

A ACÚSTICA DE MUSEUS TRADICIONAIS

**Estudo de Caso, O Museu Nacional Soares dos
Reis (Porto)**

LUÍSA MAIA MOTA GARCIA

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

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

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

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

A meus Pais e Irmã

*Os que se enamoram da prática, sem ciência, são como um marinheiro que navega sem
régua e compasso.*

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, por todo o apoio, disponibilidade e empenho em fazer-me ver para além do que a minha vista alcançava.

Ao Engenheiro António Eduardo da Costa pela ajuda prestada nos ensaios e pelo seu contributo e simpatia durante a realização deste trabalho.

À Exm.^a Sr.^a Diretora do Museu Nacional Soares dos Reis, Dr.^a Maria João Vasconcelos, pela forma como disponibilizou o museu, sem reservas, permitindo-me articular com profissionais, em diferentes áreas, que colaboraram ativamente para obtenção de informações e resultados em tempo útil. A minha gratidão a todos esses profissionais.

Ao Hélder Gonçalves por ter amavelmente fornecido os dados do seu trabalho.

Aos meus amigos que estiveram presentes neste meu percurso académico, em especial à Alexandra Almeida por estar presente desde o início desta jornada.

À minha irmã pelo apoio afetivo e pela composição das imagens que enriqueceram este trabalho.

Ao meu pai por todo o apoio que prestou, e pelas horas passadas a ler a tese.

À minha mãe por estar sempre presente nos bons e maus momentos.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é caracterizar acusticamente os museus de tipologia “tradicional”, tomando como caso de estudo o Museu Nacional de Soares dos Reis, no Porto.

O Museu Nacional Soares dos Reis, primeiramente chamado de Museu Portuense de Pinturas e Estampas, foi o primeiro museu público de arte do país, fundado em 1883 por D. Pedro IV. Em 1911, passa a ser chamado Museu Soares dos Reis. Em 1932 adquire o estatuto de Museu Nacional. Em 1940 o museu translada-se para as suas instalações atuais, no Palácio dos Carrancas. Em 1992 procedeu-se a uma remodelação das instalações.

É feita uma breve descrição de conceitos e definições acústicas importantes para a melhor compreensão desta tese. Também é referida uma breve evolução histórica dos museus, as problemáticas acústicas que os museus acarretam e estudos e correções sugeridas ou já realizadas a alguns museus.

É realizada uma análise acústica do Museu Nacional Soares dos Reis recorrendo a parâmetros objetivos medidos no interior das suas maiores salas de exposição, salas 2, 5, 7 e 16. Os ensaios realizados foram: o RASTI, o TR e o ruído de fundo (L_{Aeq}). Os principais resultados dos ensaios obtidos foram: RASTI médio entre 0,41 e 0,53, onde só a sala 7 não cumpriu o mínimo desejável de 0,45; TR médio de 1,6 a 4,9 s para as bandas de frequência dos 500 Hz até aos 2000 Hz, onde só a sala 2 esta no intervalo recomendado de [0,8 ; 1,6]; e L_{Aeq} do ruído de fundo médio, com os equipamentos de AVAC ligados e sem visitantes, de 39,7 a 46,9 dB(A). Os valores de NC foram entre 33 a 42, onde só a sala 2 não cumpriu o máximo desejável de 40. Os valores de NR foram de 34 a 43, onde só a sala 5 cumpriu o limite desejável de 35. Foi feita uma breve análise subjetiva por inquéritos a uma amostra de 56 pessoas depois de estas terem efetuado uma visita ao museu, onde se avaliou a qualidade acústica do museu, onde a maior parte das pessoas atribui uma avaliação positiva.

Procedeu-se à avaliação global do comportamento acústico desenvolvendo e utilizando um método de análise multicritério onde a sala 2 e 5 obtiveram uma classificação positiva.

Para uma distinção acústica entre museus “tradicionais” e “modernos”, fez-se uma análise comparativa dos valores obtidos entre três casos típicos destes tipos de museus. Esta análise foi realizada usando valores das dissertações de Helder Gonçalves e de Guðrún Jónsdóttir sobre a acústica de museus “modernos”. Concluiu-se que as salas com melhores qualidades acústicas globais são as do Museu Nacional da Islândia, seguido das do Museu Nacional Soares dos Reis e por último as do Museu de Serralves.

Sugere-se como medidas de melhoria acústica, na sala 2, a colocação de caixilharias pelo interior das janelas e uma passadeira a rodear a sala. Na sala 5 colocar um sistema *K-13 Standard* de 19 mm de espessura na parte superior do teto saliente e uma passadeira a circundar a sala. Na sala 7 colocar um sistema *SonaSpray* de 19 mm na parte do teto rebocada e uma passadeira a rodear a sala. Na sala 16 colocar uma alcatifa no pavimento e caixilharias pelo interior das janelas.

PALAVRAS-CHAVE: MUSEUS, ACÚSTICA, RASTI, TEMPO DE REVERBERAÇÃO, CURVAS DE INCOMODIDADE

ABSTRACT

The main objective of this study is to acoustically characterize museums of “traditional” typology, taking as a case study the National Museum Soares dos Reis, in Oporto, Portugal.

The National Museum of Soares dos Reis, first called the Porto Museum of Paintings and Prints, was the first public museum of art in the country, founded in 1883 by D. Pedro IV. In 1911, it is called Museum of Soares dos Reis. In 1932 acquired the status of a National Museum. In 1940 the museum relocates to its current facilities at the Palace of the Carrancas. In 1992 it suffers a vast remodeling of the facilities.

A brief description of acoustic definitions and concepts important for understanding this thesis is made. An historical evolution of the museums, their acoustic problems, studies and suggested corrections that already carried out, are presented.

An acoustic analysis of the museum was held using objective parameters measured within the largest showrooms, rooms 2, 5, 7 and 16. The tests performed were: RASTI, RT and background noise (L_{Aeq}). The main results of the tests were: RASTI average of 0,41 to 0,53, where only 7 failed to fulfill the desirable minimum of 0,45; RT average 1,6 to 4,9 s for frequency bands of 500 Hz to 2000 Hz, where only the room 2 is in the recommended range of [0,8 ; 1,6], and average background noise, with the HVAC equipment and without visitors, 39,7 to 46,9 dB(A). NC values were 33 to 42, where only room 2 has failed to achieve the desired maximum of 40. NR values were 34 to 43, where only room 5 did not surpass the maximum desirable 35. A brief subjective analysis by surveys was made to a sample of 56 people after they visited the museum, which evaluated the acoustic quality of the museum, where most people attribute a positive evaluation.

Proceeded to the overall assessment of the acoustic behavior by developing and using a multicriteria analysis method in which rooms 2 and 5 had a positive evaluation.

For an acoustic distinction between “traditional” and “modern” museums, a comparative analysis was made of the values obtained between three typical cases of these types of museums. This analysis was performed using dissertations of Hélder Gonçalves and Guðrún Jónsdóttir about the acoustics of “modern” museums. It was concluded that the rooms with the best overall acoustic qualities are those of the National Museum of Iceland, followed by the National Museum Soares dos Reis and lastly the Museum of Serralves.

Measures to improve acoustics in the room 2 are suggested, as to put interior joinery windows and a red carpet surrounding the room. In room 5 place a *K-13 Standard* 19 mm thick system at the upper part of the ceiling and a red carpet surrounding the room. In room 7 to use a *SonaSpray* 19 mm system on the plastered ceiling and a red carpet surrounding the room. In room 16 put a carpet flooring and interior joinery windows.

KEYWORDS: MUSEUMS, ACOUSTICS, RASTI, REVERBERATION TIME, NOISE CRITERION CURVES

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. INTRODUÇÃO 3 |

2.2. ANÁLISE DA PRESSÃO 4 |

2.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM NO AR 4 |

2.2.2. CELERIDADE 4 |

2.2.3. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA 4 |

2.2.4. NÍVEIS 5 |

2.3. ANÁLISE DA FREQUÊNCIA 6 |

2.3.1. DEFINIÇÕES E UNIDADES 6 |

2.3.2. BANDAS DE FREQUÊNCIA 7 |

2.3.3. CURVAS DE PONDERAÇÃO 7 |

2.3.4. COMPRIMENTO DE ONDA 9 |

2.4. ANÁLISE NO TEMPO 9 |

2.4.1. DEFINIÇÕES 9 |

2.4.2. PARÂMETROS ENERGÉTICOS 9 |

2.4.3. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS 10 |

2.5. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS 10 |

2.5.1. ABSORÇÃO SONORA 10 |

2.5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO 11 |

2.5.3. CAMPO DIRETO E CAMPO REVERBERADO 13 |

2.5.4. RUÍDO DE FUNDO 13 |

2.5.5. CURVAS DE INCOMODIDADE 14 |

2.5.6. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA 14 |

2.6. OUTROS PARÂMETROS ACÚSTICOS	15
2.6.1. TEMPO DE DECAIMENTO CURTO (EDT)	15
2.6.2. DEFINIÇÃO (D_{50})	15
2.6.3. RASTI	16
2.7. CORREÇÃO ACÚSTICA E ISOLAMENTO SONORO	16
2.7.1. CORREÇÃO ACÚSTICA	16
2.7.2. ISOLAMENTO SONORO	17
3. MUSEUS	19
3.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA	19
3.2. MUSEUS “TRADICIONAIS” VS. MUSEUS “MODERNOS”	21
3.3. ACÚSTICA NOS MUSEUS	22
3.3.1. INTRODUÇÃO	22
3.3.2. ESTADO DE ARTE	22
3.3.3. VALORES IDEAIS	24
4. MUSEU NACIONAL SOARES DOS REIS	27
4.1. HISTÓRIA DO MUSEU	27
4.2. ANTÓNIO SOARES DOS REIS	29
4.3. PALÁCIO DOS CARRANCAS	33
4.3.1. MORAES E CASTRO	33
4.3.2. CONSTRUÇÃO DO PALÁCIO DOS CARRANCAS	34
4.3.3. OCUPAÇÃO DO PALÁCIO PELOS MORAES E CASTRO	35
4.3.4. DOS MORAES E CASTRO ATÉ MUSEU NACIONAL	36
4.3.5. REMODELAÇÕES DO MUSEU	36
5. ENSAIOS	39
5.1. INTRODUÇÃO	39
5.2. NÍVEL SONORO CONTÍNUO EQUIVALENTE DE RUÍDO DE FUNDO	41
5.2.1. METODOLOGIA	41
5.2.2. RESULTADOS	42
5.3. NÍVEL SONORO CONTÍNUO EQUIVALENTE DO RUÍDO DOS EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO	44

5.3.1. METODOLOGIA.....	44
5.3.2. RESULTADOS.....	44
5.3.3. CURVAS DE INCOMODIDADE.....	47
5.4. NÍVEL SONORO CONTÍNUO EQUIVALENTE DE RUÍDO DOS VISITANTES	48
5.4.1. METODOLOGIA.....	48
5.4.2. RESULTADOS.....	48
5.5. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	49
5.5.1. METODOLOGIA.....	49
5.5.2. RESULTADOS.....	51
5.6. RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX, RASTI	52
5.6.1. METODOLOGIA.....	52
5.6.2. RESULTADOS.....	53
 6. INQUÉRITOS	 57
6.1. INTRODUÇÃO.....	57
6.2. ANÁLISE DAS RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO.....	58
6.2.1. GÉNERO E IDADE	58
6.2.2. QUESTÃO 1	59
6.2.3. QUESTÃO 2.1	60
6.2.4. QUESTÃO 2.2	60
6.2.5. QUESTÃO 2.3	61
6.2.6. QUESTÃO 2.4	62
6.2.7. QUESTÃO 2.5	63
6.2.8. QUESTÃO 3	64
6.2.9. QUESTÃO 4	64
 7. ANÁLISE MULTICRITÉRIO	 67
7.1. INTRODUÇÃO.....	67
7.2. DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO	67
7.3. APLICAÇÃO DO ALGORITMO	71
 8. COMPARAÇÃO COM MUSEUS MODERNOS	 73

8.1. INTRODUÇÃO	73
8.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	75
8.3. RASTI	77
8.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO VS. RASTI	78
8.4. NÍVEL SONORO DE RUÍDO DE FUNDO COM AVAC	79
8.4. CURVAS DE INCOMODIDADE	80
8.5. MÉTODO MULTICRITÉRIO	82
8.6. CONCLUSÕES	82

9. SUGESTÕES PARA MELHORIA ACÚSTICA

85

9.1. PROPOSTAS DE CORREÇÃO ACÚSTICA	85
9.2.1. IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS	85
9.2.2. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO	85
9.2.3. PREVISÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO	93
9.2.4. ANÁLISE ECONÓMICA DAS PROPOSTAS	98

10. CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

101

10.1. CONCLUSÃO	101
10.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	103

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

105

ANEXO

109

ÍNDICE FIGURAS

Fig. 2.1- Alcance e ramificações das diversas áreas de Acústica [1]	3
Fig. 2.2- Variações de pressão no ar perante um estímulo sonoro [4]	4
Fig. 2.3 – Interligação entre potência (W), intensidade (I) e pressão (p) [3]	5
Fig. 2.4 – Relação entre Pressão sonora p e Níveis de pressão sonora L_p (com pressão sonora de referência de 20 μ Pa) [2]	6
Fig. 2.5 – Oscilogramas (esq.) e Espectro sonoro (dir.) [3]	7
Fig. 2.6 – Curvas de igual sensibilidade auditiva (em fone) [5]	8
Fig. 2.7 – Descrição das curvas de ponderação (filtros) A, B, C, D [6]	8
Fig. 2.8 – Relação do comprimento de onda (λ) com a frequência	9
Fig. 2.9 – Diferenças entre L_{50} , L_{95} e o L_{eq} [3]	10
Fig. 2.10 – Curva de referência para determinação do α_w [7]	11
Fig. 2.11 – Esquema de reflexão de ondas sonoras num compartimento [8]	12
Fig. 2.12 – Tempo de Reverberação teórico (esq.) e obtido por extrapolação (dir.) [3]	12
Fig. 2.13 – Exemplo de campo direto (linha descendente) e campo reverberado (linhas horizontais) [3]	13
Fig. 2.14 – Curvas NC (esq.) [9] e NR (dir.) [10]	14
Fig. 2.15 – Efeito na inteligibilidade da palavra <i>back</i> em dois cenários de tempo de reverberação (0,5 s e 1,5 s a tracejado) [3]	15
Fig. 2.16 – Comportamento em frequência dos três tipos de materiais e sistemas absorventes [3] ...	16
Fig. 2.17 – Representação esquemática dum ressoador de Helmholtz com analogia do sistema massa/mola envolvido no processo de atenuação de ondas refletidas [11]	17
Fig. 2.18 – Esquema de situações de transmissão de ruídos aéreos (esq.) e de percussão (dir.) [12] 18	
Figs. 3.1 e 3.2 – Real Sociedade de Londres [16] (esq.) e Academia de Ciências de Paris [17] (dir.)	20
Figs. 3.3, 3.4 e 3.5 – Museu de Ashmolean [18] (esq.), Museu Britânico [19] (centro) e Museu do Louvre [Foto da autora] (dir.)	20
Figs. 3.6, 3.7 e 3.8 – Museu do Vaticano [21] (esq.) Museu Nacional Húngaro [22] (centro) e Museu Metropolitano de Arte em N.Y. [23] (dir.)	21
Figs. 3.9, 3.10 e 3.11 – Museu de Arte Moderna em N.Y [24] (esq.), Museu Solomon R. Guggenheim [25] em N.Y. (centro) e Museu de Serralves no Porto [26] (dir.)	22
Fig. 3.12 - Galeria Nacional Dinamarquesa, Copenhaga [33]	24
Fig. 4.1 – Antigo Convento de Santo António da Cidade atual Biblioteca Municipal (Jardim de S. Lázaro) [40]	27
Fig. 4.2 – Palácio dos Carrancas (Rua D. Manuel II, no Porto) [foto da autora]	28
Fig. 4.3 - António Soares dos Reis [foto da autora]	29

Figs. 4.4 e 4.5 - O Desterrado, no MNSR (esq.) e Cristo, na Igreja de Mafamude, Gaia [fotos da autora].....	30
Figs. 4.6 e 4.7 – Estátua de D. Afonso Henriques, Guimarães (esq.) e busto em gesso de Fontes Pereira de Melo, MNSR [fotos da autora].....	31
Fig. 4.8 – Túmulo de António Soares dos Reis, cemitério da Igreja de Mafamude em Gaia [foto da autora].....	32
Figs. 4.9 e 4.10 - Estátua da filha dos Condes de Almedina, MNSR (esq.) e Brotero, MNSR [fotos da autora] (dir.)	33
Figs. 5.1 e 5.2.– Plantas do piso 1 [46] (esq.) e piso 2 (dir.) com salas ensaiadas representadas [47] (nº 2, 5, 7 e 16)	40
Figs. 5.3 e 5.4 – Fotografias retiradas no interior da sala 2 [fotos da autora].....	40
Figs. 5.5 e 5.6 - Fotografias retiradas no interior da sala 5 [fotos da autora].....	41
Figs. 5.7 e 5.8 - Fotografias retiradas no interior da sala 7 [fotos da autora].....	41
Figs. 5.9 e 5.10 - Fotografias retiradas no interior da sala 16 [foto da autora]	41
Figs. 5.11 e 5.12 - Sonómetro <i>Brüel & Kjaer</i> , modelo 2260 [fotos da autora].....	42
Fig. 5.13 - Valores dos níveis de pressão sonora de ruído de fundo (AVAC desligado) nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes.....	43
Fig. 5.14 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrado A de ruído de fundo (AVAC desligado) nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes	43
Fig. 5.15 - Valores dos níveis de pressão sonora de ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes	45
Fig. 5.16 - Diferença de valores de níveis de pressão das situações de AVAC ligado e AVAC desligado, ambas sem visitantes.....	46
Fig. 5.17 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrados A de ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes.....	46
Fig. 5.18 – Determinação da curva de incomodidade NC no interior das salas do Museu ensaiadas, com AVAC	47
Fig. 5.19 - Determinação da curva de incomodidade NR no interior das salas do Museu ensaiadas, com AVAC	48
Figs. 5.20 e 5.21 – Fonte sonora <i>Brüel & Kjaer</i> , modelo 4224 (esq.) e equipamento para a realização do ensaio (dir.) [fotos da autora].....	50
Fig. 5.22 – Localização típica dos três pontos de medição (1, 2 e 3) e da fonte sonora (FS) nas salas para avaliação do TR.....	50
Fig. 5.23 – Valores de TR30 nas salas ensaiadas	51
Fig. 5.24 – Relação entre volume e $TR_{[500-2000]}$ nas salas ensaiadas (dir.)	52
Figs. 5.25, 5.26 e 5.27 – Fonte sonora RASTI <i>Brüel & Kjaer</i> 4225 (esq.), receptor <i>Brüel & Kjaer</i> 4419 (centro) e medição do RASTI (dir.) [fotos da autora]	53

Fig. 5.28 - Localização típica dos pontos de medição (1 a 6) e da fonte sonora (FS) nas salas, para avaliação do RASTI.....	53
Fig. 5.29 – Relação entre os valores médios do RASTI e de $TR_{[500-2000]}$ nas salas ensaiadas	55
Fig. 6.1 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 1, <i>qual a razão porque se encontra no museu</i>	59
Fig. 6.2 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.1, <i>quão incomodativo é o ruído de conversação dentro da própria sala</i>	60
Fig. 6.3 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.2, <i>quão incomodativo é o ruído proveniente de outras salas</i>	61
Fig. 6.4 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.3, <i>quão incomodativo é o ruído de percussão</i>	62
Fig. 6.5 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.4, <i>quão incomodativo é o ruído exterior</i>	63
Fig. 6.6 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.5, <i>quão incomodativo é o ruído do AVAC</i>	63
Fig. 6.7 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 3, <i>o quanto ouve/percebe o guia</i>	64
Fig. 6.8 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 4, <i>avaliação acústica do museu</i>	65
Figs. 8.1 e 8.2 – Plantas da sala 11 (esq.) e das salas 12 e 14 (dir.) do Museu de Serralves [52]	74
Figs. 8.3 e 8.4 – Plantas do <i>Arc Hall</i> (esq.) e <i>Gallery of Photography</i> (dir.) do Museu Nacional da Islândia [32]	74
Fig. 8.5 – Valores dos volumes das salas comparadas.....	75
Fig. 8.6 - Valores médios de $TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$ das salas comparadas	76
Fig. 8.7 – Valores médios do $TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$ em função dos volumes das salas comparadas	76
Fig. 8.8 – Valores de RASTI das salas comparadas	77
Fig. 8.9 - Valores do RASTI em função dos volumes das salas comparadas	78
Fig. 8.10 - Valores do RASTI em função do $TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$ das salas comparadas	78
Fig. 8.11 – Valores do nível de pressão sonora de ruído de fundo com AVAC ligado, sem visitantes das salas comparadas	79
Fig. 8.12 - Valores do nível sonoro contínuos equivalentes de ruído de fundo com AVAC ligado, sem visitantes, das salas comparadas	80
Fig. 8.13 - Valores da curva de incomodidade NC das salas comparadas	81
Fig. 8.14 - Valores da curva de incomodidade NR das salas comparadas	81
Fig. 9.1 – Pavimento alcatifado no Museu Nacional do Ar e Espaço do Instituto Smithsonian [55, 56]	87
Fig. 9.2 – Desenhos esquemáticos da localização da nova caixilharia [57]	87
Fig. 9.3 – Simulação da introdução da nova caixilharia interior na sala 2.....	88
Fig. 9.4 – Simulação da colocação da alcatifa no pavimento da sala 2	88

Fig. 9.5 – Planta da sala 2 com proposta de solução para a colocação da passadeira e sua simulação	88
Fig. 9.6 – Corte esquemático da sala 5 com proposta de solução para melhoria acústica	90
Fig. 9.7 - Simulação da colocação da alcatifa no pavimento da sala 5	90
Fig. 9.8 - Planta da sala 5 com proposta de solução para a colocação da passadeira e sua simulação	90
Fig. 9.9 - Planta da sala 7 com proposta de solução de celulose projetada no teto	91
Fig. 9.10 - Planta da sala 7 com proposta de solução para a colocação da passadeira e sua simulação	91
Fig. 9.11 - Simulação da colocação da alcatifa no pavimento da sala 16	92
Fig. 9.12 - Simulação da introdução da nova caixilharia interior na sala 16	92
Fig. 9.13 – Valores de TR previsto para diferentes materiais aplicados na sala 5 com respetivo TR medido	96
Fig. 9.14 - Valores de TR previsto para diferentes materiais aplicados na sala 7 com respetivo TR medido	96
Fig. 10.1 – Resumo dos resultados obtidos nos inquéritos nas perguntas Q. 2 (esq.), Q. 3 (centro) e Q. 4 (dir.)	102

ÍNDICE QUADROS

Quadro 3.1 - Correspondência entre o parâmetro objetivo RASTI e a subjetiva inteligibilidade da palavra [37].....	25
Quadro 3.2 – Valores considerados ideais dos parâmetros acústicos representados	25
Quadro 5.1 – Dimensões das salas ensaiadas.....	40
Quadro 5.2 – Valores obtidos dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo (AVAC desligado) nas salas do Museu ensaiadas	42
Quadro 5.3 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrado A de ruído de fundo (AVAC desligado) nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes	43
Quadro 5.4 - Valores dos níveis de pressão sonora do ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes	45
Quadro 5.5 – Diferença de valores de níveis de pressão sonora das situações de AVAC ligado e AVAC desligado, ambas sem visitantes	45
Quadro 5.6 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrados A do ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes	46
Quadro 5.7 – Valores dos níveis sonoros do ruído ambiente com visitantes nas salas do Museu ensaiadas	48
Quadro 5.8 – Diferença de valores entre o nível sonoro ruído de fundo (RF) com visitantes com o ruído de fundo sem visitantes com o AVAC ligado e desligado	49
Quadro 5.9 – Valores obtidos de TR30 na sala 2	51
Quadro 5.10 - Valores obtidos de TR30 na sala 5	51
Quadro 5.11 - Valores obtidos de TR30 na sala 7	51
Quadro 5.12 - Valores obtidos de TR30 na sala 16	51
Quadro 5.13 – Tempo de Reverberação médio para as frequências de 500 a 2000 Hz nas salas ensaiadas e seus volumes aproximados (esq.)	52
Quadro 5.14 – Valores obtidos de RASTI nas salas ensaiadas	54
Quadro 6.1 – Número de respostas válidas para o inquérito	58
Quadro 6.2 – Respostas à questão do género do inquirido	58
Quadro 6.3 – Respostas à questão da idade do inquirido	59
Quadro 6.4 – Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 1, <i>qual a razão porque se encontra no museu</i>	59
Quadro 6.5 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.1, <i>quão incomodativo é o ruído de conversação dentro da própria sala</i>	60
Quadro 6.6 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.2, <i>quão incomodativo é o ruído proveniente de outras salas</i>	61

Quadro 6.7 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.3, <i>quão incomodativo é o ruído de percussão</i>	61
Quadro 6.8 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.4, <i>quão incomodativo é o ruído exterior</i>	62
Quadro 6.9 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.5, <i>quão incomodativo é o ruído do AVAC</i>	63
Quadro 6.10 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 3, <i>o quanto ouve/percebe o guia</i> 64	
Quadro 6.11 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 4, <i>avaliação acústica do museu</i> .	65
Quadro 7.1 – Escala de valores para o critério $TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$	69
Quadro 7.2 - Escala de valores para o critério RASTI	69
Quadro 7.3 - Escala de valores para o critério nível sonoro de ruído de fundo com AVAC	69
Quadro 7.4 - Escala de valores para o critério índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão... 70	
Quadro 7.5 - Escala de valores para o critério índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores.....	70
Quadro 7.6 – Peso de cada critério do algoritmo	71
Quadro 7.7 – Escala subjetiva de conversão dos valores do IQAM obtidos pelo método multicritério 71	
Quadro 7.8 – Valores dos critérios e classificação IQAM das salas ensaiadas do MNSR.....	72
Quadro 8.1 – Volumetria das salas a comparar	74
Quadro 8.2 – Valores médios de $TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$ das salas comparadas.....	75
Quadro 8.3 – Valores médios de RASTI das salas comparadas.....	77
Quadro 8.4 – Valores do nível de pressão sonora de ruído de fundo com AVAC ligado, sem visitantes das salas comparadas.....	79
Quadro 8.5 - Valores do nível sonoro contínuos equivalentes de ruído de fundo com AVAC ligado, sem visitantes, das salas comparadas.....	80
Quadro 8.6 – Valores das curvas de incomodidade NC e NR das salas comparadas.....	81
Quadro 8.7 – Valores dos critérios e classificação IQAM das salas ensaiadas do MNSR.....	82
Quadro 8.8 – Valores dos parâmetros avaliados nos museus comparados.....	83
Quadro 9.1 – Intervalo de valores do $D_{2m, nT, w}$ para vidro simples, duplo e janela dupla [54].....	87
Quadro 9.2 – Valores de redução da sonoridade da solução de pavimentos flutuantes da <i>AcoustiCork</i> [53]	87
Quadro 9.3 - Valores dos coeficientes de absorção sonora da solução tipo <i>SonaSpray</i> para cada banda de.....	89
Quadro 9.4 - Valores dos coeficientes de absorção sonora da solução tipo <i>BASWaphon</i> para cada banda de frequência em função da espessura e do tipo de acabamento [59]	93
Quadro 9.5 - Valores dos coeficientes de absorção sonora da solução tipo <i>Sonacoustic</i> para cada banda de frequência em função da espessura [60]	93

