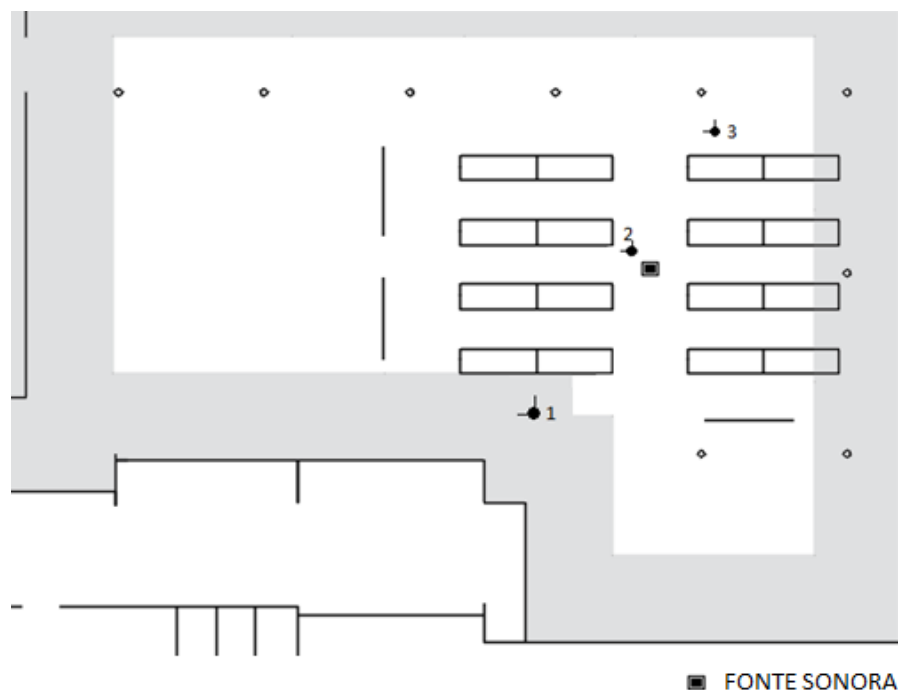


Fig. 5.30 – Curva da média das medições do ruído no grill desocupado com AVAC ligados

5.5.3 TEMPO DE REVERBERAÇÃO DO GRILL

O tempo de reverberação do *grill* foi medido com recurso à fonte sonora *Brüel & Kjaer 4224*, associada ao sonómetro *Brüel & Kjaer 2260*. Foram, então, feitas duas medições em cada um dos três pontos indicados anteriormente, diferindo em aproximadamente 90° uma da outra. Estas medições foram feitas por volta das 17h do dia 5 de Dezembro de 2016, com o *grill* desocupado, deixando-se apenas o mobiliário do espaço.

A fonte sonora foi ligada ao sonómetro que fez o registo automático destas medições. O sonómetro solicita à fonte que emita um ruído de uma determinada intensidade e calcula a curva de decaimento da pressão sonora quando a fonte termina a sua emissão. Na figura 5.31 é possível ver a posição e orientação (assinalada com pequenos traços) do sonómetro nas medições, bem como da fonte sonora.

Fig. 5.31 – Localização dos pontos de medição do TR, no espaço do *grill*

No quadro 5.6 são apresentados os valores medidos pelo sonómetro em banda de oitava, para o T30, sendo cada um destes valores a média obtida entre os valores das duas orientações descritas na figura 5.25. De acordo com o regulamento, apenas as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz são consideradas, sendo que para o cálculo do TR do *grill* a comparar com o regulamentar, apenas entrarão em equação estas frequências.

Quadro 5.6 – Valores das medições de TR efetuadas no *grill*

Frequência (Hz)	TR (s)			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
125	0,89	1,15	1,06	1,03
250	1,07	1,19	0,96	1,07
500	1,04	0,97	1,06	1,02
1k	1,15	1,02	1,20	1,12
2k	1,08	1,05	1,12	1,08
4k	0,99	0,95	1,05	1,00

A figura 5.32 apresenta o gráfico relativo aos valores do quadro 5.6 para o TR medido no *grill*. Também neste gráfico é apresentado o limite indicado no RRAE para os valores do TR em espaços desta tipologia e volumetria, de 1,56 s. Ao contrário do que aconteceu nos testes de TR feitos ao refeitório em 2012 [2], neste caso, facilmente se constata que os níveis de TR medidos ficam bastante abaixo do limite de TR regulamentar, o que é um excelente indicador de um bom ambiente acústico.

Assim, tendo em conta os dados recolhidos para as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz pode-se calcular o TR médio do *grill* em 1,07 s (também representado na figura 5.32).

Considerando um volume de 548 m^3 para o espaço do *grill* (40% do volume do espaço do refeitório), tem-se que o seu TR máximo regulamentar seria de cerca de 1,23 s.

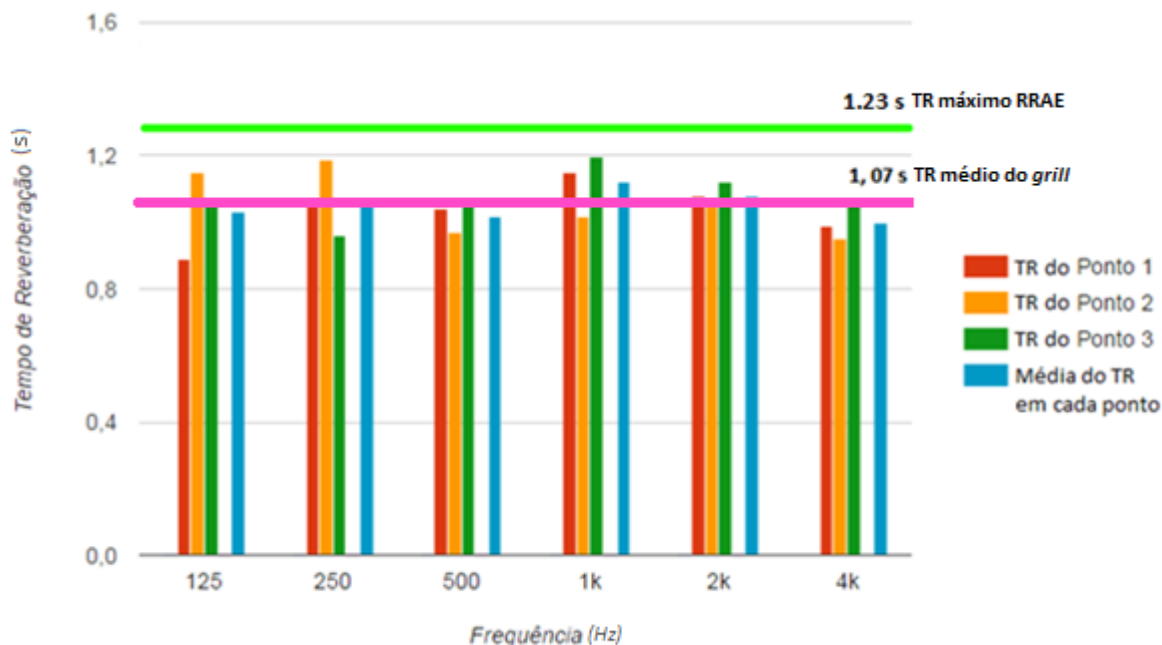


Fig. 5.32 – Resultados das medições do TR no *grill*

5.5.4 RASTI NO GRILL

Para avaliar a inteligibilidade da palavra, foi feita a medição do parâmetro RASTI. Para isso, foram usados aparelhos de medição da *Brüel & Kjaer*, nomeadamente o transmissor modelo 4225 e o recetor modelo 4419. O transmissor foi colocado num ponto fixo e efetuaram-se medições em seis pontos distintos, assinalados na figura 5.33.

Nos seis pontos de medição, as captações foram feitas à altura a que um utilizador estaria se estivesse à mesa numa refeição, para avaliar as condições de inteligibilidade durante uma refeição de forma mais fidedigna.

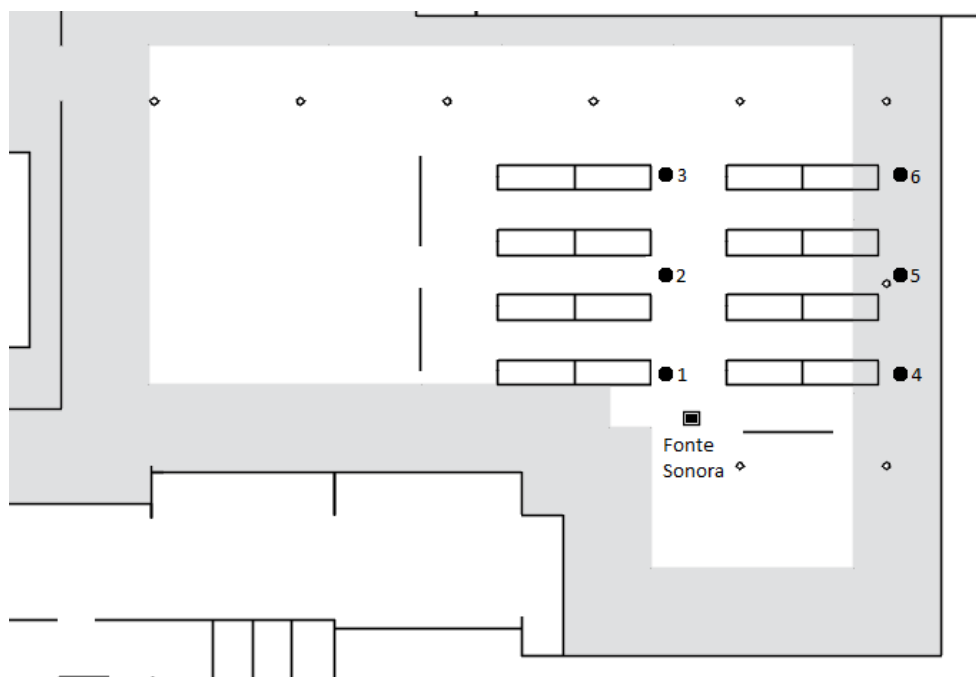


Fig. 5.33 – Localização da fonte sonora e dos pontos de medição do RASTI, no espaço do *grill*

O quadro 5.7 apresenta os valores medidos pelos aparelhos *Brüel & Kjaer* acima referidos, com o emissor programado em “+10 dB” e o recetor a executar medições a cada 8 s, em modo contínuo. Os valores foram registados no dia 5 de Dezembro de 2016, por volta das 16h, com o *grill* totalmente desocupado (apenas com o mobiliário), de forma a obter um ambiente silencioso.