Quadro 9.6 – Valores de absorção sonora A existente nas salas ensaiadas	94
Quadro 9.7 – Valores dos coeficientes de absorção sonora das superfícies a intervir e respetivas áreas.....	94
Quadro 9.8 - Valores de absorção sonora A para cada banda de frequência e tempo de reverberação previsto na sala 2	94
Quadro 9.9 – Valores de absorção sonora A para cada banda de frequência e tempo de reverberação previsto na sala 5	95
Quadro 9.10 - Valores de absorção sonora A para cada banda de frequência e tempo de reverberação previsto na sala 7	97
Quadro 9.11 - Valores de absorção sonora A para cada banda de frequência e tempo de reverberação previsto na sala 16	97
Quadro 9.12 – Valores do custo dos materiais por m ² , por unidade ou m, o custo total da intervenção e a relação custo tempo de reverberação das várias propostas	98
Quadro 10.1 – Valores obtidos nos ensaios realizados nas salas comparadas no MNSR com respetivos valores ideais	101

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

α – Coeficiente de absorção sonora teórico

α_w – Coeficiente de absorção médio

λ – Comprimento de onda (m)

ρ – Massa Volúmica (kg/m^3)

τ – Coeficiente de transmissão sonora

θ – Temperatura em graus Centígrados

A - Absorção sonora (m^2)

AH – *Arc Hall*

ASA – *Acoustical Society of America*

A_{Si} – Área de cada sala

A_{ST} – Área total das salas

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

c – Celeridade (m/s)

c_{TR} – Cotação do tempo de reverberação

c_{RASTI} – Cotação do RASTI

$c_{LA\text{ eq}}$ – Cotação do nível sonoro do ruído de fundo com AVAC

$c_{L_{nT, w}}$ – Cotação do índice de isolamento sonoro aos ruídos de percussão

$c_{D2m, nT, w}$ – Cotação do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores

D_{50} – Definição

$D'_{2m, nT, w}$ – índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores

E – Energia (Wh)

EDT - Tempo de Decaimento Curto [s]

f – Frequência (Hz)

FS – Fonte sonora

GOP – *Gallery of Photography*

I – Intensidade sonora (W/m^2)

I_0 – Intensidade sonora de referência (W/m^2)

ICOM – Concílio Internacional de Museus

IQAM – Índice de Qualidade Acústica em Museus

K – Temperatura em Kelvin (K)

L_{50} – Nível de pressão sonora que num intervalo de tempo é excedido em 50% da duração desse intervalo

L_{95} – Nível de pressão sonora que num intervalo de tempo é excedido em 95% da duração desse intervalo

$L'_{nT, w}$ - índice de isolamento sonoro aos ruídos de percussão

L_A – Nível de pressão sonora filtrado A (dB)

$L_{A eq}$ – Nível sonoro contínuo equivalente (dB)

$L_{A eq} (rf)$ – Nível sonoro contínuo equivalente de ruído de fundo (dB)

$L_{A eq} (AVAC)$ – Nível sonoro contínuo equivalente de ruído de fundo do AVAC (dB)

$L_{A eq} (vis)$ – Nível sonoro contínuo equivalente de ruído de fundo dos visitantes (dB)

L_{eq} – Nível de pressão sonora equivalente (dB)

L_I – Nível de intensidade sonora (dB)

L_p – Nível de pressão sonora (dB)

L_w – Nível de potência sonora (dB)

m – Absorção sonora do ar (m^{-1})

MNI - Museu Nacional da Islândia

MNSR – Museu Nacional Soares dos Reis

MS – Museu de Serralves

NC – *Noise Criterion*

NR – *Noise Rating*

NRC - *Noise Reduction Coefficient*

p – Pressão (Pa)

p_0 – Pressão de referencia (Pa)

Q – Coeficiente de direccionalidade

r – Raio (m)

R – “Constante R do local”

R – Redução sonora (dB)

RASTI – *Rapid Speech Transmission Index*

RF – Ruído de fundo (dB)

RGR – Regulamento Geral do Ruído

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios

S – Superfície (m^2)

STI – *Speech Transmission Index*

T – Temperatura ($^{\circ}C$)

T – Somatório do intervalo de tempo

TR – Tempo de reverberação (s)

$TR_{[500 - 1000 \text{ Hz}]}$ – Tempo de reverberação médio nas frequências 500 Hz e 1000 Hz

$TR_{[500 - 2000 \text{ Hz}]}$ – Tempo de reverberação médio nas frequências dos 500 Hz aos 2000 Hz

TR30 - Tempo de reverberação para um decaimento de 30 dB (s)

TS – Tempo central (ms)

V – Volume (m³)

w – coeficiente de ponderação

W – Potencia sonora (W)

W_0 – Potencia sonora de referência (W)

x - critério

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

As sociedades humanas conservam a sua memória coletiva, transmitindo-a às gerações seguintes através da palavra – as lendas, mitos e a própria história - bem como conservando objetos materiais considerados relevantes da sua evolução.

Essa conservação faz-se atualmente e maioritariamente em museus públicos onde além da sua preservação, é feita também a sua mostra ou divulgação.

Os Museus sofreram evolução desde a Antiguidade estando, sobretudo os de tipologia “tradicional”, instalados em edifícios que, pela sua história ou características arquitetónicas, são eles próprios obras de arte, verdadeiros documentos a serem preservados. Neste contexto de valorização do edifício remete-se, por vezes, para segundo plano certos aspetos do conforto do visitante ao museu, como por exemplo a acústica, que atualmente é abordada pela Engenharia através da “Acústica dos Edifícios”.

É importante, pois, para se obter o conforto apropriado a esses espaços, haver estudos sobre as suas condições acústicas quer sejam museus construídos de novo, quer nas adaptações de edifícios históricos tendo a preocupação, nestes casos, para que a solução técnica esteja de acordo com a sensibilidade da história e da arte do edifício.

O objeto de estudo nesta dissertação é a acústica em museus de tipologia “tradicional” sendo o caso de estudo o Museu Nacional Soares dos Reis, no Porto, instalado em edifício de interesse público.

O objetivo principal consiste em:

- Caracterizar acusticamente este tipo de museu recorrendo a parâmetros objetivos e com uma breve referência a parâmetros subjetivos.

Como objetivos secundários:

- Criar uma metodologia multicritério para quantificar a qualidade acústica de museus;
- Comparar com museus de tipologia “moderna”;
- Sugerir medidas de melhoria acústica para que o museu estudado seja o mais confortável possível.

Para essa análise foram realizados ensaios *in situ*, sendo eles o RASTI, o TR e medições de ruído de fundo. Foi também realizado um inquérito a uma amostra de visitantes.

Os resultados obtidos foram comparados com os valores considerados ideais para este tipo de museu e comparou-se também com os resultados obtidos no Museu de Serralves, no Porto, e Museu Nacional da Islândia considerados museus de tipologia “moderna”.

Espera-se que este estudo contribua para alertar para os benefícios que um espaço estudado acusticamente traz para o melhor aproveitamento do mesmo.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

A presente dissertação foi dividida em dez capítulos.

No primeiro capítulo faz-se a introdução da tese referindo o seu enquadramento, objetivos e estrutura.

No segundo capítulo introduz-se uma série de conceitos e definições referidos ao longo deste trabalho para a sua melhor compreensão.

O terceiro capítulo contém uma exposição sobre a evolução histórica dos museus, sobre a diferença entre os museus de tipologia “tradicional” e “moderna” e sobre a acústica dos museus, onde se inclui o Estado de Arte.

No quarto capítulo descreve-se o Museu Nacional Soares dos Reis, referindo-se à história do museu como instituição e à história do Palácio dos Carrancas (local onde atualmente se situa o museu).

No quinto capítulo, descreve-se os ensaios objetivos realizados bem como a análise dos resultados obtidos.

No sexto capítulo apresenta-se a análise e os resultados dos inquéritos realizados.

No sétimo capítulo, efetua-se a aplicação de uma análise multicritério para a caracterização acústica do museu em estudo.

No oitavo capítulo faz-se a comparação dos resultados obtidos, com o Museu de Serralves e do Museu Nacional da Islândia, considerados museus de tipologia “moderna”. Este capítulo contou com a colaboração do aluno Hélder Gonçalves, cujo tema de dissertação é “A Acústica de museus modernos – caso de estudo, o Museu de Serralves”, que amavelmente forneceu o resultado de seus estudos para comparação.

No nono capítulo são apresentadas propostas de possíveis intervenções para melhoria acústica do Museu Nacional Soares dos Reis.

Finalmente, no décimo capítulo apresentam-se as conclusões deste trabalho e indicam-se propostas de possíveis desenvolvimentos futuros a realizar neste tema.

2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. INTRODUÇÃO

O tema desta dissertação é “A Acústica de museus tradicionais” tendo por isso de se perceber o conceito de Acústica. Acústica é o ramo da física que analisa e estuda o som, incluindo a sua produção, transmissão e efeitos [1]. Por sua vez o som pode ser definido por qualquer variação de pressão que o ouvido humano consegue captar [2], sendo que a sua análise pode ser dividida em três grupos distintos: *Pressão*, *Frequência* e *Tempo*.

Atualmente a Acústica pode ser subdividida em várias áreas científicas e artísticas (Fig. 2.1).

No entanto, para este trabalho interessa apenas a subdivisão que está relacionada com os edifícios, a área da Acústica de Edifícios.

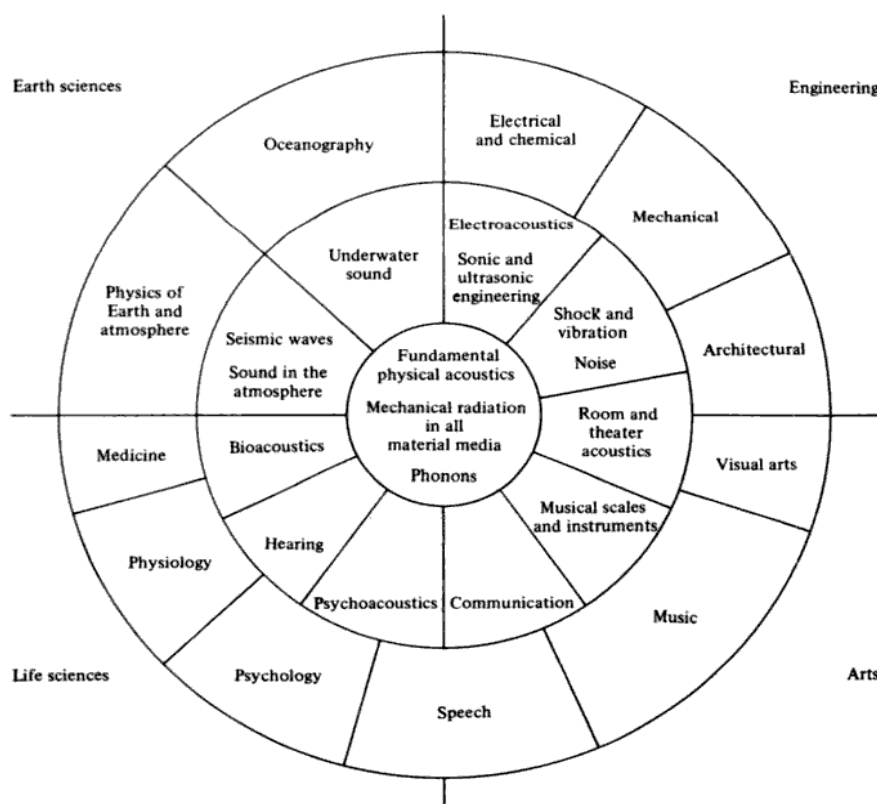


Fig. 2.1- Alcance e ramificações das diversas áreas de Acústica [1]

2.2. ANÁLISE DA PRESSÃO

2.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM NO AR

O som propaga-se no ar através da variação de pressão provocada por um estímulo que é transmitido às partículas vizinhas, criando ondas esféricas concêntricas de compressão seguidas de dilatação, até chegar cérebro através do sistema auditivo (Fig. 2.2). [3]

Isto resume-se então à necessidade de haver um emissor, um meio de propagação e um recetor para a existência de som.

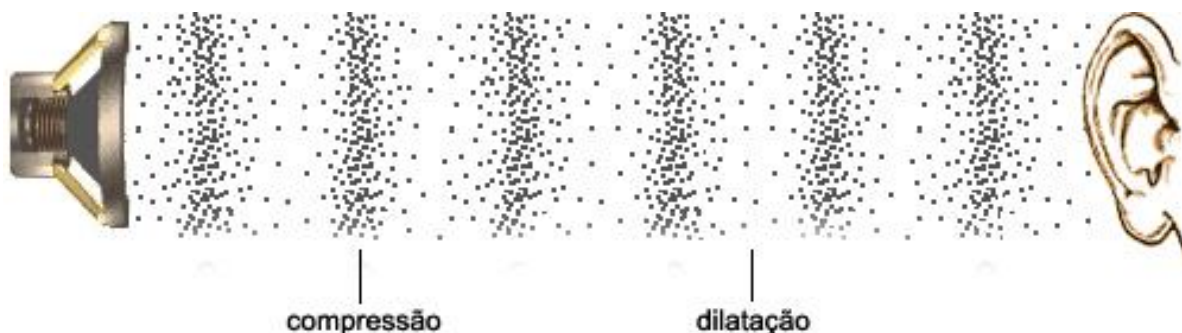


Fig. 2.2- Variações de pressão no ar perante um estímulo sonoro [4]

2.2.2. CELERIDADE

A celeridade é a velocidade de propagação das ondas sonoras num determinado meio [3], dependendo consequentemente das características desse meio. Como no caso em estudo o meio é o ar, a celeridade depende da temperatura:

$$c=20,045\sqrt{T} \quad (2.1)$$

Onde a celeridade é representada pela letra c e expressa em m/s, e a temperatura é representada por T expresso em graus kelvin (K).

Como normalmente a temperatura se expressa em graus centígrados ($^{\circ}\text{C}$), para se utilizar a fórmula anterior converte-se para essa unidade, ficando assim:

$$T \text{ (K)}=273,15+\theta(^{\circ}\text{C}) \quad (2.2)$$

2.2.3. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA

A intensidade sonora é a quantidade média de energia que atravessa por segundo uma área de 1 m^2 normal a uma dada direção, quantificando-se por isso em W/m^2 . Por essa razão pode-se avaliar a componente direcional do som se lhe for associada um campo vetorial.

A potência sonora é a energia total que atravessa uma esfera fictícia de raio qualquer centrado na fonte, quantificando-se assim em W . Ao contrário da intensidade e da pressão, a potência sonora é uma característica da fonte e não do estímulo criado por essa fonte. [3]

A pressão, a intensidade e potência sonora estão relacionadas entre si através da seguinte expressão:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c} \quad (2.3)$$

Onde I corresponde à intensidade, expressa em W/m^2 , W corresponde à potência sonora, expressa em watt, r corresponde ao raio da esfera, expresso em m, p corresponde à pressão, expressa em Pa, ρ corresponde à massa volúmica do ar, expressa em kg/m^3 e o c corresponde à celeridade, expressa em m/s (Fig. 2.3).

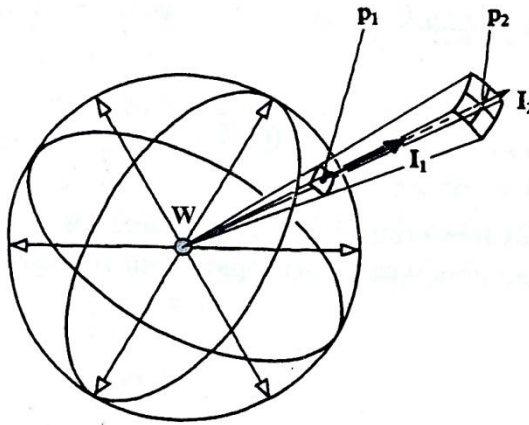


Fig. 2.3 – Interligação entre potência (W), intensidade (I) e pressão (p) [3]

2.2.4. NÍVEIS

O ouvido humano consegue captar variações de pressões compreendidas entre os 10^{-5} Pa (limiar da audição) e os 10^2 Pa (limiar da dor), o que perfaz uma variação de pressão de 10^7 Pa. Como a gama de valores é muito vasta numa escala linear em pascal, torna-se pouco prática a sua utilização, para além de que o ouvido humano não responde aos estímulos de uma forma linear mas sim de forma quase logarítmica. Dessa maneira, utiliza-se por norma uma outra unidade para caracterizar esta grandeza, o decibel, dB (Fig. 2.4), calculando-se a partir da fórmula:

$$L_p = 20 \times \log \frac{p}{p_0} \quad (2.4)$$

Sendo que L_p é o nível de pressão sonora, em dB, o p representa a variação de pressão verificada, em Pa e, o p_0 representa a pressão sonora de referência, correspondendo ao valor de 2×10^{-5} Pa.

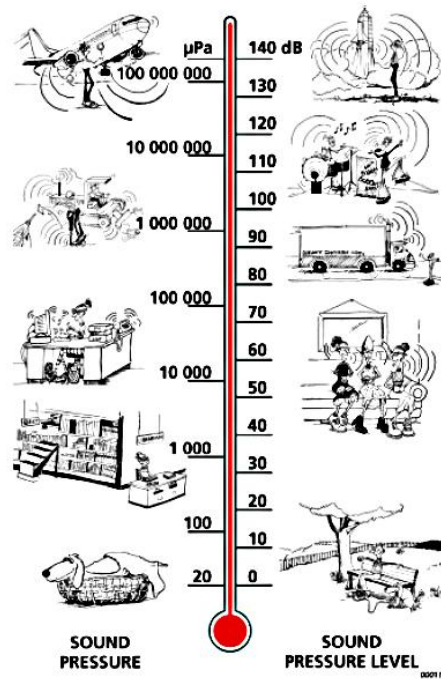


Fig. 2.4 – Relação entre Pressão sonora p e Níveis de pressão sonora L_p (com pressão sonora de referência de $20 \mu\text{Pa}$) [2]

Tal como a pressão, a intensidade e a potência sonora também podem ser caracterizadas por uma escala logarítmica tendo o dB como unidade:

$$L_I = 10 \times \log \frac{I}{I_0} \quad (2.5)$$

$$L_W = 10 \times \log \frac{W}{W_0} \quad (2.6)$$

Onde L_I e L_W são respetivamente os níveis de intensidade e da potência, ambos representados em dB, o I representa a intensidade verificada, o I_0 simboliza a intensidade de referência que corresponde ao valor de 10^{-12} W/m^2 , o W representa a potência do estímulo e finalmente o W_0 representa a potência sonora de referência correspondendo ao valor de 10^{-12} W . Os valores do L_I são sempre quase idênticos aos do L_p [3].

2.3. ANÁLISE DA FREQUÊNCIA

2.3.1. DEFINIÇÕES E UNIDADES

A frequência é o segundo domínio mais importante em termos de análise e caracterização de um estímulo sonoro. A unidade que lhe está associada é o hertz (Hz) que representa o número de ciclos completos de pressão por segundo.

Um humano, quando jovem e saudável, consegue ouvir sons entre os 20 e 20000 Hz, razão pela qual na Acústica de Edifícios se podem dividir os sons em três categorias: as baixas frequências, situada

entre os 20 e os 355 Hz; as médias frequências, compreendidas entre os 355 e 1400 Hz; e finalmente as altas frequências, entre os 1400 e 20000 Hz.

Um som só fica definido adequadamente se forem analisados em termos de pressão e frequência simultaneamente, representados por exemplo por um espectro sonoro e um oscilograma (Fig. 2.5). [3]

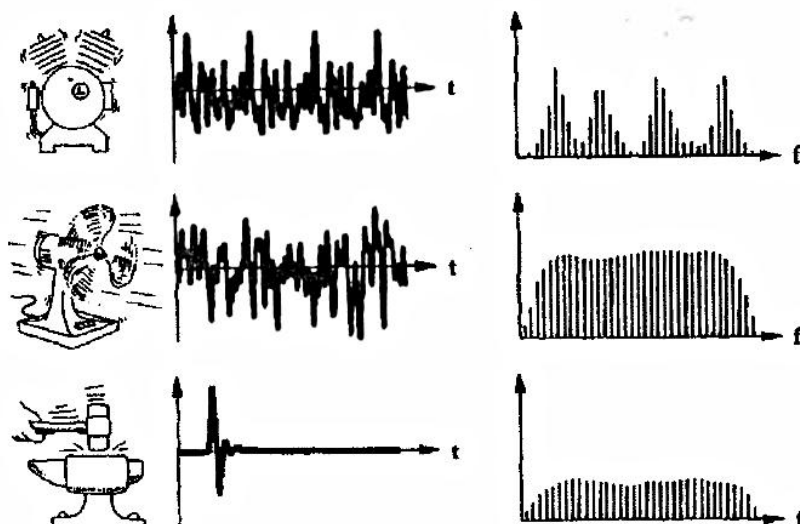


Fig. 2.5 – Oscilogramas (esq.) e Espectro sonoro (dir.) [3]

2.3.2. BANDAS DE FREQUÊNCIA

Como existem milhares de frequências, seria muito pouco prático analisá-las uma a uma, daí que normalmente elas sejam agrupadas por bandas de frequência com uma certa dimensão normalizada. Assim, uma banda de frequência é um agrupamento de frequências entre um limite inferior e superior, sendo o seu valor médio central o valor pela qual a frequência é denominada.

Existem bandas de frequência de diversas larguras, no entanto as mais utilizadas na Acústica de Edifícios são as bandas de 1/1 oitava e de 1/3 oitava. Os intervalos de 1/1 oitava normalizados e no domínio do audível são aquelas centradas em 16, 31, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Hz, enquanto as bandas de 1/3 oitava são as frequências centradas em 12, 16, 20, 25, 31, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000 Hz. [3]

2.3.3. CURVAS DE PONDERAÇÃO

A sensibilidade auditiva não é a mesma para toda a gama de frequências. O ser humano é mais sensível para as frequências na zona dos 2000 Hz (pertencente ao grupo das altas frequências) do que na das frequências abaixo dos 125 Hz (baixas frequências). Para além da frequência, a intensidade do som também é determinante para essa sensibilidade, como já foi dito anteriormente.

É deste modo que aparecem as curvas de igual percepção auditiva subjetiva, que são numericamente escalonadas com a unidade designada de *fone*. Cada curva é denominada conforme o valor de nível de pressão sonora que ela toma nos 1000 Hz (Fig. 2.6).

Deste modo, para traduzir esta característica do ouvido humano, é necessário corrigir a sensibilidade dos equipamentos para que estes assumam valores semelhantes ao ouvido. Com a introdução de filtros eletrónicos nos aparelhos de medida consegue-se obter essa correção. Surgem assim as curvas de ponderação (Fig. 2.7). A curva mais utilizada e aceite universalmente é a denominada de A, onde ela tenta corrigir os estímulos de fraca intensidade. As curvas B e C corrigem de forma semelhante mas para ruídos mais intensos, tendo o filtro B já caído em desuso. A curva D é apenas utilizada para ruídos de aviões. Para se identificar corretamente qual a curva de ponderação que se utilizou, coloca-se os níveis sonoros em termos de dB(A), dB(B), dB(C) e dB(D). Assim, um nível sonoro em dB(A) representa o nível global da energia acústica de um ruído filtrado por uma curva de ponderação tipo A e calcula-se adicionando algebricamente os valores de ponderação aos níveis de pressão sonora em cada frequência finalizando com a adição logarítmica de cada um dos valores obtidos. [3]

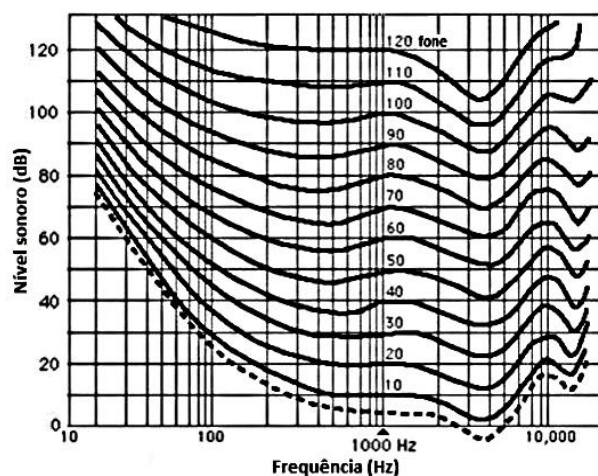


Fig. 2.6 – Curvas de igual sensibilidade auditiva (em fone) [5]

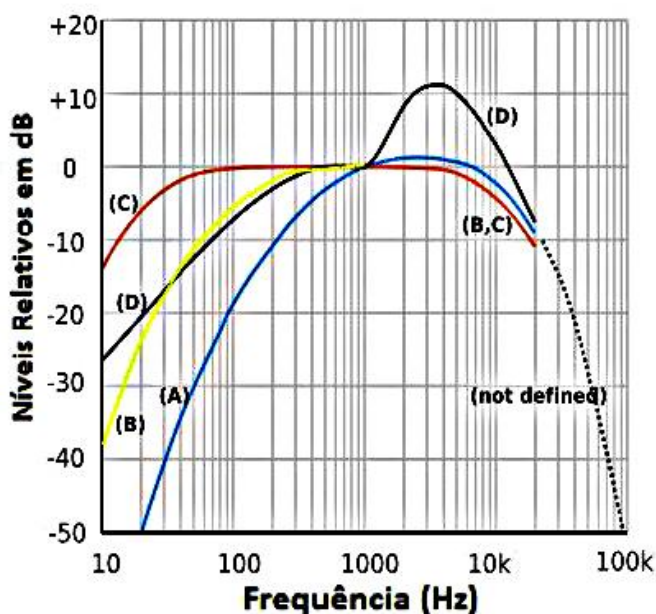


Fig. 2.7 – Descrição das curvas de ponderação (filtros) A, B, C, D [6]

2.3.4. COMPRIMENTO DE ONDA

O comprimento de onda é a característica das ondas sonoras que traduz o seu tamanho, uma vez que representa a distância entre dois pontos idênticos consecutivos de uma onda periódica.

Consegue-se assim então definir o comprimento de onda, λ (expressa em m), através da fórmula que relaciona a celeridade, c (em m/s), com a frequência, f (em Hz) (Fig. 2.8):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.7)$$



Fig. 2.8 – Relação do comprimento de onda (λ) com a frequência

Um dos aspetos importantes da influência do comprimento das ondas sonoras é o seu comportamento perante obstáculos. Se a dimensão do obstáculo for bastante maior do que o comprimento de onda, é gerada então uma zona de sombra por detrás do obstáculo. No entanto se acontecer o contrário a onda consegue passar por ele, tornando-o assim desprezável. [3]

2.4. ANÁLISE NO TEMPO

2.4.1. DEFINIÇÕES

A análise temporal é o terceiro domínio a ter em conta na caracterização das ondas sonoras. Esta análise tem em conta a instabilidade temporal que os níveis de pressão sonora da maior parte dos ruídos estão sujeitos. Eles também podem ter durações instantâneas, como relâmpagos e disparos, ou durações quase infinitas como as quedas de água. Perante esta situação onde se pode ter grandes variações dos níveis de pressão sonora (como por exemplo numa sala de aula onde os níveis de pressão sonora podem variar de 95 dB até aos 25 dB, quando a sala está em silêncio), é necessário recorrer a parâmetros energéticos e/ou estatísticos para conseguir atribuir um único valor aos acontecimentos acústicos num dado intervalo de tempo, para assim se poder avaliá-lo. [3]

2.4.2. PARÂMETROS ENERGÉTICOS

O parâmetro energético mais utilizado é o nível de pressão sonora equivalente, L_{eq} , que é definido como o nível que existiria se um ruído atuasse constante num dado intervalo de tempo produzindo a mesma energia que o ruído que se pretende avaliar.