Quadro 5.7 – Valores das medições de RASTI efetuadas no *grill*

Posição	RASTI				Distância aproximada à fonte (m)
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média	
1	0,81	0,80	0,81	0,81	2,5
2	0,71	0,70	0,69	0,70	5,0
3	0,61	0,59	0,58	0,59	7,5
4	0,65	0,67	0,66	0,66	5,5
5	0,59	0,60	0,60	0,60	7,0
6	0,53	0,54	0,53	0,53	9,5

A figura 5.34 representa o gráfico dos valores de RASTI, presentes no quadro 5.6, bem como a sua média para cada um dos pontos.

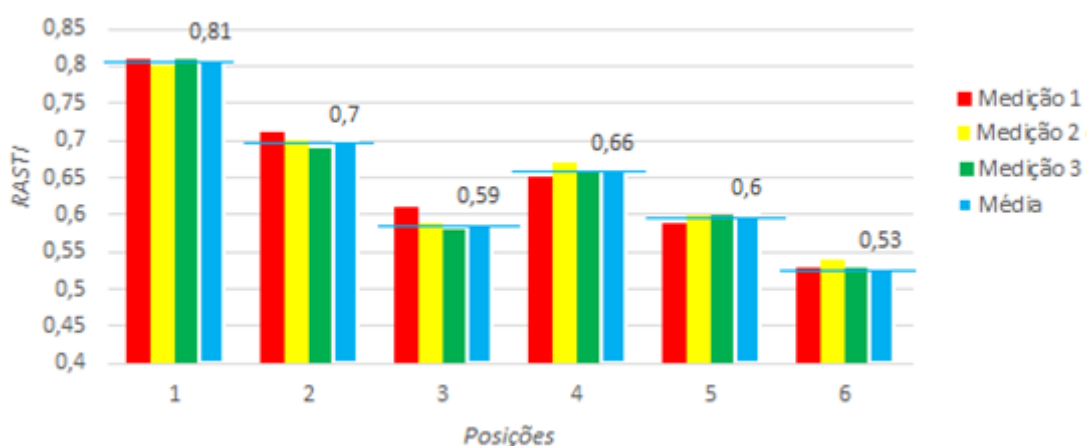


Fig. 5.34 – Valores RASTI medidos em cada ponto e respetiva média, do grill

5.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, os valores medidos em 5.5, irão ser comparados com os valores regulamentares enunciados no ponto 5.3 e com valores do estudo feito em 2012 [2], com o objetivo de comentar o ambiente acústico da cantina da FEUP após a remodelação.

Devido ao facto de não existir uma normativa regulamentar em vigor para todos os parâmetros avaliados, para alguns deles serão feitos comentários de modo a justificar os valores apresentados e analisar a sua interferência no conforto acústico do espaço. No caso do ruído de fundo, os ambientes sonoros sentidos no refeitório e no grill serão classificados segundo as curvas NC e NR, sendo também analisadas as causas dos valores obtidos.

5.6.2 RUÍDO NO REFEITÓRIO

Foi feita uma comparação dos valores da medição atual com os valores da medição obtida em 2012, que se pode observar no gráfico da figura 5.35. Pode constatar-se que os valores são muito semelhantes, o que leva a crer que as alterações feitas na zona do grill não influenciaram o ruído de fundo particular, sentido na zona do refeitório. As alterações nas curvas de NPS são pouco significativas e podem ser explicadas por meros fenómenos pontuais. Os valores descritos deveriam sofrer uma redução, com vista a aumentar os níveis de conforto acústico do espaço, que, de momento, são manifestamente insuficientes.

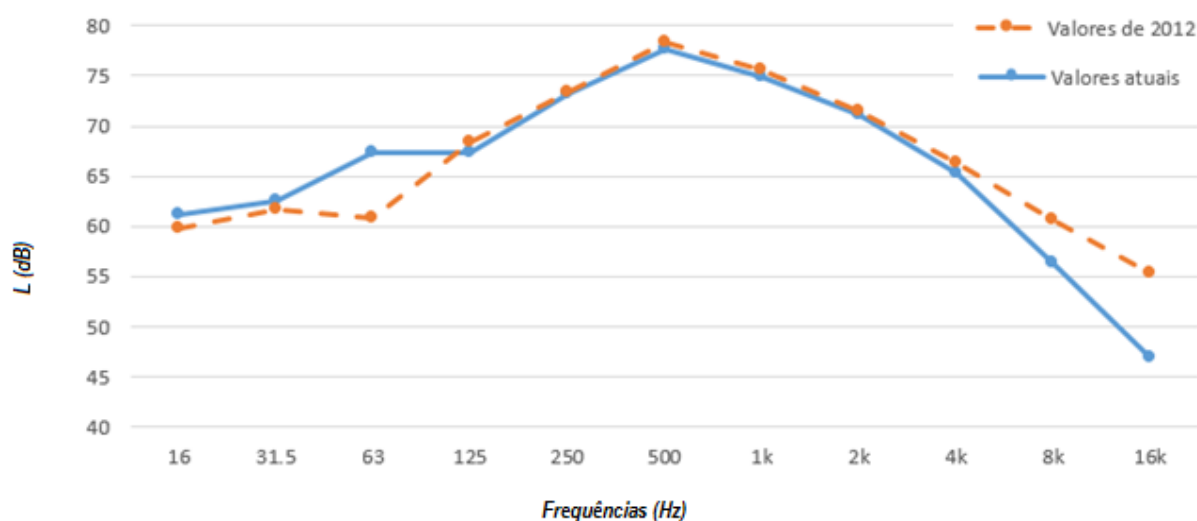


Fig. 5.35 – Comparação de valores médios das medições do ruído no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço atuais e em 2012

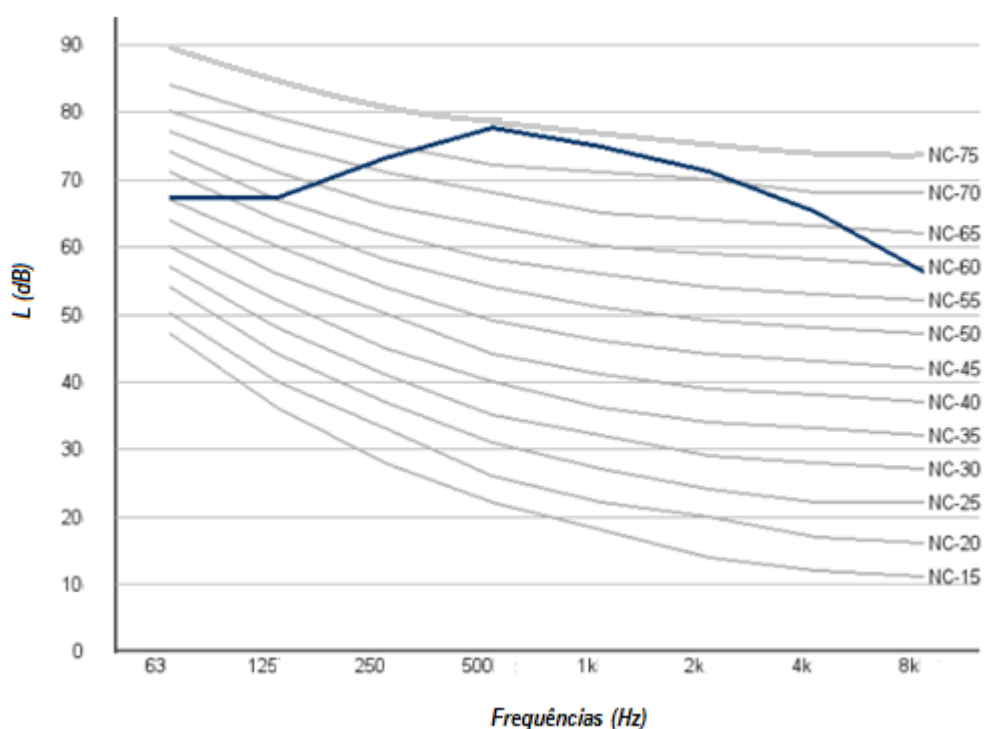


Fig. 5.36 – Comparação dos valores do ruído registados no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço com as curvas NC

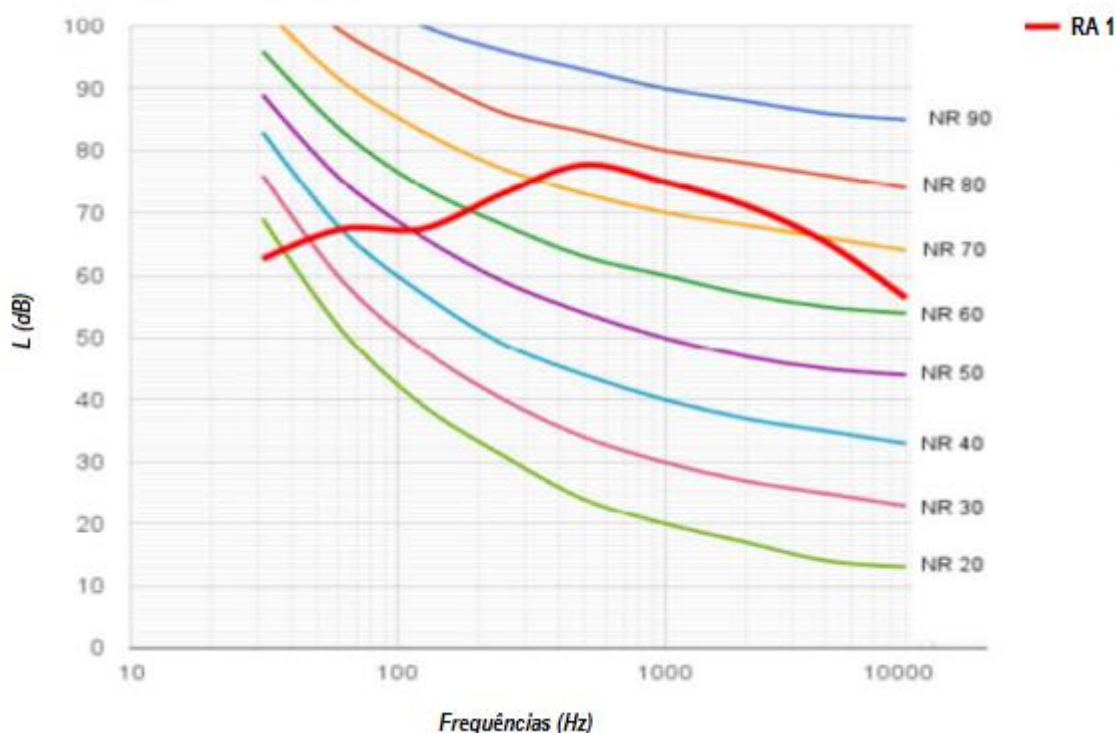


Fig. 5.37 – Comparação dos valores do ruído registados no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço com as curvas NR

As figuras 5.36 e 5.37 apresentam os gráficos NC e NR, respetivamente, das medições efetuadas para o caso RA1.