Para se calcular o L_{eq} utiliza-se a seguinte expressão:

$$L_{eq} = 10 \times \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (2.8)$$

Onde o T traduz o intervalo de tempo que se pretende avaliar. [3]

2.4.3. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Os parâmetros estatísticos estão associados a quantis de densidade de probabilidade. Pode-se definir assim L_N como sendo o nível que um dado intervalo de tempo é excedido em N% da duração desse intervalo (corresponde à marca do quantil N). Em Portugal os parâmetros mais utilizados eram o L_{95} e o L_{50} , uma vez que a regulamentação antiga assim o exigia. No entanto com a entrada do RGR 2007 e do RRAE estes parâmetros já não entram na legislação por substituição dos parâmetros energéticos, contudo ainda são utilizados em alguma legislação internacional.

Na Fig. 2.9 pode-se verificar as diferenças entre os descritores L_{eq} , L_{50} e L_{95} , sendo que a diferença entre o L_{eq} e L_{50} é que um é a média e outro a mediana. [3]

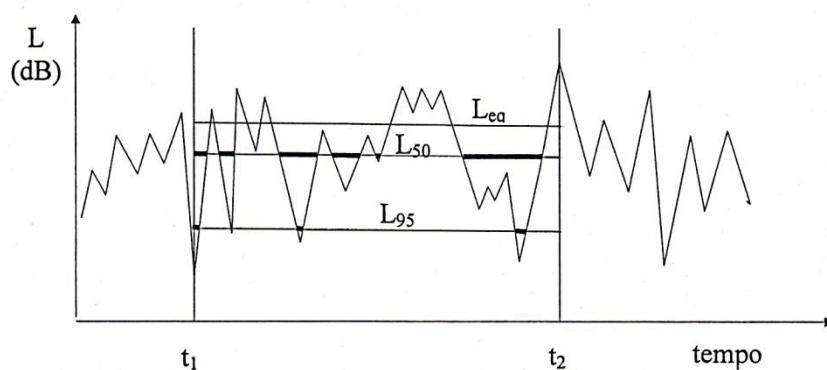


Fig. 2.9 – Diferenças entre L_{50} , L_{95} e o L_{eq} [3]

2.5. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

2.5.1. ABSORÇÃO SONORA

A absorção sonora é a propriedade que os materiais têm de conseguir transformar parte da energia sonora que neles incide noutros tipos de energia (geralmente térmica). Para se conseguir quantificar esta propriedade utiliza-se normalmente o coeficiente de absorção sonora. O coeficiente de absorção sonora, α , é a razão entre a quantidade de energia sonora que é absorvida por um material e a energia que nele incide. Toma valores entre 0 e 1, sendo que quanto mais absorvente um material for, mais o valor se aproxima de 1. Por vezes o α toma valores irrealistas um pouco maiores que 1, no entanto isso deve-se apenas à metodologia utilizada para a sua determinação experimental.

$$\alpha = \frac{E_{absorvida}}{E_{incidente}} \quad (2.9)$$

O valor deste coeficiente também varia com o ângulo de incidência e a frequência do som. Para tentar

conciliar os variados valores para cada frequência, existem parâmetros que os traduzem num só valor. Um deles é o NRC (*Noise Reduction Coefficient*), utilizado por exemplo nos EUA e Canadá, que é a média aritmética dos valores de α para as frequências de bandas de oitava dos 250, 500, 1000 e 2000 Hz. O parâmetro utilizado em Portugal é o α_w , que segundo a norma EN ISO 11654, calcula-se ajustando uma curva de referência usando as bandas de frequência dos 250 aos 4000 Hz. Para os determinar traça-se a curva dos valores de α por banda de frequência e determina-se a soma dos desvios positivos entre uma curva de referência móvel (Fig. 2.10) e os valores reais. O valor de α_w é obtido para os 500 Hz na curva ajustada de modo a que a soma dos desvios positivos seja a mais elevada possível sem ultrapassar os 0,10 (em múltiplos de 0,05). Acrescenta-se uma letra sempre que o coeficiente de absorção medido exceda o do valor de referência em 0,25 ou mais. É classificado como baixo (L), médio (M) ou alto (H) conforme essa condição se verifique nas bandas 250/500 Hz, 1000/2000 Hz e 2000/4000 Hz, respetivamente. Esta norma também refere a atribuição de classes de absorção sonora: A ($\alpha_w \geq 0,90$), B ($0,80 \leq \alpha_w \leq 0,85$), C ($0,60 \leq \alpha_w \leq 0,75$), D ($0,30 \leq \alpha_w \leq 0,55$), E ($0,15 \leq \alpha_w \leq 0,25$) e não classificado ($\alpha_w \leq 0,10$). [3]

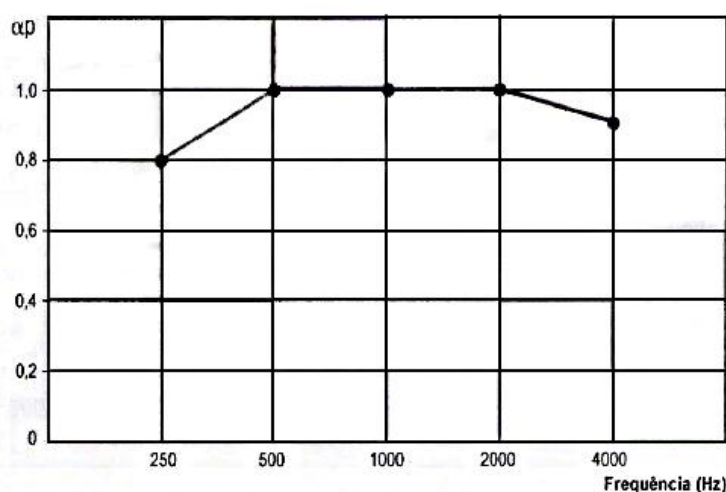


Fig. 2.10 – Curva de referência para determinação do α_w [7]

2.5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Num compartimento, as ondas sonoras recebidas por um recetor podem ser de duas origens: direta e refletida. Tal como indica o nome, as ondas diretas são aquelas que o destinatário recebe diretamente após um percurso em linha reta desde o emissor; as refletidas são aquelas que o recetor capta depois de as ondas terem sido refletidas numa ou mais superfícies do compartimento. As primeiras ondas a chegar ao recetor são as diretas, seguidas das refletidas que vão chegando sucessivamente até ficarem mais fracas (Fig. 2.11). De uma forma simples chama-se tempo de reverberação ao intervalo de tempo que demora um som a decair 60 dB (ou de uma forma mais prática, deixar de ser ouvido) a partir do momento em que deixa de ser emitido. Em termos práticos é difícil medir um decaimento de 60 dB devido ao ruído de fundo que se sobrepõe, daí que por norma se avalia o tempo que o som demora a decair 30 dB (ou em alguns casos 20 dB) e depois extrapola-se os resultados (Fig. 2.12). A duração do tempo de reverberação tem dois efeitos associados, por um lado aumenta o nível sonoro, o que é um resultado positivo, mas por outro lado mascara os sons diretos, que é uma consequência negativa. No entanto, dependendo da utilização destinada ao compartimento, conforme seja para a palavra ou para a música, esse mascarar de sons pode ser mais ou menos prejudicial.

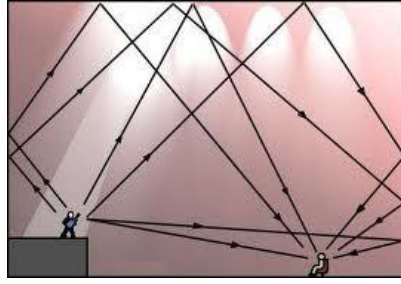


Fig. 2.11 – Esquema de reflexão de ondas sonoras num compartimento [8]

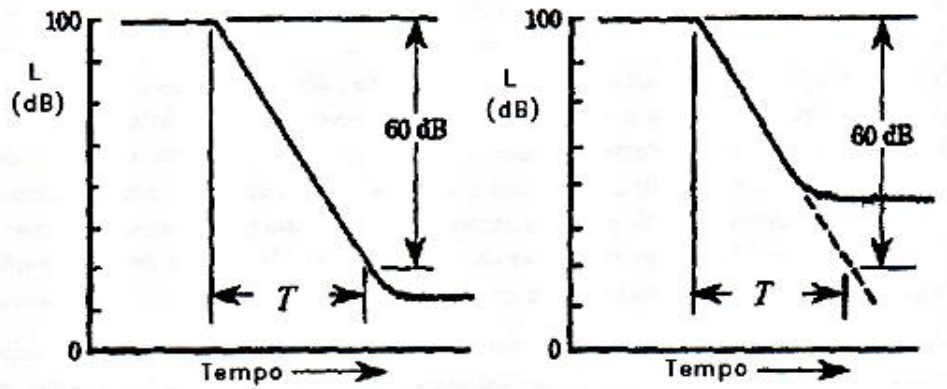


Fig. 2.12 – Tempo de Reverberação teórico (esq.) e obtido por extrapolação (dir.) [3]

O tempo de reverberação, TR , pode ser previsto recorrendo a fórmulas que relacionam o tempo de reverberação, o volume, V (em m^3), e a absorção sonora, A (em m^2). A primeira pessoa a conseguir relacionar estes parâmetros foi Sabine, tendo a fórmula sido chamada com o seu nome.

$$TR = \frac{0,16 \times V}{A} \quad (2.10)$$

Sendo a sua formulação mais genérica:

$$TR = \frac{0,16 \times V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i \times S_i + \sum_{j=1}^M A_j + m \times V} \quad (2.11)$$

Onde a primeira parcela do denominador diz respeito à absorção sonora do compartimento, a segunda parcela tem a ver com as absorções localizadas, como pessoas, e a última parcela exprime a interferência do ar, com m (expressa em m^{-1}) a significar a absorção sonora relativa do ar em função da humidade relativa.

Com o passar dos anos foi possível refinar melhor essa fórmula para ser adaptada às diversas condições existentes. A fórmula de Sabine só permitia obter resultados muito próximos da realidade para compartimentos com campos sonoros difusos e com coeficientes de reverberação médios inferiores a 0,2. [3]

2.5.3. CAMPO DIRETO E CAMPO REVERBERADO

Como já foi dito anteriormente as ondas recebidas num compartimento têm duas origens: diretas e refletidas. Existem assim dois campos sonoros: o campo direto (com origem nas ondas diretas) e o campo reverberado (com origem nas ondas refletidas). Assim, num compartimento existe uma área mais próxima da fonte onde o campo é essencialmente direto, e uma zona mais afastada onde há a predominância do campo reverberado, dependendo este último da absorção sonora da sala (Fig. 2.13).

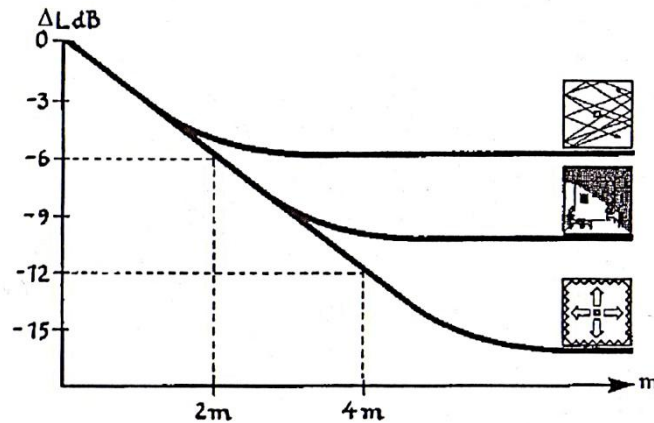


Fig. 2.13 – Exemplo de campo direto (linha descendente) e campo reverberado (linhas horizontais) [3]

Existe uma fórmula para determinar o nível de intensidade sonora (ou nível de pressão sonora visto que estes dois valores são quase sempre iguais) numa sala, relacionando-a com o nível de potência sonora e os campos direto e reverberado:

$$L_I = L_W + 10 \times \log \left(\frac{Q}{4 \times \pi \times r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (2.12)$$

Onde a primeira parcela do logaritmo diz respeito ao campo direto com Q a representar o coeficiente de direccionalidade da fonte sonora e r a indicar a distância entre a fonte e o recetor (expressa em m) e a segunda parcela do logaritmo diz respeito ao campo reverberado sendo R (expresso em m^2) uma constante do local igual à razão da absorção sonora sobre a diferença da unidade e o coeficiente de absorção médio, $\alpha_{\text{médio}}$. [3]

2.5.4. RUÍDO DE FUNDO

Segundo a definição da Comissão Económica Europeia [CEE 1977], considera-se que o ruído seja o “conjunto de sons suscetíveis de adquirir para o homem um carácter afetivo desagradável e/ou intolerável, devido sobretudo aos incómodos, à fadiga, à perturbação e não à dor que pode produzir”. Ou seja, o ruído é todo o som que é desagradável ou sem significado para o ouvinte.

Em Acústica de Edifícios o ruído de fundo é o ruído resultante das atividades envolventes que mascara os sons que o recetor pretende ouvir. Essas atividades podem ser exteriores como o tráfego rodoviário, ferroviário ou aéreo, obras, etc., ou podem ser atividades interiores como os sistemas AVAC, as canalizações, circulação de pessoas, elevadores, etc. [3]

2.5.5. CURVAS DE INCOMODIDADE

A avaliação de um compartimento face ao ruído de fundo estável e contínuo provocado, por exemplo, por equipamentos pode ser feita através de um método de aplicação de curvas de incomodidade. Exemplos de curvas de incomodidade são o NC (*Noise Criterion*), o NR (*Noise Rating*), o RC (*Room Criterion*) e o NCB (*Balance Noise Criterion*), sendo provavelmente os dois primeiros os mais utilizados.