Os resultados das curvas traduzem-se num NC=75 e NR=75. O ruído ambiente sentido no refeitório regista 79 dB(A). Este valor insere o refeitório da cantina da FEUP na 3ª classe da classificação de Lebo, considerando que apresenta “alto nível de ruído ambiente”, “conversa difícil para os clientes com audição normal e impossível para pessoas com perdas auditivas”.

5.6.3 RUÍDO NO GRILL

O L_{Global} registado tem em conta as medições nos dois pontos do *grill*, na sua utilização corrente (RA2), em toda a banda de frequências analisada, situa-se nos 59,8 dB. No refeitório, o L_{Global} situa-se nos 66,8 dB. Uma diferença de quase 10 dB, bastante notória no ambiente acústico sentido nos dois espaços. O facto de a zona do *grill* estar provida de soluções de conforto acústico, deverá ter a sua influência na diferença de registos, neste e nos outros parâmetros.

Na figura 5.38 pode observar-se uma comparação dos valores NPS medidos no *grill* e medidos no refeitório. Conclui-se que, de facto, os valores sentidos no *grill* são bastante mais reduzidos que os do refeitório, em toda a largura da banda de frequências analisada. A diferença é mais notória para as frequências mais elevadas.

Podem observar-se ainda, nas figuras 5.39 e 5.40, os gráficos NC e NR, respetivamente, das medições efetuadas para o caso RA2.

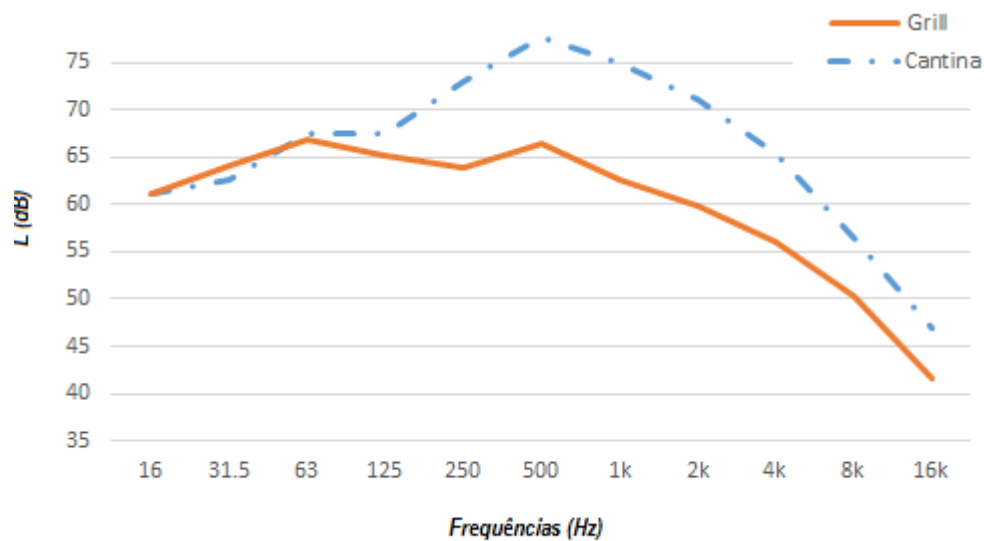


Fig. 5.38 – Comparação dos valores do ruído registados no grill na sua utilização corrente à hora do almoço com os valores registados no refeitório na sua utilização corrente à hora do almoço

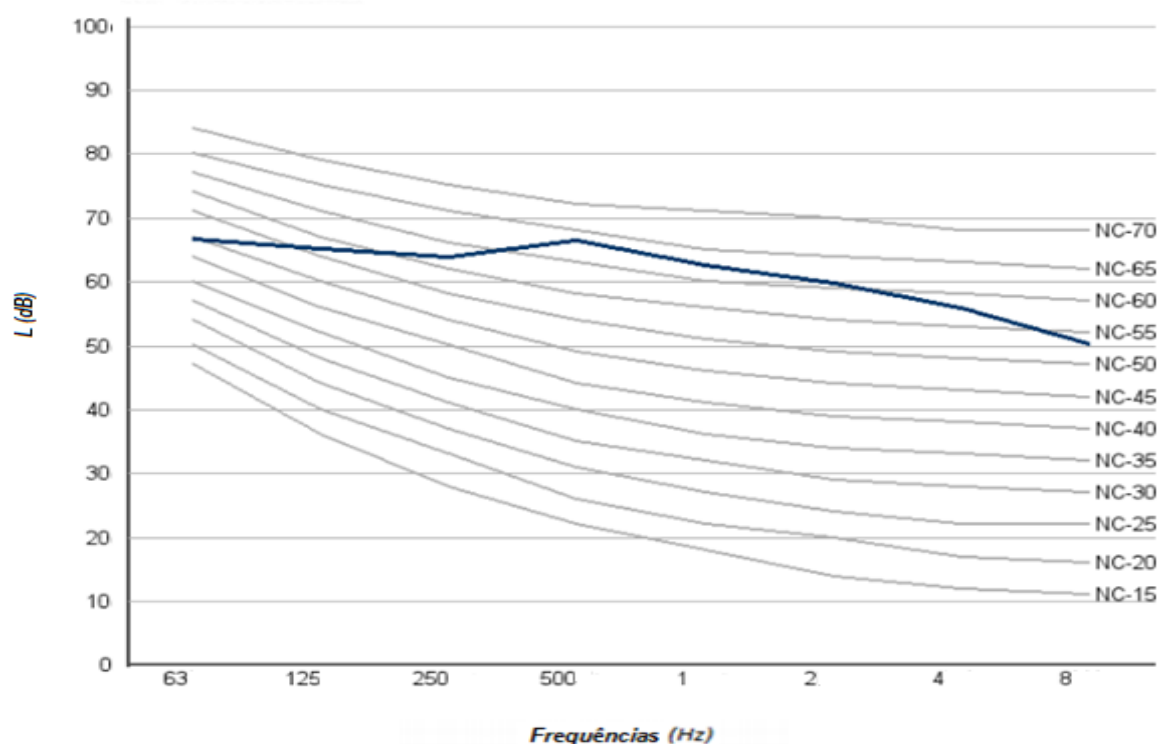


Fig. 5.39 – Comparação dos valores do ruído registados no grill na sua utilização corrente à hora do almoço com as curvas NC

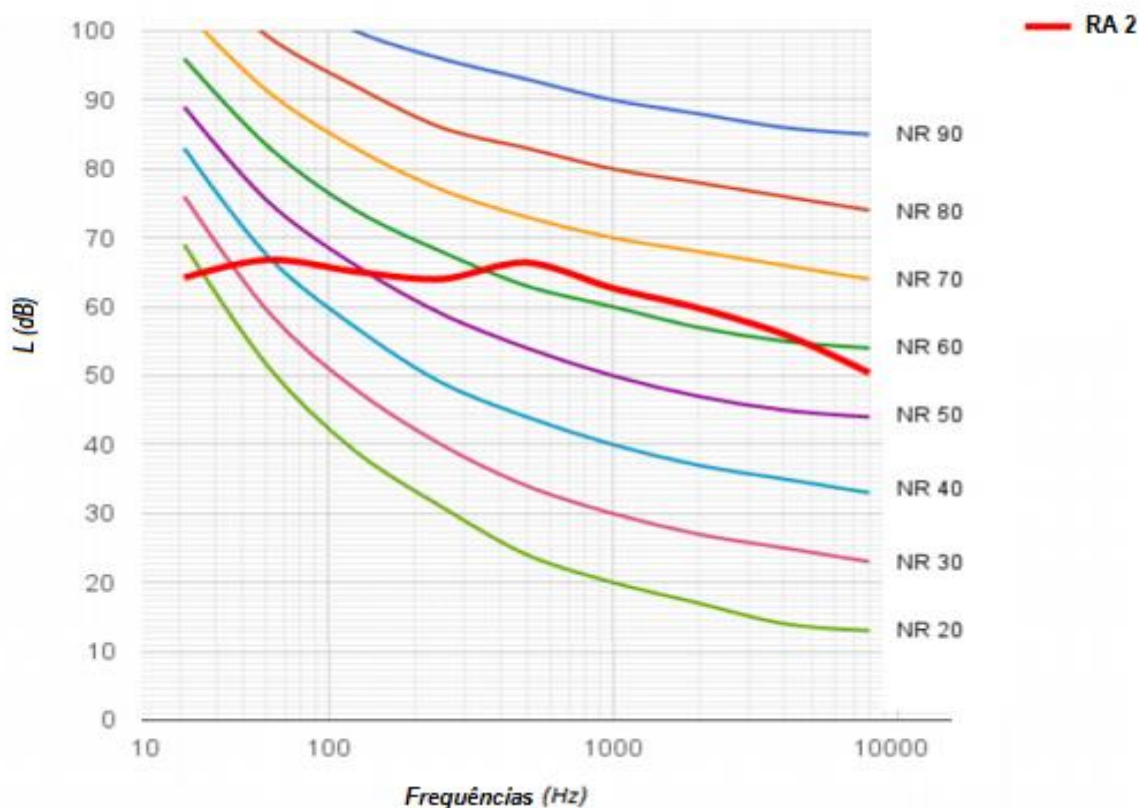


Fig. 5.40 – Comparação dos valores do ruído registados no grill na sua utilização corrente à hora do almoço com as curvas NR

Os resultados das curvas traduzem-se num NC=63 e NR=63 (aos 500 Hz). O ruído ambiente sentido no refeitório regista 68 dB(A). Este valor insere o ambiente corrente do *grill* na 2ª classe de classificação de *Lebo*, considerando apresentar “alta variabilidade na inteligibilidade de fala para indivíduos normais e com deficiência auditiva”.

Além disso, foi estudada a influência dos ruídos provenientes dos sistemas AVAC para o ruído de fundo geral que se faz sentir no *grill*. Na figura 5.41 encontram-se representadas os valores dos NPS registados, para os casos RA4 e o RA3, ou seja, para o ambiente sonoro do *grill* com AVAC ligados e desligados, respetivamente. Na figura 5.42 pode ainda observar-se a diferença de NPS para estes dois casos em cada uma das frequências da banda analisada, que pode ser traduzido através da expressão:

$$\Delta L = L_{AVAC \text{ ligados}} - L_{AVAC \text{ desligados}} \quad (5.2)$$

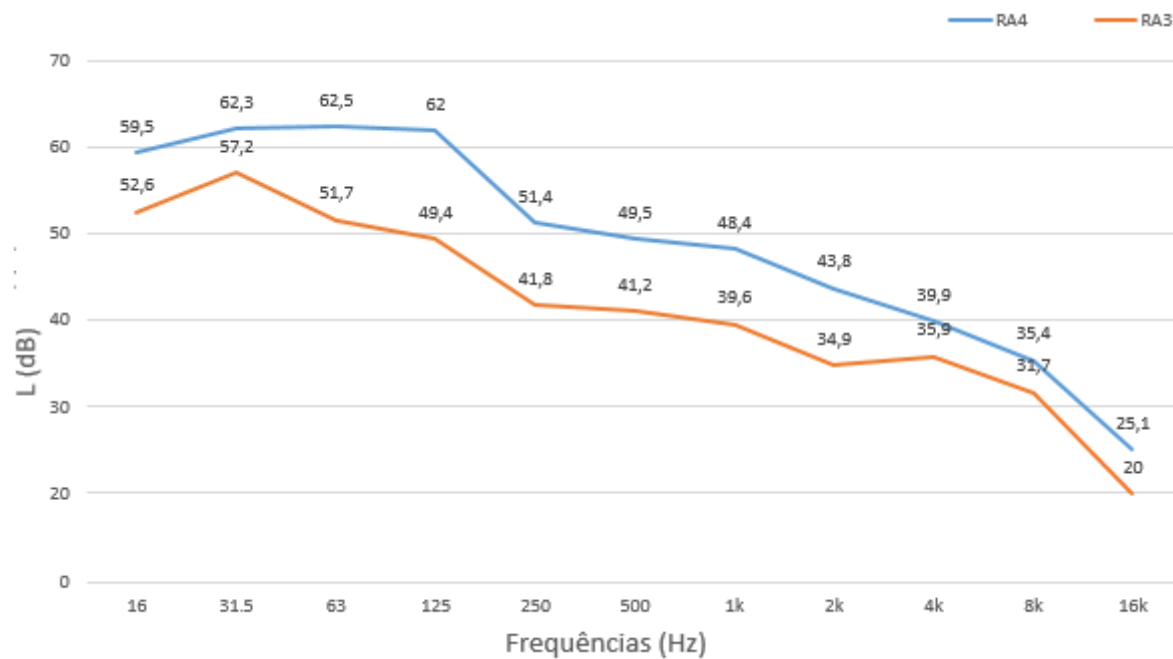


Fig. 5.41 – Comparação dos níveis de pressão sonora registados no grill com AVAC ligados e com AVAC desligados

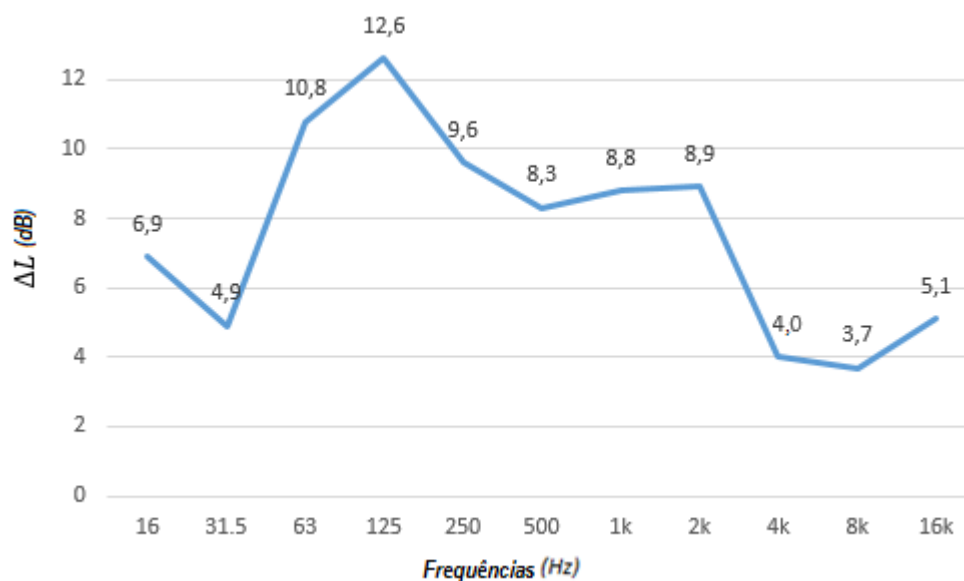


Fig. 5.42 – Diferenças de Níveis de Pressão Sonora registados no grill com AVAC ligados e com AVAC desligados

Naturalmente, os níveis médios são mais elevados no caso de os AVAC estarem ligados; havendo + 7.6 dB de média em RA4 para a banda analisada, o que é bastante significativo. As maiores diferenças situam-se nas frequências dos 63 e dos 125 Hz; devem-se ao facto de os AVAC produzirem sons graves.

5.6.4 TEMPO DE REVERBERAÇÃO DO GRILL

Através da figura 5.43 pode-se constatar uma grande variação entre os valores dos tempos de reverberação das três medições, sobretudo nas frequências mais baixas.

A variação entre as medições pode dever-se ao facto de estas terem sido feitas em diferentes posições do *grill*; com diferentes distâncias à fonte sonora (2 está muito próximo, mas 1 e 3 estão situados a cerca de 3 m).

Como referido anteriormente, a média foi feita recorrendo aos valores medidos nos três pontos, para as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz. Este valor foi comparado com o TR indicado no RRAE pela expressão 5.1.

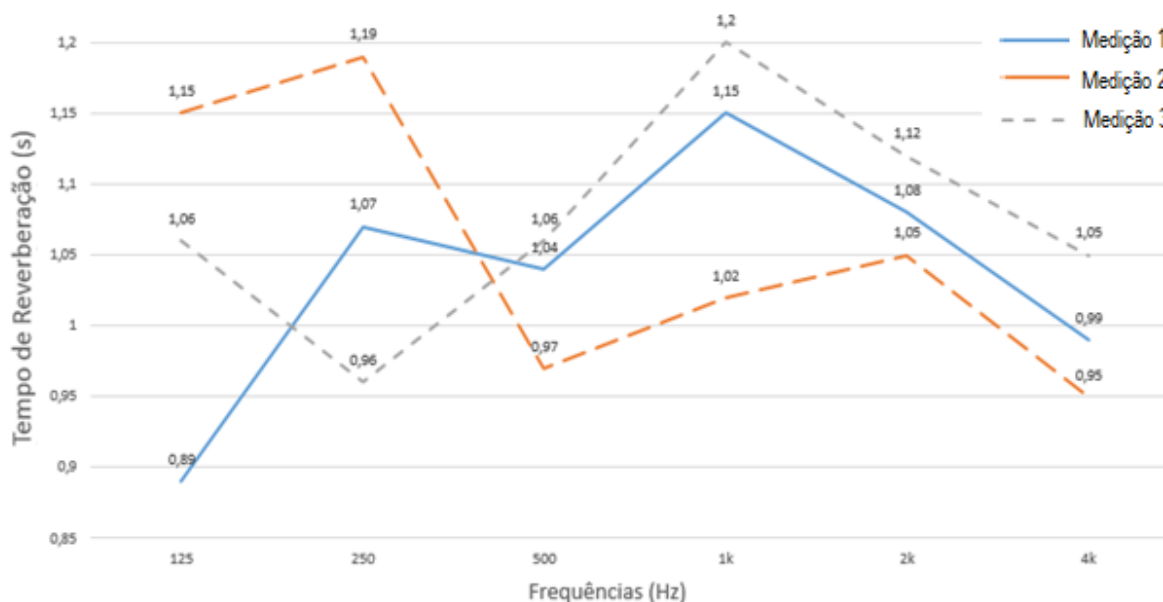


Fig. 5.43 – Curvas das medições do TR para os três pontos diferentes do grill

5.6.5 RASTI NO GRILL

O índice de transmissão da palavra foi avaliado com base na medição do RASTI com os aparelhos da *Brüel & Kjaer* para os seis pontos descritos na figura 5.31. Foi então calculada a média e constatou-se, como seria de esperar, que os valores decresceram com o aumento da distância à fonte. O gráfico da figura 5.44, em que as posições estão ordenadas pela crescente distância à fonte, evidencia esse facto. Pode observar-se a curva da média a apresentar uma redução aproximadamente proporcional ao aumento da distância.

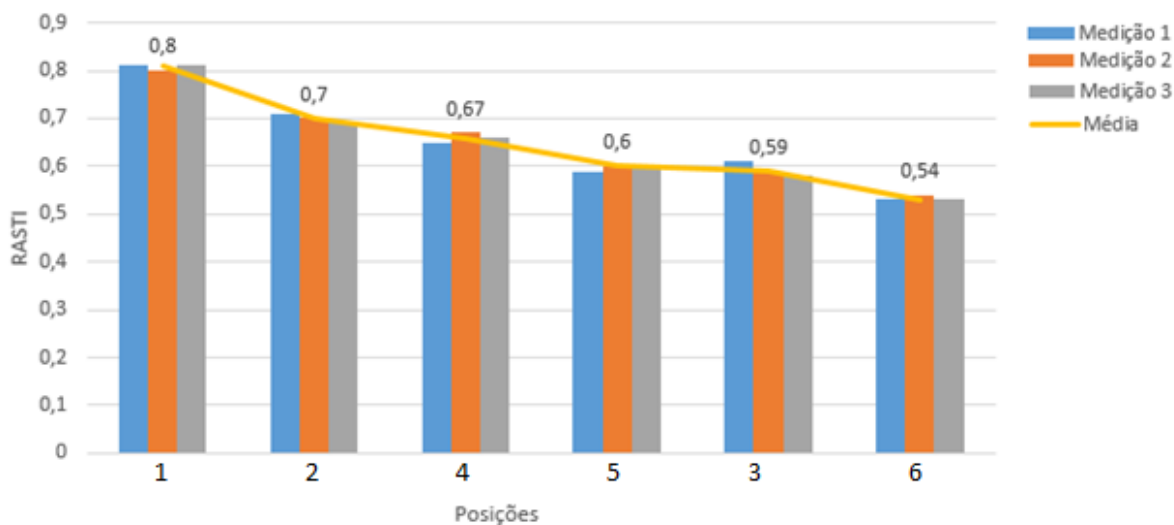


Fig. 5.44 – Valores das medições do RASTI do grill, com as posições distribuídas por ordem crescente de distância à fonte sonora

Na figura 5.45, está ainda representada uma distribuição dos valores do RASTI com a distância à fonte sonora. Como se pode ver, a curva decresce de forma proporcional ao aumento da distância.