As curvas NC foram propostas em 1957 por Leo Beranek e são definidas pelos seus níveis de pressão sonora para as bandas de oitava dos 63 aos 8000 Hz. O valor da sua classificação corresponde ao valor mínimo das curvas de incomodidade que não é excedida quando comparada com os valores dos níveis de pressão verificados (método da tangente) (Fig. 2.14). As curvas NR foram propostas em 1962 por Kosten & Van e a sua definição e classificação são idênticas às curvas NC com a exceção de que a banda de frequência utilizada é dos 32 aos 8000 Hz (Fig. 2.14).

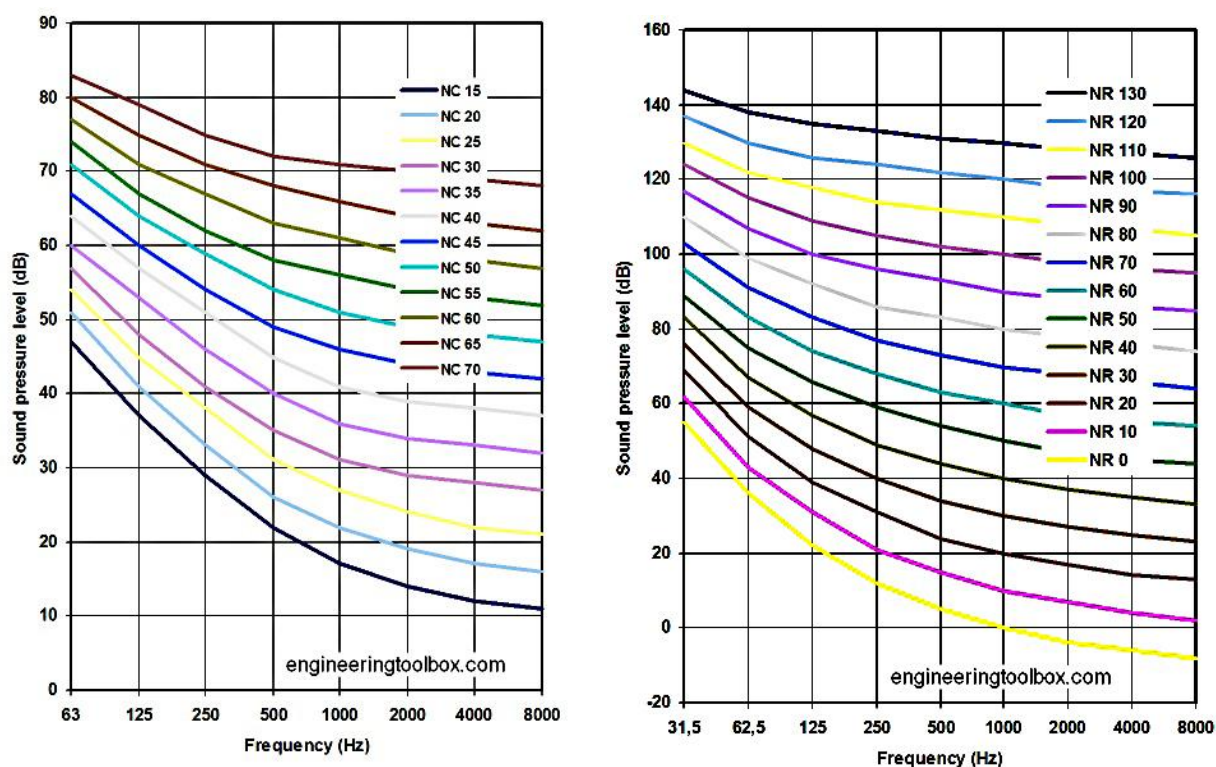


Fig. 2.14 – Curvas NC (esq.) [9] e NR (dir.) [10]

2.5.6. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

A inteligibilidade da palavra é a facilidade ou dificuldade que uma pessoa tem em entender uma palavra pronunciada num espaço. Este parâmetro é relevante em espaços onde a compreensão da palavra é importante.

Tem-se então de perceber como funciona a palavra para se conseguir conceber espaços onde ela seja perceptível. As palavras são compostas por vogais e consoantes, sendo estas últimas as que permitem ao ser humano ter um vasto campo lexical. As vogais e as consoantes, quando vocalizadas, têm

características diferentes. Enquanto as vogais são emitidas em baixas frequências, com elevada intensidade e têm uma duração aproximada de 90 ms; as consoantes são emitidas em altas frequências, com baixa intensidade e têm uma duração aproximada de 20 ms.

Para a boa inteligibilidade da palavra o tempo de reverberação tem que ser baixo, caso contrário, devido à baixa intensidade e curto tempo de duração das consoantes, estas seriam mascaradas por possíveis vogais que as antecedessem, e a palavra ficaria distorcida, podendo não se chegar a perceber (Fig. 2.15). [3]

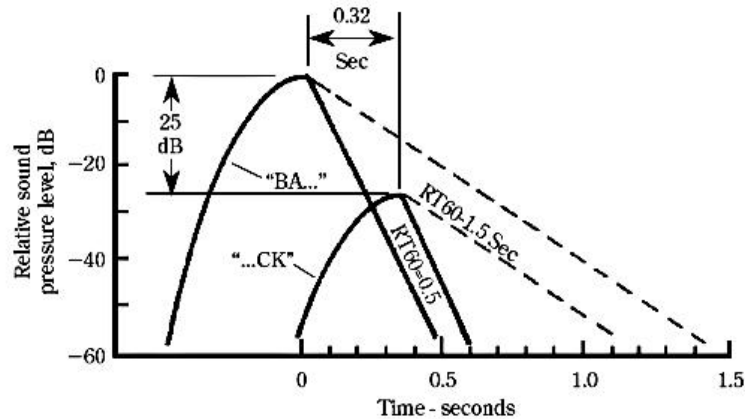


Fig. 2.15 – Efeito na inteligibilidade da palavra *back* em dois cenários de tempo de reverberação (0,5 s e 1,5 s a tracejado) [3]

2.6. OUTROS PARÂMETROS ACÚSTICOS

2.6.1. TEMPO DE DECAIMENTO CURTO (EDT)

O tempo de decaimento curto (EDT – *Early Decay Time*) é o tempo que o som demora a decair 60 dB. Este parâmetro foi proposto por Jordan e é semelhante ao tempo de reverberação só que em vez de ser medido um decaimento de 30 ou 20 dB e depois extrapolado, é antes medido um enfraquecimento de 10 dB (de 0 a -10 dB) e depois multiplicado por um fator de 6. [3]

2.6.2. DEFINIÇÃO (D_{50})

A definição, D_{50} , é um parâmetro proposto em 1953 por Thiele e que matematicamente é a razão entre a energia recebida nos primeiros 50 ms e a energia total recebida (Eq. 2.13). Utiliza-se 50 ms pois este tempo é normalmente associado ao limite de percepção da palavra. O valor de D_{50} está compreendido entre 0 e 100%, sendo que quanto maior o seu valor maior é a capacidade de distinguir cada sílaba. Consideram-se valores aceitáveis os que estão acima de 50%. [3]

$$D = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.13)$$

2.6.3. RASTI

O RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) é um método simplificado de calcular o STI (*Speech Transmission Index*). O seu valor varia entre 0, nula inteligibilidade, e 1, ótima inteligibilidade. Para se fazer a sua medição utiliza-se um equipamento constituído por um emissor e recetor e a sua metodologia será melhor descrita no Capítulo 5.

2.7. CORREÇÃO ACÚSTICA E ISOLAMENTO SONORO

2.7.1. CORREÇÃO ACÚSTICA

Na Acústica de Edifícios há duas áreas de análise a distinguir, o isolamento sonoro e a correção acústica. A correção acústica tem em consideração o tratamento de um compartimento para que o som aí emitido tenha qualidade acústica.

Quando um som é emitido para um recetor, este recebe ondas sonoras quer vindas diretamente da fonte quer refletidas nas superfícies do compartimento. Logo, se o objetivo é melhorar a sala acusticamente, deve-se então intervir nestas últimas ondas, pois são elas as grandes responsáveis, na maior parte dos casos, pela má prestação acústica desse espaço. Então, para reduzir o impacto negativo das ondas refletidas deve-se alterar as características das superfícies do compartimento. É aqui que entra o conceito, atrás referido, de absorção sonora. Existem materiais e sistemas absorventes que evitam alguma da propagação das ondas aí incidentes. Estes materiais podem-se dividir em três categorias: os materiais porosos e fibrosos, que atuam predominante nas altas frequências; os ressoadores, que atuam predominantemente nas médias frequências; e as membranas ou membranas ressonantes, que atuam principalmente nas baixas frequências (Fig. 2.16).

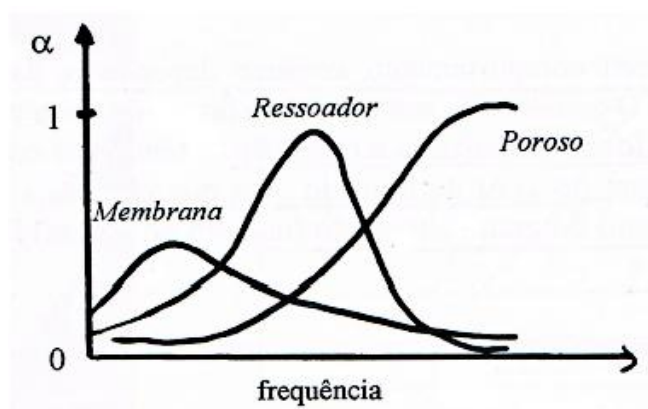


Fig. 2.16 – Comportamento em frequência dos três tipos de materiais e sistemas absorventes [3]

Nos materiais porosos e fibrosos, o mecanismo de absorção sonora baseia-se na existência de poros e interstícios, que, quando as ondas lá incidem transferem parte da sua energia no movimento das fibras que resistem por fricção entre elas, transformando-o em calor. A absorção sonora do material depende da sua densidade e espessura. Se as fibras estiverem muito soltas há pouca transferência de energia sob a forma de calor, e o contrário, se as fibras estiverem muito juntas não haverá penetração do som no material, não criando o movimento essencial para a transformação de energia. Os materiais porosos e fibrosos podem-se agrupar em diversos grupos conforme as suas características físicas: tecido e alcatifas, massas porosas para projeção, aglomerados de fibras de madeira, fibras minerais em

mantas e painéis, materiais plásticos como o poliuretano e poliestireno expandidos e aglomerados de cortiça.

Os ressoadores podem ser divididos em ressoadores isolados e agrupados. Os ressoadores isolados também chamados de ressoadores de cavidade ou ressoadores de Helmholtz, já foram utilizados na Antiguidade pelos romanos nos seus anfiteatros e continuaram a ser utilizados na Idade Média em igrejas. Este sistema é constituído por uma cavidade de parede rígidas, tendo uma única abertura estreita. O ar no gargalo é colocado em vibração, de modo idêntico ao que acontece num sistema mecânico massa/mola (sendo a massa em movimento o ar contido no gargalo e a mola o ar existente no volume interior) (Fig. 2.17). Consegue-se aumentar a zona de frequências eficazes na absorção com a colocação de material absorvente no volume interior do ressoador. No entanto, com a aplicação desta medida, perde-se amplitude de absorção.

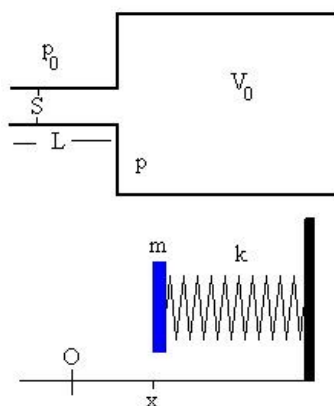


Fig. 2.17 – Representação esquemática dum ressoador de Helmholtz com analogia do sistema massa/mola envolvido no processo de atenuação de ondas refletidas [11]

Os ressoadores agrupados, os mais usados neste tipo de sistema, são normalmente constituídos por painéis perfurados metálicos ou de madeira e são usualmente colocados em tetos suspensos ou paredes. A absorção sonora aumenta de eficácia com o aumento da taxa de furação, sendo que atinge o seu máximo para cerca de 25% de perfuração, controlado a partir desse valor pela porosidade do material absorvente.

As membranas ou membranas ressonantes ou até painéis vibrantes, são sistemas que funcionam graças à absorção das ondas sonoras de baixas frequências pela vibração de toda a estrutura, que é constituída por grandes áreas de painéis de pequena espessura, fazendo, por fricção nas suas fibras, com que seja transformado em calor, quando o material entra em flexão. O sistema dissipa a energia para a frequência do som incidente que corresponde à sua frequência natural de vibração. [3]

2.7.2. ISOLAMENTO SONORO

O isolamento sonoro tenta tratar um compartimento para que o som aí produzido não se ouça nos locais contíguos e/ou vice-versa. Os ruídos que passam de um compartimento para o outro podem ser de duas naturezas: aéreos e/ou de percussão. Os ruídos aéreos são transmitidos por vibração do ar, enquanto os de percussão são irradiados pelos elementos de construção através de uma solicitação mecânica, sendo estes últimos os que mais se propagam por todo o edifício (Fig. 2.18).

Os ruídos aéreos através de um elemento construtivo dependem principalmente da massa e/ou existência da duplicação desse elemento.

O parâmetro para caracterizar o isolamento sonoro dos ruídos aéreos é a redução sonora, R , expressa em dB:

$$R = 10 \times \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad (2.14)$$

Onde τ representa o coeficiente de transmissão que é definido pela razão da energia sonora transmitida sobre a incidente.

No caso dos ruídos de percussão, a sua origem pode ser dividida em dois grupos: os de origem estática, como ventoinhas, ar condicionados, máquinas de lavar e os de origem de impacto, como o bater das portas, martelar, quedas de objetos.