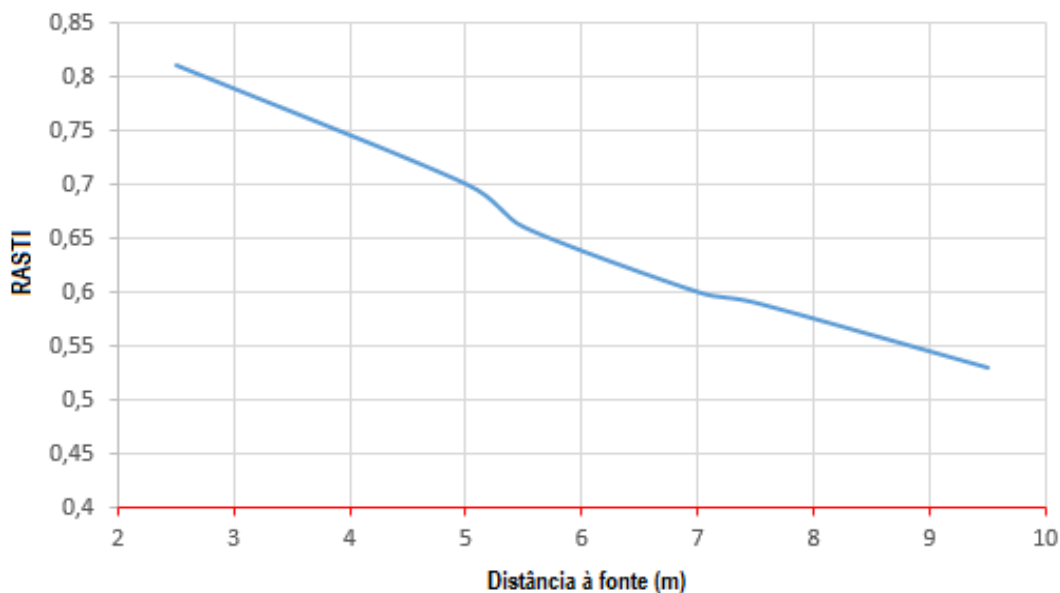


Fig. 5.45 – Valores das medições do RASTI em função da distância do recetor RASTI à fonte no espaço do grill

Outro aspeto importante reside no facto de as posições 1, 2 e 3 estarem situadas num ângulo muito mais frontal, em relação à fonte sonora, que as posições 4, 5 e 6. Esta diferença angular pode ser a justificação

para o facto de se registarem valores de inteligibilidade menores para as medições menos frontais, tal como sugere a expressão 5.1, que submete para a importância da diretividade (Q) da fonte.

O RASTI poderia ser maior em todos os pontos do *grill* e não se sofreria uma perda de inteligibilidade com a distância tão elevada, caso o TR do espaço fosse menor.

Para o presente caso de estudo interessam essencialmente os valores das medições mais próximas da fonte, de modo a refletir o nível de inteligibilidade de uma conversa durante uma refeição, “à mesa”. Por outro lado interessa também que essa inteligibilidade seja controlada – de modo a haver privacidade entre nas conversas.

Considerou-se um nível médio de inteligibilidade de 0,7, para uma distância de 5 m da fonte sonora para efeitos de avaliação. Este valor, quando comparado, então, com os valores sugeridos por *Nahid e Hodgson* [69], presentes no quadro 5.8, permite classificar o espaço do *grill* como um espaço com inteligibilidade “excelente” e privacidade “muito fraca” para distâncias inferiores a 5 m.

Naturalmente que, para maiores distâncias, os níveis de inteligibilidade diminuem e os de privacidade aumentam; no entanto, e tendo em conta que a distância entre mesas entre diferentes utilizadores (não relacionados) é muitas vezes bastante inferior aos referidos 5 m, seria benéfico reduzir os valores de RASTI no presente caso de estudo. Para atingir um nível de privacidade “bom” entre mesas, estas teriam de estar afastadas a uma distância mínima superior a 10 m (ver gráfico da figura 5.43), um valor impossível de pôr em prática.

Quadro 5.8 – Quadro de classificação de espaços segundo parâmetro RASTI [69]

RASTI	Inteligibilidade	Privacidade
< 0,30	Muito fraca	Excelente
[0,30 ; 0,45[	Fraca	Boa
[0,45 - 0,60[	Suficiente	Suficiente
[0,60 - 0,75]	Boa	Fraca
> 0,75	Excelente	Muito fraca

6

POSSÍVEIS INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA NA CANTINA DA FEUP

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma análise global dos parâmetros que mais negativamente contribuem para o *ambiente acústico* na cantina da FEUP e as suas causas. São apresentadas soluções que possam melhorar/ corrigir essas causas, tendo-se em conta a sua viabilidade técnica, arquitetónica e financeira.

As soluções propostas serão sempre feitas no sentido de melhorar o conforto acústico desta unidade alimentar, nomeadamente, elevando os níveis de inteligibilidade e privacidade da palavra e reduzindo o ruído de fundo global.

As propostas incidirão sobretudo na zona do refeitório, que é a zona mais problemática, com maiores défices de inteligibilidade da palavra e ruído de fundo bastante elevado. Na zona do *grill*, os níveis de conforto acústico são bastante mais favoráveis e, para isso, muito contribui o processo de reabilitação do teto deste espaço e respetiva instalação do tratamento acústico.

No estudo elaborado em 2012 [2], também foram propostas soluções de melhoramento para o refeitório, mas este espaço não sofreu qualquer alteração, sendo que os problemas detetados na altura, naturalmente, voltaram a ser detetados, pois ainda se mantêm.

No capítulo anterior, a análise feita aos valores registados nas medições acústicas subentendeu a existência de problemas no edifício da cantina, que serão agora analisados neste capítulo. A origem destes problemas tanto é de origem arquitetónica como de gestão do espaço e de recursos, conforme se pode ver mais adiante.

6.2 PRINCIPAIS CAUSAS DOS DÉFICES DE CONFORTO ACÚSTICO ANALISADOS

6.2.1 NO REFEITÓRIO

Conforme referido anteriormente, a zona do refeitório é a zona com maior défice de conforto acústico da cantina da FEUP. Problemas de conceção arquitetónica, a que se juntam excessivos índices de densidade de utilizadores, entre outros fatores, resultam num ambiente bastante desfavorável a refeições pacíficas e sossegadas.

Quanto à gestão do espaço e recursos, o principal fator a contribuir negativamente para o ambiente acústico que se faz sentir é a elevada densidade de utilizadores (utilizador/ m²).

Do ponto de vista arquitetónico, detetaram-se os seguintes erros de conceção acústica: a relação entre a geometria, a volumetria e os materiais utilizados no interior da cantina é bastante desfavorável à obtenção de conforto acústico; a inexistência de separações físicas quer entre o refeitório e a cozinha, quer entre o refeitório o ponto de recolha dos tabuleiros, favorecendo a circulação de ruído entre os espaços.

6.2.1.1 ELEVADA DENSIDADE DE UTILIZADORES

O refeitório da cantina é a zona com densidade de utilizadores mais elevada. A densidade média é de 0,57 utilizadores/ m², mas, em situações mais críticas, pode atingir os 0,8 utilizadores/ m².

Estes índices ultrapassam bastante os valores recomendados para espaços do mesmo género, o que, como já tem vindo a ser referido, gera problemas associados à elevação do ruído de fundo através do efeito *Lombard*, afetando a inteligibilidade da palavra.

Na origem deste problema está um número bastante elevado de utilizadores a procurar os serviços desta unidade alimentar, talvez mais utilizadores do que esta unidade estaria preparada para suportar diariamente, de forma adequada.

O problema do excesso de utilizadores manifesta-se, muitas vezes, em excessivas filas de espera, que, naturalmente, provocam um aumento de ruído ainda maior.

6.2.1.2 RELAÇÃO ENTRE A GEOMETRIA, VOLUMETRIA E MATERIAIS UTILIZADOS

A elevada volumetria do refeitório, por si só, leva a problemas de reverberação difíceis de moderar. Quando comparada com a sua geometria retangular e com os materiais utilizados, contribui negativamente para o ambiente acústico sentido no seu interior.

Espaços com esta volumetria são, tendencialmente, muito reverberantes e, por isso, estes deveriam ser providos de técnicas e materiais absorventes que ajudassem a minimizar a reverberação do espaço.

No presente caso de estudo, o facto de as paredes serem constituídas maioritariamente por envidraçado, altamente refletor, contribui muito para o aumento reverberação espacial. Nas restantes, o reboco utilizado também não apresenta um coeficiente de absorção significativo.

As soluções mais comuns de intervenção acústica nestes casos passam por tratamento dos tetos dos edifícios, pois têm áreas elevadas e não requerem a manutenção que requerem os pisos; nos pisos a intervenção não é fácil, pois é difícil encontrar um material que consiga conjugar boas características acústicas, com facilidade de manutenção e preço.

6.2.1.3 INEXISTÊNCIA DE SEPARAÇÃO FÍSICA ENTRE COZINHA E REFEITÓRIO

A cozinha, naturalmente, é o local mais ruidoso da cantina. Tanto os processos de confeção dos alimentos, como a lavagem dos utensílios de cozinha como os ruídos provenientes do sistema AVAC provocam bastante ruído.

A inexistência de elementos divisórios entre o refeitório e a cozinha permite livre passagem dos ruídos emitidos na cozinha para a zona do refeitório, afetando bastante a inteligibilidade nesta zona.

6.2.1.4 INEXISTÊNCIA DE SEPARAÇÃO FÍSICA ENTRE COZINHA E PONTO DE RECOLHA DE TABULEIROS

Da mesma forma que os ruídos da cozinha passam para o refeitório, também os ruídos emitidos no ponto de recolha de tabuleiros (o choque de talheres e pratos provoca sons agudos de elevada intensidade) o fazem. Como já tinha sido referido no capítulo anterior, também entre o corredor em que é feita a recolha de tabuleiros não há qualquer barreira física que possa impedir a passagem dos ruídos.

6.2.2 NO GRILL

A introdução do tratamento acústico no teto deste espaço resolveu os problemas de conforto acústico dos quais este anteriormente padecia. Os painéis do teto revelaram-se bastante eficazes, permitindo aumentar os níveis de absorção sonora deste espaço. Atualmente, o ambiente sentido na zona do *grill* é um ambiente calmo e tranquilo, contrastando com o refeitório.

Apesar de, tal como o refeitório, o *grill* estar desprovido de barreiras físicas entre cozinha e ponto de recolha dos tabuleiros, a maior absorção sonora deste espaço permite controlar estes ruídos, conseguindo um ambiente confortável.

Conforme foi analisado no ponto 5.5.4, a zona do *grill* depara-se agora com problemas de privacidade da palavra, considerada “muito fraca” para distâncias inferiores a 5 m. A base deste problema está sobretudo na elevada densidade de utilizadores na zona das mesas de refeição.

Conforme pode ser visto na planta presente na figura 6.1, isto acontece, pois a zona limitada pelo retângulo, e que contém as mesas, é a zona que concentra mais utilizadores deste espaço (cerca de 90%); a zona 2, onde se recolhe a comida também pode aglomerar alguns utilizadores, mas de forma mais momentânea; e a zona 3, contém duas mesas circulares, não tão indicadas para a hora da refeição e, por isso, menos frequentadas. Ou seja, conforme se verifica na planta, há uma grande concentração de utilizadores numa área muito reduzida.

Assim, uma simples reorganização espacial, que permitisse manter as mesas mais afastadas umas das outras, poderia contribuir para reduzir os problemas de privacidade da palavra.

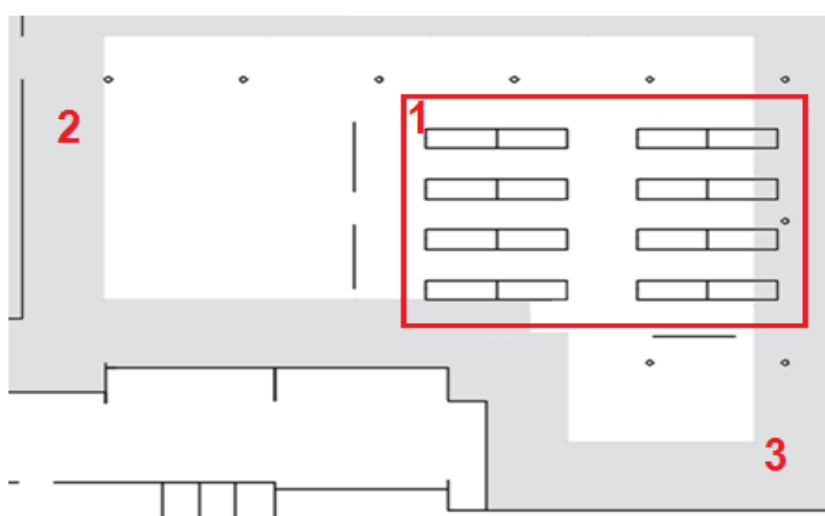


Fig. 6.1 – Planta da zona do *grill*

6.3 PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO ACÚSTICA

6.3.1 INTRODUÇÃO

Neste subcapítulo serão descritas as propostas e apresentados os respetivos pormenores construtivos, tendo em vista um reforço do conforto acústico da cantina da FEUP.

As propostas apresentadas consistem em melhorar os índices negativos e mais pejorativos ao conforto acústico, analisados no capítulo anterior. A viabilidade prática, arquitetónica e económica, também será considerada nas propostas apresentadas.

Como foi referido anteriormente, uma intervenção no piso do edifício através da implementação de materiais absorventes, obrigaria a uma difícil manutenção, pelo que esta hipótese será descartada. A aplicação de alcatifa ou aglomerado de cortiça podia ser hipótese mas a limpeza diária seria bastante árdua. Por outro lado, a aplicação de um linóleo, não teria tantos problemas na manutenção, mas a relação entre as suas características acústicas e os custos associados, não compensaria.

Assim, as soluções propostas passarão por intervenções no teto do edifício ou pela integração de barreiras acústicas.

6.3.2 NO REFEITÓRIO

Como vimos anteriormente, a zona do refeitório é a zona com maiores problemas de conforto acústico. É um espaço muito reverberante e os níveis de ruído de fundo são muito elevados, impedindo boa inteligibilidade da palavra. Para melhorar estes indicadores, é necessário aumentar a absorção sonora do espaço. Isto pode ser feito através da aplicação de materiais altamente absorventes.

Tendo a intervenção no piso sido descartada, a solução mais viável seria uma intervenção no teto do refeitório. O teto tem bastante área que pode ser melhor aproveitada.

Para isso, eu sugeria a aplicação de painéis absorventes suspensos paralelos ao teto do edifício. Uma solução semelhante à usada na zona do *grill*, que teve resultados muito positivos nesta zona.

Como vimos nos casos particulares analisados, esta é uma solução bastante corrente em restaurantes, pois permite elevar os índices de absorção das salas, ao mesmo tempo que pode ser bem integrada na arquitetura existente. Atualmente, existe uma grande diversidade deste tipo de painéis acústicos no mercado, compostos por diversos materiais e que podem adquirir diversas formas e dimensões, tal como ficou exemplificado nos casos analisados.

Na dissertação de 2012 [1] foi proposta a integração de painéis suspensos verticais, no entanto, esta solução seria muito mais agressiva visualmente, pelo que o ideal seria mesmo que os painéis estivessem em paralelo com o teto.

O facto os painéis estarem em suspenso poderia permitir uma maior absorção sonora visto poder ser feita de ambos os lados do painel. Ainda assim, painéis embutidos no teto também seriam boa uma hipótese, numa solução semelhante à aplicada no exemplo do ponto 4.3.2.5.

Por outro lado, como foi analisado no capítulo anterior, uma das principais causas para os problemas acústicos do refeitório, incidiam na passagem dos ruídos provenientes quer da cozinha quer do ponto de recolha dos tabuleiros. Assim sugeria a introdução de uma barreira que separasse estas zonas das mesas do refeitório. Esta solução, que também já tinha sido proposto no estudo anterior, permitiria atenuar a passagem destes ruídos indesejados. Na planta da fig. 6.2 pode observar-se na planta do refeitório a disposição destas barreiras.

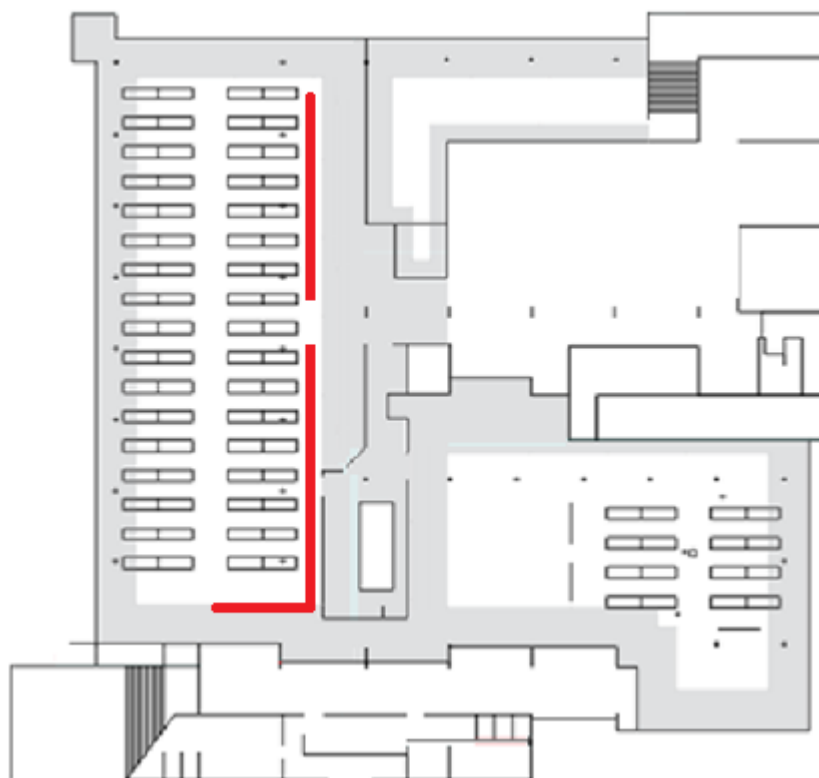


Fig. 6.2 – Planta da zona do refeitório com a disposição das barreiras acústicas assinalada pelo traço vermelho

Esta solução, além de impedir a propagação dos ruídos, funcionaria como divisória entre a zona das mesas e a zona de espera dos utilizadores.

A proposta de 2012, além das barreiras acústicas, contemplava também uma reorganização das mesas e remoção de algumas delas. No entanto, considerando que grande parte dos problemas da cantina advém da elevada densidade de utilizadores no espaço, esta solução não seria viável em termos do serviço prestado à comunidade da FEUP. Considerando o número de utilizadores que diariamente frequenta o refeitório, diminuir o número de lugares do espaço apenas contribuiria para piorar as condições de serviço e aumentar a densidade de utilizadores uma vez que estes estariam mais tempo na fila de espera.

A implementação destas barreiras teria ainda a vantagem de, através delas, aumentar a absorção do espaço. Para isso as barreiras deveriam ser constituídas por materiais de alta absorvência sonora, podendo, por questões de durabilidade dos materiais, ser protegidos por placas de metal perfurado, sem alterar as condições de absorção (tal como foi descrito no exemplo de estudo do ponto 4.3.1).

6.3.3 NO GRILL

A zona do *grill*, ao contrário da zona do refeitório, não é um espaço tão reverberante e os níveis de ruído são bastante inferiores. Para isto, muito contribui o tratamento acústico aplicado no teto que confere grande absorção sonora ao espaço e foi uma solução bastante eficaz.

Conforme foi analisado nos capítulos anteriores, os problemas de conforto acústico do *grill* prendiam-se mais com a falta de privacidade que com a falta de inteligibilidade. Assim, para esta zona propunha uma reorganização espacial, que permitisse um maior afastamento entre mesas e reduzisse a excessiva densidade de utilizadores nesta área. A reorganização do espaço, compreenderia um maior aproveitamento da zona 2 referida no ponto 6.22; a zona 1 não pode ser aproveitada da mesma forma pois destina-se à recolha da comida (possível observar na figura 5.24). Esta reorganização pode então ser visualizada na planta presente na figura 6.3.

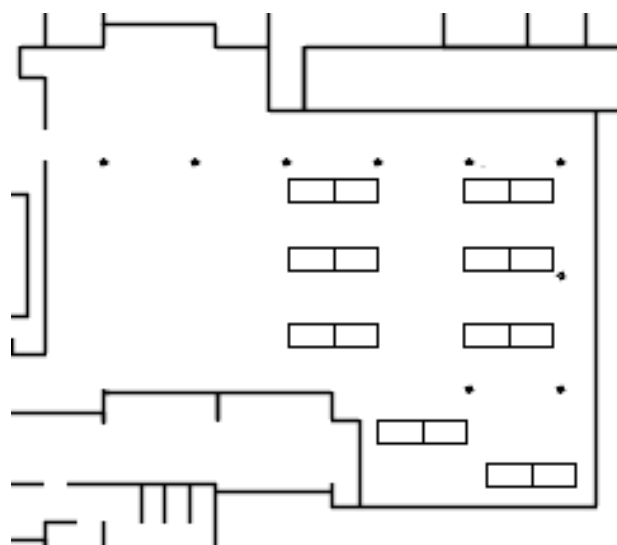


Fig. 6.3 – Planta da zona do *grill* com proposta de reorganização espacial das mesas

Esta solução pode parecer bastante simples, mas poderia ser suficiente para aumentar a privacidade entre as mesas.

Por outro lado, também neste espaço sugiro a introdução de barreiras acústicas, à semelhança do sugerido para a zona do refeitório, mas apenas no ponto de recolha dos tabuleiros. Isto porque os níveis de ruído de fundo e de inteligibilidade neste espaço são considerados aceitáveis, não sendo necessário efetuar as alterações a efetuar na zona do refeitório. A barreira acústica neste caso necessitaria apenas de cerca de 2 m de comprimento e estaria disposta conforme está demonstrado na planta da figura 6.4. Esta barreira seria suficiente para restringir a passagem dos ruídos devidos à recolha e lavagem dos utensílios de refeição, altamente agudos e intensos.