Os ruídos de percussão, ao contrário dos aéreos, não são solucionados pela adição de massa do elemento, mas sim pela descontinuidade entre a fonte e o recetor. Existem três grandes áreas de intervenção para tratar este tipo de ruído: na fonte, no caminho de transmissão e perto do recetor. Os mecanismos para evitar a propagação na fonte passam por: colocar a fonte de vibração afastada da área onde baixos níveis sonoros são desejados, reduzir a potência da fonte de vibração, providenciar isolamento à vibração entre a fonte e a estrutura, reduzir a velocidade das massas de impacto, dar rigidez à estrutura nos pontos de excitação, etc. Os mecanismos para reduzir a propagação no caminho de transmissão são: isolar o elemento de vibração de áreas onde são desejados baixos níveis sonoros, separação dinâmica de componentes por camadas resilientes, aplicar tratamento para aumento do amortecimento na estrutura que transmite a vibração. Finalmente, os mecanismos para evitar a transmissão perto do recetor são: cobrir as superfícies radiantes com materiais resilientes com, por exemplo, tetos suspensos, reduzir as vibrações de superfície que radiam som por aplicação de capas de amortecimento.

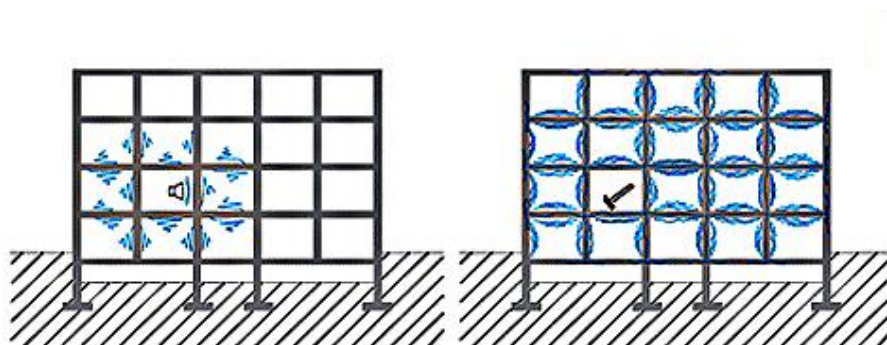


Fig. 2.18 – Esquema de situações de transmissão de ruídos aéreos (esq.) e de percussão (dir.) [12]

3 MUSEUS

3.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

De acordo com o ICOM - Conselho Internacional de Museus, o museu é uma instituição permanente sem fins lucrativos, a serviço da sociedade e do seu desenvolvimento, aberta ao público e que adquire, conserva, investiga, difunde e expõe o património tangível e intangível da humanidade e de tudo que a rodeia, para educação, estudo e deleite da sociedade. [13]

Desde o Paleolítico que o homem mostra indícios de tendência de colecionar artefactos, demonstrado quando foram encontrados alguns nas câmaras funerárias. No entanto o desenvolvimento da ideia de museu ocorre no princípio do segundo milénio antes de Cristo na Mesopotâmia, onde cópias de antigas inscrições foram reproduzidas para ensino nas escolas daquela altura. Existem também evidências arqueológicas de que no séc. VI a.C. em Ur, havia uma coleção de antiguidades com uma lápide que descrevia inscrições mais antigas em tijolo, o que poderá ser considerado como uma etiqueta de museu. [14]

Porém a palavra museu provém do grego *mouseion* (*μουσείον*) que era o nome do templo das Musas que existia no Hélicon, em Atenas, onde se presenteavam tesouros e oferendas à divindade [15]. No período clássico nem o império grego nem o império romano têm exemplos de museus tal como hoje são conhecidos. Havia câmaras especiais nos templos, abertos ao público, mediante o pagamento de uma taxa, que incluíam obras de arte, curiosidades naturais, como itens exóticos vindos dos territórios mais longínquos do império, mas eram principalmente provisões religiosas. [14]

Na Europa Medieval, as coleções pertenciam principalmente a casas nobres e à Igreja onde tinham grande importância económica e eram utilizadas para financiar guerras e outras despesas do estado. Outras coleções transformaram-se, alegadamente, em relíquias da Cristandade. Devido ao reaparecimento do interesse pelo património clássico nos finais do séc. XIII, auxiliado pela ascensão de novas famílias de comerciantes e bancárias, conseguiu-se formar coleções impressionantes de antiguidades na Europa. A coleção mais impressionante foi formada e desenvolvida pela família Medici (Florença), que mais tarde, em 1743, foi doada ao povo de Toscana e a todas as nações. Antes do séc. XVII o interesse pela história humana e natural levou à criação de muitas coleções especializadas pela *intelligentsia* da altura. Também foi neste período que surgiram as primeiras sociedades científicas que acabaram por criar as suas próprias coleções. São exemplo dessas sociedades a Academia do Cimento em Florença (1657), a Real Sociedade de Londres (1660) (Fig. 3.1) e a Academia de Ciências de Paris (1666) (Fig. 3.2). [14]



Figs. 3.1 e 3.2 – Real Sociedade de Londres [16] (esq.) e Academia de Ciências de Paris [17] (dir.)

Os museus públicos começam então a surgir devido ao espírito quase de sofreguidão de conhecimento que se fazia sentir na Europa. O Museu de Ashmolean (Fig. 3.3), criado pela Universidade de Oxford em 1683, é considerado o primeiro museu tal como é conhecido nos dias de hoje, um órgão público para o benefício público. Foi baseado pelas coleções ecléticas de várias partes do mundo, reunidas pela família Tradescant, as quais já tinham sido expostas ao público na sua casa em Londres. Juntam-se também neste período inicial, dois outros museus famosos, o Museu Britânico, aberto em Londres em 1759, e o Museu do Louvre em 1793, ambos iniciativas do governo (Figs. 3.4 e 3.5). A partir daí um pouco por todo o mundo começaram a existir sociedades instruídas a organizar os seus museus públicos.



Figs. 3.3, 3.4 e 3.5 – Museu de Ashmolean [18] (esq.), Museu Britânico [19] (centro) e Museu do Louvre [Foto da autora] (dir.)

No séc. XIX, continua a crescer o reconhecimento dos museus na consciencialização e identidade nacional, uma vez que começam a ser reconhecidos como instituições apropriadas para preservar o património histórico nacional. Com isto começam a surgir os museus nacionais, como o Museu Nacional de Budapeste em 1802 e o Museu Nacional de Praga em 1818.[14]

Em Portugal o primeiro museu público foi o Museu Nacional Soares dos Reis em 1833, que na altura se chamava Museu Portuense de Pinturas e Estampas, museu esse que é caso de estudo desta dissertação (Capítulo 4).

Em meados do séc. XX há uma crise concetual nos museus, onde se criticam o carácter aristocrático e conservador das instituições, o que leva a um aprofundamento científico da definição e das potencialidades de atuação ativa, interdisciplinar e educativa dos museus. Chega-se à era contemporânea dos museus. [20]

Hoje em dia a definição de museu é um pouco complexa e cria muita discórdia, pelo que aquela acordada pelo ICOM é sempre um bom ponto de partida.

3.2. MUSEUS “TRADICIONAIS” VS. MUSEUS “MODERNOS”

Esta dissertação tem como tema a “Acústica de museus tradicionais” sendo necessário, assim, entender o seu conceito, bem como perceber o que os distingue dos de tipologia dita “moderna”.

A palavra tradicional conota para algo antigo, de tempos passados, o que significa que ao falar de museus remonta-se para os museus que antecedem a revolução ideológica do séc. XX. Assim, quando se refere a museus de tipologia “tradicional”, está-se a mencionar museus que estão albergados em edifícios datados até meados do séc. XX. Muitos desses museus estão em edifícios que não foram previamente pensados para tal atividade. É usual encontrar museus que foram em tempos, por exemplo, antigos palácios. Um bom exemplo é o museu desta dissertação, que está sediado no antigo Palácio dos Carrancas.

Em termos arquitetónicos, ao associarmos os edifícios dos museus até ao séc. XX, podemos falar em estilos que vão desde o renascentista (Museu do Vaticano (Fig. 3.6)), passando pelo neoclássico (Museu Nacional Húngaro (Fig. 3.7)) e o ecletismo (Museu Metropolitano de Arte, em Nova Iorque (Fig. 3.8)).



Figs. 3.6, 3.7 e 3.8 – Museu do Vaticano [21] (esq.) Museu Nacional Húngaro [22] (centro) e Museu Metropolitano de Arte em N.Y. [23] (dir.)

Passando para os museus de tipologia “moderna”, entra-se noutro tipo de pensamento. A palavra moderno conota para algo recente, novo, distinto do anterior, diferente do tradicional, que ao passar para museus, remonta para datas posteriores a meados do séc. XX. Em meados do séc. XX, a revolução ideológica quis fugir aos modelos que até então estavam em vigor. A era contemporânea abala toda a mentalidade da época. São agora edifícios construídos e pensados, de raiz, para museu.

Em termos arquitetónicos estamos perante estilos desde o moderno (Museu de Arte Moderna e Museu Solomon R. Guggenheim, ambos em Nova Iorque (Figs. 3.9 e 3.10)) até ao contemporâneo (Museu de Serralves, no Porto (Fig. 3.11)), onde as linhas são irregulares e heterógenas, fugindo às regras que eram até então impostas.



Figs. 3.9, 3.10 e 3.11 – Museu de Arte Moderna em N.Y [24] (esq.), Museu Solomon R. Guggenheim [25] em N.Y. (centro) e Museu de Serralves no Porto [26] (dir.)

3.3. ACÚSTICA NOS MUSEUS

3.3.1. INTRODUÇÃO

O aspeto mais focado nos museus tem sido a perceção visual. Desde as coleções expostas até à própria arquitetura do edifício, o efeito visual é o que tem prevalecido. Para a acústica isso torna-se um problema, principalmente porque normalmente os museus têm salas com grandes volumes, muito espaçosas, os tetos por vezes são côncavos e as superfícies das salas são de materiais bastante refletores, como mármore. Na época em que muitos dos grandes museus foram construídos, principalmente antes do séc. XX, a acústica de edifícios ainda estava a dar os seus primeiros passos, por isso é natural que este aspeto fosse afastado na sua construção. Isso leva a que nos dias de hoje o importante seja corrigir os erros acústicos que os museus acarretam sem destruir a imponência visual que eles possuem.

3.3.2. ESTADO DE ARTE

A acústica de museus é um tema que conta com poucos trabalhos publicados apesar de alguns museus já terem sofrido alterações com vista a melhorar os seus desempenhos acústicos.

Em 1998 num artigo de Michael Stocker na revista *Exhibit Builder* retrata-se como localizar, isolar e difundir o ruído nos museus pode melhorar o ambiente acústico. Neste artigo, Stocker dá sugestões gerais de como melhorar acusticamente museus, dividindo-as em três tópicos: localizar as fontes sonoras, isolar áreas de ruído e difundir o ruído nas salas. [27]

Em 2003, num Congresso da ASA em Nashville, houve apresentações que focaram os problemas acústicos nos museus, onde se tentava conciliar a arquitetura com a acústica. A apresentação de Mark Reber, intitulada “Preocupações acústicas em termos de arquitetura e engenharia na fase construção de museus e exposições”, reflete sobre a importância da existência de articulação entre as equipas de

construção do museu e as equipas que compõe as exposições do mesmo, logo na sua conceção. Refere que se deve dar especial atenção aos museus com programas multimédias intensivos, de maneira a assegurar que a experiência sentida durante a exposição seja a desejada. Deu também alguns exemplos de casos de estudo de museus que, devido à sua arquitetura, não tinham uma acústica apropriada à exposição exibida. [28]

A apresentação de Peter D’Antonio, intitulada “Otimização da forma: Boa aparência e acústica também!”, refere que um dos desafios na conceção da acústica arquitetural é desenvolver superfícies de dispersão contemporâneas que complementem a arquitetura contemporânea da mesma forma que os tetos em caixão, as colunas e a ornamentação de alívio complementam a arquitetura clássica. Refere também que uma abordagem que tem sido bem-sucedida é a que emprega a combinação de elementos de contorno e técnicas de otimização multidimensionais. Assim o arquiteto fornece o motivo, a acústica fornece os requisitos a satisfazer e o programa de otimização fornece uma superfície que combine a arquitetura, a acústica e a estética. O caso de estudo foi o Museu Nacional do Índio Americano, onde são apresentadas fotos das instalações que utilizam essas ferramentas acústicas. [29]

Outra apresentação de Peter D’Antonio, desta vez intitulada “Um novo, uniforme, liso sistema de absorção de acabamento interior”, onde traz uma nova abordagem aos sistemas de absorção de acabamento que se assemelhem ao aspeto de gesso liso ou uma parede pintada. Essa nova abordagem centra-se num material composto por uma fina camada microporosa de partículas minerais aplicada ao longo de um painel de lã mineral. Esse material pode ser aplicado a quase todas as superfícies, pode ser internamente pigmentado para corresponder a quase todas as cores e pode ser renovado. O caso de estudo da aplicação é o Museu de Novo Pinakothek. [30]

Na apresentação de Steve Haas, intitulada “A conceção acústica e eletroacústica do *Country Music Hall of Fame and Museum* em Nashville”, o autor apresenta abordagens e tecnologias únicas que foram primeiramente implementadas no edifício. Também é explicado como a interface acústica/electroacústica maximizam a utilização de som nas exposições mantendo em simultaneamente as funções especiais em muito dos espaços públicos. [31]

Em 2006, a tese de mestrado de Guðrún Jónsdóttir na Universidade Técnica da Dinamarca, baseia-se na acústica de museus. Esta dissertação foi feita a pedido do diretor do Museu Nacional da Islândia, que abordou o autor para fazer um estudo acústico ao recém-aberto museu de Reiquejavique. Assim, para obter conhecimento de quais seriam as propriedades acústicas desejáveis, foi pedida a colaboração de três museus dinamarqueses: a Galeria Nacional Dinamarquesa (Fig. 3.12), o Museu de Arte Moderna Aros e o Museu Arken. Para a investigação foram feitos nos três museus, inquéritos aos empregados, e em dois deles obteve-se acesso a dados já existentes sobre alguns parâmetros. Nesses três museus dinamarqueses, já tinham sido detetados problemas acústicos, nomeadamente grandes valores de tempo de reverberação. Enquanto na Galeria Nacional Dinamarquesa, esses problemas já foram corrigidos, dentro do possível, nos outros dois museus foram sugeridas propostas de soluções de correção acústica. Com isto, no Museu Nacional da Islândia, o autor identificou os locais onde mais problemas acústicos poderiam ter, fez ensaios acústicos para determinar parâmetros como o tempo de reverberação e o nível de pressão sonora de ruído de fundo, e no local mais problemático, *The Arc Hall*, foram feitas simulações, com o auxílio de um programa, para ver os valores dos parâmetros acústicos em várias situações. Também foram feitas ensaios subjetivos no *Arc Hall* para avaliar o que as pessoas achavam sobre a acústica desse local. [32]