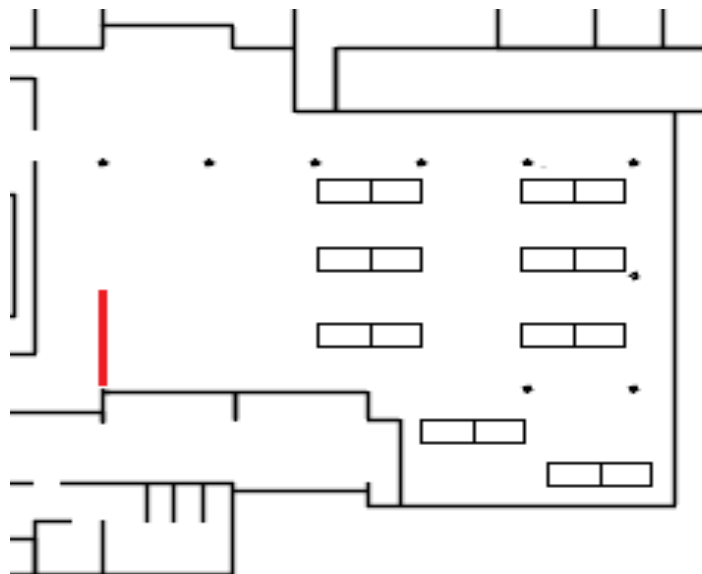


Fig. 6.4 – Planta da zona do *grill* com a disposição da barreira acústica assinalada pelo traço vermelho

7

CONCLUSÃO

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar o ambiente acústico da cantina da FEUP e o seu nível de conforto para os utilizadores e funcionários. Para isso, tendo em conta estudos anteriores elaborados sobre a acústica em espaços de restauração e os valores presentes no RRAE, como termos comparativos, foram efetuadas medições do ruído de fundo, tempo de reverberação e níveis de inteligibilidade e privacidade da palavra na cantina, de modo a avaliar o ambiente sentido.

Nesta avaliação foi fundamental distinguir a zona do refeitório da zona do grill, pois estas têm ambientes acústicos distintos. A intervenção de reabilitação feita na zona do *grill*, em Fevereiro de 2015, revelou-se preponderante para a obtenção de resultados tão distintos numa e outra zona da cantina.

As medições efetuadas na zona do refeitório revelaram níveis de ruído de fundo e tempo de reverberação bastante elevados, contribuindo para o desconfortável ambiente acústico sentido no espaço, que torna a “conversa difícil”, pois os níveis de inteligibilidade são muito reduzidos. Ainda assim, estes valores não se revelaram extraordinariamente elevados quando comparados com cantinas e refeitórios semelhantes, o que leva a crer que, de forma geral, as cantinas escolares e universitárias são mal concebidas, descurando quase sempre a componente “acústica de interiores”. Atualmente, a legislação portuguesa não identifica requisitos acústicos devidamente concebidos para este tipo de espaços, pelo que se sugere uma revisão do RRAE, tanto a nível da coerência dos valores limite impostos nos parâmetros acústicos dos espaços, como do seu cumprimento pelas entidades projetistas/ construtoras.

Como principal causa do desconforto acústico sentido no refeitório destaca-se a elevada densidade de utilizadores por m², associada às características geométricas e volumétricas do refeitório e aos materiais utilizados, muito pouco absorsores. Possivelmente, quando o edifício foi inaugurado, não foi previsto o elevado aumento do número de estudantes que a FEUP, continuamente, tem tido, pelo que, agora, o refeitório não consegue responder à elevada procura registada, ao mesmo tempo que mantém um ambiente acústico pouco agradável para os utilizadores. Também a inexistência de separação física entre o refeitório e a cozinha é relevante, pois permite livre circulação de ruídos entre os dois espaços.

Por outro lado, as medições realizadas no *grill* coincidiram com um ambiente acústico calmo e pacífico que se faz sentir neste espaço da cantina. Apesar de a densidade de utilizadores do *grill* ser menor que a do refeitório, é o tratamento acústico do seu teto que tem maior responsabilidade nas diferenças de ambiente sentidas entre as duas zonas. Os materiais que o constituem conferem a este espaço um coeficiente de absorção muito mais elevado que no refeitório, traduzindo-se em níveis de ruído e tempos de reverberação mais reduzidos e inteligibilidade da palavra bastante superiores, de tal forma que os seus problemas acústicos se prendem mais com a falta de privacidade que de inteligibilidade. Isto permite concluir que a solução de reabilitação acústica implementada no *grill* foi bem conseguida e, no

presente, o espaço não necessita de nova intervenção, devendo um aumento da distância entre mesas ser suficiente para corrigir o ligeiro défice de privacidade da palavra.

O mesmo não se pode dizer do refeitório. Os níveis de intensidade do ruído presente são muito desconfortáveis, podendo mesmo prejudicar a saúde de quem a ele está exposto de forma prolongada, como é o caso dos funcionários da unidade alimentar. A inteligibilidade da palavra é considerada francamente escassa para pessoas com audição normal e nula para pessoas com perdas auditivas.

Assim, torna-se fundamental uma intervenção nesta zona da cantina. Foram, por isso, sugeridas algumas propostas de reabilitação do refeitório, baseadas em soluções habitualmente tomadas noutros casos semelhantes estudados. Destacam-se o tratamento acústico do teto e a criação de uma partição entre o refeitório e a cozinha. É essencial a utilização de materiais altamente absorventes, que permita aumentar o coeficiente de absorção do refeitório, bem como uma redução da transmissão dos ruídos provenientes da cozinha para este espaço. O conjunto de intervenções a efetuar deverá ser capaz de reduzir os níveis de intensidade médios de ruído ambiente sentidos em, pelo menos, 5dB(A), ou seja, abaixo dos 74dB(A); deverá ser capaz de conferir um tempo de reverberação ao espaço abaixo dos 1,1 s; e atingir valores de RASTI definidos no intervalo [0,45 - 0,60], que se traduzam em valores de inteligibilidade e privacidade suficientes.

As soluções propostas têm a mais-valia de possibilitarem uma boa integração arquitetónica no refeitório, não prejudicando a sua estética. Esta conciliação entre a componente funcional e visual das soluções de tratamento acústico é de grande importância neste tipo de espaços (sobretudo restaurantes). Atualmente, existem no mercado inúmeros processos e materiais de tratamento acústico que permitem adotar soluções em conformidade com estas duas componentes. É fundamental perceber que o ambiente ideal de determinado espaço deve contemplar uma harmonia entre a perceção visual e a auditiva. Em alguns casos semelhantes analisados foi claro que o facto de se apostar apenas na estética do espaço, descurando as características acústicas dos materiais utilizados, pode obrigar a uma reabilitação posterior do espaço por culpa do ambiente acústico sentido, sendo preferível equacionar a acústica interior desde o início do projeto.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Futuramente, tendo em conta a grande variabilidade de materiais e processos possíveis de adotar no refeitório da cantina da FEUP (para o teto e para as barreiras de partição), seria interessante elaborar mais pormenorizadamente algumas delas, desenvolvendo estimativas de custos, funcionalidade e estética.

Existem ainda poucos estudos realizados na área da acústica na restauração em Portugal pelo que seria interessante um estudo comparativo entre várias cantinas/refeitórios escolares e universitárias, de modo a perceber os problemas acústicos recorrentes neste tipo de espaços, bem como as suas origens e possíveis soluções.

No futuro deveriam ainda ser desenvolvidos mais estudos sobre o conforto acústico, nomeadamente pela sua componente subjetiva. Seria relevante obter um conhecimento mais vasto sobre o modo como os diferentes parâmetros acústicos habitualmente analisados influenciam o bem-estar e a comodidade dos utilizadores.

É ainda importante referir que o RRAE tem bastantes lacunas no que respeita à regulamentação deste tipo de espaços. A situação deveria ser analisada detalhadamente e o regulamento revisto. É proposta inclusão de novos parâmetros regulamentares como o ruído de fundo e a inteligibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho, Diário da República
- [2] Sarmento Silva, P. Acústica De Restaurantes E Refeitórios, Caso de Estudo – A Cantina da FEUP, FEUP, 2012.
- [3] Física - Bloco A, Texto Editores, 2008.
- [4] Acetatos das aulas de Física del médio Ambiente, Diego Pablo, UGR, Granada 2010
- [5] Infoescola, <http://www.infoescola.com/fisica/ondas-longitudinais/>, acedido em 16-11-2016
- [6] Carvalho, António Pedro Oliveira de Acústica Ambiental e de Edifícios, edição 7.4, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Setembro de 2010
- [7] Aulas de Física e Química, [http://www.aulas-fisica-quimica.com/imagens/8f_02_07.jpg](http://www aulas-fisica-quimica.com/imagens/8f_02_07.jpg), acedido em 16-11-2016
- [8] Escuela Universitaria de Musica, <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/umb.html>, acedido em 16-11-2016
- [9] Tipler, P. A. Manual da disciplina de Física. Física para cientistas e engenheiros, FEUP, 2007
- [10] Ferreira e Silva, C. M. O Tempo De Reverberação e a Inteligibilidade Da Palavra, Caso de Estudo: Salas de aula da FEUP, 2009
- [11] Rui, L. R. A Física Na Audição Humana, Instituto de Física – UFRGS, 2007
- [12] Diário de bordo de Oficina Multimedia, <http://raquellima16.wordpress.com/2011/01/27/caracteristicas-do-som-frequencia-amplitude-e-timbre/>, acedido em 16-11-2016
- [13] Explicatorium, <http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-do-som.html>
- [14] Aulas de física e química, http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_07.html, acedido em 16-11-2016
- [15] Recuero, Manuel, Acústica Arquitectónica Aplicada, Madrid, Pranifo, 1999
- [16] Wind Capital Group, <http://www.windcapitalgroup.com/WindEnergy/FrequentlyAskedQuestions.aspx>, acedido em 18-11-2016
- [17] Almeida P., in Lança, Física dos Edifícios, ESTGB, 2007

- [18] Noise Insulation Case, <http://personal.inet.fi/koti/juhladude/acoustics.html>, acedido em 18-11-2016
- [19] Leventhall, Geoff, What is infrasound?, Progress in Biophysics and Molecular Biology, 2007
- [20] Blog Chr Acustica, http://chracustica.zip.net/arch2008-08-24_2008-08-30.html, acedido em 18-11-2016
- [21] Faculdade de Engenharia Civil, Arquitectura e Urbanismo, Campinas, Brrasil, <http://www.fec.unicamp.br/~conforto/caf2005/home%20page2/imagens%202.html>, acedido em 18-11-2016
- [22] Ruído - Determinação Do Nível De Ruído Em Ambientes Internos E Externos De Áreas Habitadas, www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/Textos/Cetesb-L11032.doc, acedido em 21-11-2016
- [23] Lau, P., "The Lombard Effect as a Communicative Phenomenon." UC Berkeley Phonology Lab Annual Report, 2008
- [24] Arons, B., "A Review of The Cocktail Party Effect." MIT Media Lab., 2006
- [25] Long, M., Architectural Acoustics, Academic Press, Oxford, 1ª edição, Junho, 2005
- [26] The Engineering Toolbox: Método Noise Criterion, http://www.engineeringtoolbox.com/ncnoise-criterion-d_725.html, acedido em 28-11-2016
- [27] The Engineering Toolbox: Método Noise Rating, http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noiserating-d_60.html, acedido em 28-11-2016
- [28] The Engineering Toolbox: Método Room Criteria, http://www.engineeringtoolbox.com/rc-room-criteria-d_729.html, acedido em 28-11-2016
- [29] Lencastre, Margarida, A inteligibilidade da palavra em igrejas católicas através de análise de carácter subjectivo e objectivo, Tese Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 1988
- [30] Veríssimo, J., Ruído de equipamentos de AVAC – Caso de estudo: a FEUP, 2013
- [31] Raichel, The Science and Applications of Acoustics 2th edition, Springer, 2006
- [32] The Engineering Toolbox: Níveis de interferência na fala - http://www.engineeringtoolbox.com/speech-interference-levels-d_1138.html, acedido em 19-11-2016
- [33] Martins, C. (2010), Caracterização acústica das duas igrejas de Santo Ovídio, Mafamude; FEUP

- [34] CEI IEC 268-16, Rapport de la Commission Electrotechnique Internationale. Equipements pour systèmes électroacoustiques – seizième partie: Evaluation objective de l'intelligibilité de la parole dans les salles de conférence par le méthode RASTI “, 1988
- [35] Amplitude Acústica, <http://www.amplitudeacustica.com.br/blog/dicas-de-revestimento-acustico-para-festas>, acedido em 30-11-2016
- [36] Case Western Reserve University, <http://physics.case.edu/about/history/antique-physics-instruments/helmholtz-resonator-2/>, acedido em 30-11-2016
- [37] Baffles by Wave, <https://www.architonic.com/en/product/wave-wave-baffles/1234643>, acedido em 30-11-2016
- [38] Cox, Trevor J. e D'Antonio, Peter, Acoustic Absorbers and Diffusers - Theory, Design and Application, Taylor & Francis, Londres, 2009
- [39] Lopes, Renata Kintschner, Relações e influências da aplicação da acústica no processo de projeto de arquitetura contemporânea, Universidade Estadual de Campinas, 20120
- [40] Acoustic Diffuser Planks, <http://www.decorsystems.com.au/products/acoustic-diffuser-planks/>, acedido em 09-12-2016
- [41] Catai, R, Penteado, A. P. e Dalbello, P. F., Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico, Foz do Iguaçu, 2006
- [42] Amorim Isolamento, <http://www.amorimisolamentos.com/aplicacoes/Parede-Dupla-com-isolamento-preenchendo-totalmente-a-caixa-de-ar/140/>, acedido em 05-12-2016
- [43] Som e Acústica, <http://www.someacustica.com/someacustica/>, acedido em 05-12-2016
- [44] Blog artesana, <http://www.blog.artesana.com.br/contrapiso-flutuante-acustico/>, acedido em 05-12-2016
- [45] Construção Sustentável, <http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Conceitos/Valorizacao-Ambiental/Conforto-Acustico>, acedido em 09-12-2016
- [46] Proença, Carlos Augusto, História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico, FUNAG, 2012.
- [47] Figueiredo, F. L.; Parâmetros acústicos subjectivos: critérios de avaliação da qualidade acústica de salas de aulas, Universidade de São Paulo, 2005

- [48] Beranek, Leo L. Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption. The Journal of the Acoustical Society of America, 2006
- [49] Lombard, E., The sign of the elevation of the voice, translated by Paul H. Mason, 2006
- [50] The Cocktail Party Effect, <http://www.spring.org.uk/2009/03/the-cocktail-party-effect.php>, acedido em 09-12-2016
- [51] Reboredo, E. A. C., Comportamento acústico de locais de restauração, Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2008
- [52] Gardner, M. B., Factors affecting individual and group levels in verbal communication, Journal of the Audio Engineering Society, 1971
- [53] Haan, H. K. e Kwon, K. W., A method of evaluating surface diffusivity of rooms – computer modeling and field measurement, Applied Acoustics 62, 1313-1327, 2001
- [54] Moulder, R., Quiet Areas in Restaurants, “Final Report”, U. S. Architectural and Transportation Barriers Compliance Board, Columbus, Ohio, 1993
- [55] Lebo C. P., Smith, M. F. W. e Mosher, E. R., Restaurant Noise, Hearing Loss and Hearing Aids, San Francisco, California, 161:45-49, West J Med 1994
- [56] Tang, S. K., Chan, D. W. T. e Chan, K. C., Prediction of sound-pressure level in an occupied enclosure, Journal of Acoustical Society of America, 1997
- [57] White, A., The effect of the building environment on occupants: the acoustics of dining spaces, M.Phil. Dissertation, University of Cambridge, 1999
- [58] Kuttruff, H., Room Acoustics, 4ª edição, Spon Press, Taylor & Francis Group, 2000
- [59] Fernandez, S., Feijóo, S., Acoustic cues to perception of vowel quality, Beijing (China), 2000
- [60] Kang, J., Numerical modelling of the speech intelligibility in dining spaces, School of Architecture, University of Sheffield, Applied Acoustics 63, 1315–1333, 2002
- [61] Astolfi, A. e Filippi, M., Good Acoustical Quality in Restaurants: a Compromise Between Speech Intelligibility and Privacy, Politecnico di Torino, C.so Duca degli Abruzzi, 24, 10129 Torino, Itália
- [62] Rychtáriková, M., Nijs, L., Şaher, K. e Voorden, M., Architectural Guidelines for Living Rooms, Classrooms, Offices, Sports Facilities and Restaurants, Dep. of Building Structures, STU Bratislava, “The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering”, 2004

- [63] Bollard, P., Case study of restaurant successfully designed, constructed, and operated for excellent dining acoustics, Noise-Con 2005, Minneapolis, Minnesota, 2005
- [64] Long, M., Dinner Conversation (an oxymoron?), Sherman Oaks, CA 91423, 2005
- [65] Marisco, G., Brambilla, G., Curcurutto, S., Clapiz, M., Betti, R. e Riccardi, M., Acoustic climate inside a canteen and a mitigation solutions, Acoustics, Paris, 2008
- [66] Hodgson, M., Steininger, G. e Razavi, Z., Measurement and prediction of speech and noise levels and the Lombard effect in eating establishments, Journal of Building Acoustics, 16 (2) 2009
- [67] Fullerton, J. L., Markham, B. E. e Pieleanu, I. N., An historic conversion: from a bank to a restaurant and residences, Inter-noise 2009, Ottawa, Canada, 23-26 Agosto, 2009
- [68] Dorsh, D. F. e Beiler, T. R., A comparative noise prediction study of restaurant noise and live music in a tropical resort setting, Inter-noise 2009, Ottawa, Canada, Agosto, 2009
- [69] Nahid M. e Hodgson M., Prediction of optimal conditions for verbal-communication quality in eating establishments, University of British, Acoustical Society of America. [DOI: 10.1121/1.3552867], Columbia, 2010
- [70] J. Rindel, "Acoustical capacity as a means of noise control in eating establishments," Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2012, Odense, Denmark, 2012
- [71] Hamayon, Loïc. Réussir l'acoustique d'un bâtiment: conception architecturale, isolation et correction acoustiques. Éd. le Moniteur, 2013
- [72] Battaglia, Paul. "Achieving acoustical comfort in restaurants." The Journal of the Acoustical Society of America 136.4, 2014
- [73] Acoustic Science Corporation, <http://www.acousticssciences.com/public-spaces/restaurant-acoustics>, acedido em 12-11-2016
- [74] Melhor acústica, <http://melhoracustica.com.br/2013/12/17/conforto-acustico-em-restaurantes/>, acedido em 12-11-2016
- [75] Log acustica, <http://logacustica.com/reabilitacao-edificios-acoustic-refurbishment/>
- [76] Bushari, <http://www.bushari.com/boston-loft-buildings/penny-savings-bank/>
- [77] Boston Luxury Properties, <http://bostonluxuryproperties.com/list-of-boston-luxury-buildings/penny-savings-bank/>
- [78] Boston luxe, <http://www.bostonluxe.com/luxe-list.php>, acedido em 18-11-2016

- [79] Boston realty web, http://www.bostonrealtyweb.com/luxury_buildings/penny-savings-bank, acedido em 18-11-2016
- [80] San Francisco Gate, <http://www.sfgate.com/business/article/High-tech-system-lets-restaurant-set-noise-level-3554029.php#photo-2928838>, acedido em 19-11-2016
- [81] Meyer Sound, <http://www.meyersound.com/news/2012/comal/>, acedido em 19-11-2016
- [82] Youtube - Berkeley Restaurant Comal Softens the Distracting Noise and Focuses on the Conversation, <https://www.youtube.com/watch?v=f-QFK-lpkM8>, acedido em 19-11-2016
- [83] Meyer Sound, http://meyersound.com/product/constellation/solution_restaurants.php, acedido em 19-11-2016
- [84] Resonics, <http://resonics.co.uk/acoustic-products-projects/brodie-countryfare-restaurant-forres-scotland/>, acedido em 21-11-2016
- [85] Fabric Wall, <http://fabric-wall.co.uk/our-projects/casa-cruz-london/>, acedido em 22-11-2016
- [86] Independent, <http://www.independent.co.uk/life-style/food-and-drink/reviews/casa-cruz-restaurant-review-youll-wonder-if-youve-come-to-spearmint-rhinos-w11-branch-10424980.html>, acedido em 22-11-2016
- [87] Resonics, <http://resonics.co.uk/case-study-canteen-acoustics-dfid/>, acedido em 22-11-2016
- [88] Ecophon, <http://www.ecophon.com/uk/inspiration/the-clink---uk/>, acedido em 22-11-2016
- [89] Corriere della serra, http://viaggi.corriere.it/wp-content/uploads/2015/10/The_Clink_restaura_3173140b.jpg, acedido em 18-12-2016
- [90] Google Maps, www.google.pt/maps, acedido em 18-12-2016
- [91] Eurocoustic, <http://www.eurocoustic.com/produit.php?l=uk&p=TongaA22>, acedido em 18-12-2016