Fig. 3.12 - Galeria Nacional Dinamarquesa, Copenhaga [33]

Relativamente a museus que tenham sofrido alterações de relevância acústica mas que não se tenha conseguido encontrar publicações relacionadas, existem exemplos de alterações que se fizeram. O Museu do Louvre é um desses museus. Há alguns anos atrás o museu foi assaltado durante as horas de abertura, sendo que a polícia ao ser chamada a intervir, encerrou o local e tentou alertar os visitantes pelo sistema de altifalantes do museu. No entanto a inteligibilidade era muito má o que levou que as pessoas entrassem em pânico, tendo mesmo algumas ficado feridas. Isto levou então a que fosse feito um estudo que tentasse melhorar o sistema tendo como principal dificuldade o ambiente altamente reverberante do espaço. A empresa que ficou com a responsabilidade de melhorar o sistema, optou por colocar colunas altifalantes com um sistema de atraso, nas colunas da entrada. Depois de alguns testes, primeiro sem visitantes e mais adiante com a presença deles, foi encontrada a melhor posição onde seriam colocados os altifalantes. No entanto para a sua instalação era necessário a aprovação do arquiteto. Depois de algumas modificações ao projeto original, como a pintura dos altifalantes, a mudança de local de um deles por razões estéticas, conseguiu-se assim chegar à solução final e com bons resultados acústicos. [34]

Outros exemplos de museus corrigidos acusticamente são: o Museu de Arte Moderna de Tf. Worth, no Texas, Museu Driehaus, em Chicago e o Museu Metropolitano de Arte, em Nova Iorque, todos eles realizados pela empresa de projetos acústicos *Pin Drop Acoustics* [35]. Há também o caso do Museu de Crianças da Dakota do Sul, que utilizou absorsores sonoros das mais variadas formas e texturas, como por exemplo a imitar uma nuvem, que contribuíam para a absorção sonora das salas de exposição. [36]

3.3.3. VALORES IDEAIS

Embora não haja muita publicação de trabalhos de estudos acústicos, nem legislação que defina quais os valores dos parâmetros acústicos um museu possa ter, pode-se tentar aproximar esses parâmetros a outros museus já existentes e a outros espaços diferentes que não tenham a função de museu.

Alguns dos parâmetros que podem contribuir para um bom comportamento acústico de uma sala de museu são: o tempo de reverberação, o RASTI, o nível sonoro de ruído de fundo com o sistema AVAC ligado, as curvas de incomodidades NC e NR.

O valor considerado ideal do tempo de reverberação, depende da função que um espaço tem. No entanto um dos problemas dos museus é que os seus tempos de reverberação são muito elevados devido ao facto das salas de exposição serem muito volumosas, com superfícies do compartimento

muito refletoras. Por isso não é de estranhar que existam tempos de reverberação que chegam aos 10 s. Independentemente dos valores de tempo de reverberação que as salas de exposições possam ter, considera-se que o intervalo de valores considerados ideais para o tempo de reverberação é de 0,8 a 1,6 s, uma vez que estão dentro do intervalo considerado ideal para as visitas guiadas em museus. [32]

Relativamente ao parâmetro RASTI, referente à inteligibilidade da palavra, é conveniente que os museus tenham inteligibilidade no mínimo *suficiente* (Quadro 3.1), uma vez que muitas vezes há visitas guiadas, onde o guia tem que ser bem percebido a pelo menos 3 metros de distância (este valor depende da quantidade de pessoas de cada visita). No entanto uma inteligibilidade *excelente* não é a indicada, uma vez que os visitantes não integrados na visita guiada preferem ter privacidade enquanto apreciam a exposição. No Quadro 3.1 pode-se observar a correspondência entre o parâmetro objetivo RASTI e a subjetiva inteligibilidade da palavra.

Quadro 3.1 - Correspondência entre o parâmetro objetivo RASTI e a subjetiva inteligibilidade da palavra [37]

RASTI	Inteligibilidade da palavra
[0,00 – 0,30[	Má
[0,30 – 0,45[	Medíocre
[0,45 – 0,60[	Suficiente
[0,60 – 0,75[	Boa
[0,75 – 1,00]	Excelente

Relativamente ao nível sonoro de ruído de fundo com o AVAC ligado, este não pode ser muito elevado para que as pessoas consigam apreciar a exposição sem serem incomodadas. Assim o ruído provocado por este sistema não deverá ser superior a 45 dB(A) em museus. [38]

Finalmente, os valores ideais para as curvas de incomodidade *Noise Criterion* e *Noise Rating*, têm que respeitar certos limites para não incomodar os visitantes do museu. Assim, o valor para museus de NC não deverá ser superior a 40 [38] e de o valor de NR não deverá ser superior a 35 [10].

No Quadro 3.2 encontram-se, de uma forma resumida, os valores considerados ideais de cada parâmetro acústico.

Quadro 3.2 – Valores considerados ideais dos parâmetros acústicos representados

	TR (s)	RASTI	L_{Aeq} - ruído de fundo com AVAC (dB)	NC	NR
Valores Ideais	[0,8 ; 1,6]	[0,45 ; 0,75[	≤ 45	≤ 40	≤ 35

4

MUSEU NACIONAL SOARES DOS REIS

4.1. HISTÓRIA DO MUSEU

O Museu Nacional Soares dos Reis foi o primeiro museu público a existir no país.[39]

Na portaria de 11 de Abril de 1833, D. Pedro IV, sob a égide do liberalismo, revela a intensão de criar na cidade do Porto um museu de pinturas e estampas, tendo designado como seu organizador João Baptista Ribeiro, lente da Academia Real da Marinha e Comércio e pintor. O museu destinava-se a recolher o espólio dos conventos abandonados do Porto e dos extintos fora do Porto (mosteiros de S. Martinho de Tibães e de Santa Cruz de Coimbra) e dos bens sequestrados a partidários absolutistas aquando do saque que decorreu durante a guerra civil que opôs absolutistas e liberais. Em Junho de 1833, João Baptista Ribeiro elabora um Regulamento do Museu que determina que as funções da instituição passam pela recolha e exposição de obras e livros de arte para formação de artistas e instrução do público. Assim nesse ano, as obras de arte que foram recolhidas são instaladas provisoriamente no edifício da Academia Real da Marinha e Comércio, passando depois para o antigo Convento de Santo António da Cidade, na zona oriental da cidade (Jardim de S. Lázaro) (Fig. 4.1), onde também se veio a fixar Real Biblioteca Pública.



Fig. 4.1 – Antigo Convento de Santo António da Cidade atual Biblioteca Municipal (Jardim de S. Lázaro) [40]

A 12 de Dezembro de 1836, no reinado de D. Maria II, devido às reformas da instrução pública levadas a cabo pelo ministro, Passos Manuel, é publicado um decreto confirmando a instituição do Museu de Pinturas, Estampas e outros objetos de arte, também designado por Museu Portuense.

Em Julho de 1839, por ordem do Administrador Geral do Distrito, o Museu Portuense é incorporado pela Academia Portuense das Belas Artes (que tinha sido criada e instalada no mesmo edifício em 1836) e todo o seu património foi entregue por João Baptista Ribeiro a uma comissão nomeada pela academia. Passa assim o Diretor da Academia a exercer as funções de Diretor Interino do Museu, por leis das Cortes Constituintes. Por Carta de Lei de 30 de Julho de 1839, a Câmara Municipal do Porto juntamente com Academia Portuense das Belas Artes são encarregadas de criar um regulamento do Museu, de modo a servir o público e os professores e alunos da Academia. Durante as décadas seguintes o Museu Portuense (também designado por Ateneu D. Pedro) fica anexado à Academia, levando assim a um fortalecimento da relação entre o museu e o ensino artístico no séc. XIX.

Devido às reformas institucionais da República em 1911, que tinham uma política museológica descentralizada e com tendências à especialização, juntamente com a extinção da Academia Portuense das Belas Artes, o Museu Portuense fica diretamente subordinado ao Conselho de Arte e Arqueologia, passando a designar-se Museu Soares dos Reis, em honra do escultor António Soares dos Reis. [39, 41]

Com o Estado Novo dá-se a valorização da conservação do património e por isso, o papel do museu, como lugar de preservação de toda uma nação, acentua-se, adquirindo assim, em 1932, o estatuto de Museu Nacional. Com este estatuto o museu ganha independência face à tutela académica e expansão patrimonial.

Em 1940, o museu, na altura sob a direção de Vasco Valente, transfere as instalações do museu para o Palácio dos Carrancas na Rua D. Manuel II (Fig. 4.2), que tinha sofrido alterações para adaptação às novas tendências museográficas.



Fig. 4.2 – Palácio dos Carrancas (Rua D. Manuel II, no Porto) [foto da autora]

Seguem-se várias décadas de dinamização do museu efetuadas pelos diversos diretores, continuando essa dinamização até aos dias de hoje.

O museu procede a obras de remodelação, na década de 1990, projetos da autoria do arquiteto Fernando Távora.

4.2. ANTÓNIO SOARES DOS REIS



Fig. 4.3 - António Soares dos Reis [foto da autora]

António Soares dos Reis (Fig. 4.3) é considerado um dos melhores escultores portugueses do séc. XIX, e como o museu em estudo tem o seu nome, descreve-se uma breve biografia do escultor.

A 14 de Outubro de 1847 em Mafamude, Gaia, nasce o filho de Manuel Soares Júnior e de Rita do Nascimento de Jesus, António Manuel Soares dos Reis que, como manda a tradição, recebe o nome do pai e do padrinho, Santo António.

Soares dos Reis teve uma educação em rígida disciplina familiar, frequentou as aulas de instrução primária na Escola do Matos, no Cabeçudo, e simultaneamente auxiliava o pai na tenda da mercearia de retalho da qual era proprietário, como marçano. Cedo os seus dotes artísticos se fizeram notar, o papel de embrulho da loja servia para desenhos e tudo o que o rodeava servia de modelo. Às escondidas do pai, fazia, com um canivete e madeira, pequenos bonecos e os com restos de barro da Fábrica de louça da Torrinha, que ficava perto de casa, modelava santinhos que expunha ao sol, no quintal. Estas figuras foram notadas pelo um vizinho, Diogo de Macedo, homem respeitado e benfeitor da terra, que admirando-as de tal maneira foi pedir a opinião ao seu amigo pintor e professor das Belas Artes, Francisco de Resende, que logo concordou com o talento de Soares dos Reis. Os dois tentaram convencer o pai a envia-lo para a Escola de Belas Artes, que apesar das muitas hesitações acabou por ceder.

Soares dos Reis matriculou-se em 1861 na Academia Portuense das Belas Artes, com apenas 14 anos, onde se aplica bastante ganhando o apreçamento dos Mestres. Durante esse tempo ele assinava os trabalhos como António Soares, embora na Academia chamavam-lhe Caniço, a alcunha do pai. No fim de 5 anos, em 1866, conclui o curso. Como prova final ele executa uma estátua em gesso, Viriato, que lhe garante o 1º Prémio nas cadeiras de Escultura, Arquitetura e Pintura. No ano seguinte candidata-se a bolseiro, pois o seu objetivo é frequentar a Escola Imperial e Especial de Belas Artes de Paris. Assim, aos 20 anos, Soares dos Reis torna-se bolseiro do Estado no estrangeiro, e em 1867 parte para Paris. Para além de frequentar a Escola Imperial, frequenta também os ateliers de Ivon e Jouffroy. Durante esse tempo conseguiu alcançar algumas classificações de 1º lugar, o que lhe leva à mudança de alcunha. Já ninguém lhe chama de Caniço mas sim “*Voleur de Prix*” (Ladrão de Prémios). No entanto rebenta a guerra franco-prussiana e Paris fica cercada. Cria-se um clima de instabilidade. Soares dos Reis ao fazer um esboço de uma porta de St. Esprit em Bayonne é confundido com um

espião e é preso por algumas horas. Logo os amigos esclarecem as dúvidas e é solto, mas chega a altura de regressar ao Porto. Esta estadia seria breve.

Soares dos Reis pretende aprender mais, é então que decide que Roma será a próxima etapa. Os professores da Academia estão de acordo e propõem-no para bolseiro em Roma, onde receberá 50 mil reis por mês, a fim de completar o período de pensionato. Soares dos Reis chegou à *Cidade Eterna* em 1871. Em Roma estuda atentamente os clássicos e tira apontamentos. No entanto tem que executar uma estátua de mármore para justificar a pensão que recebe. Surgem algumas complicações que atrasam a obra e o Governo não entende a razão da demora. Em Março de 1872 a pensão é suspensa, sendo-lhe enviados 60 mil reis para que regresse a Portugal. Soares dos Reis não se intimida, a sua obra está iniciada, o modelo já tinha sido feito e o mármore de Carrara já tinha sido começado a ser trabalhado, era preciso que o entendessem que não podia regressar agora. Quando o Embaixador Marquês de Tomar toma conhecimento do assunto decide investigar conforme lhe pedira o Conde de Samodães, Inspetor da Academia Portuense. A resposta por carta foi [42]:

“ (...) Em tais circunstâncias proponho a V. Ex.^a, convencido da inteira justiça da pretensão, que se lhe mande pagar a pensão dos quatro meses de Março a Junho. Em Portugal julga-se que uma obra como aquela em que está mostrando o seu talento o artista de que se trata, se pode concluir com perfeição em alguns meses; aqui os melhores artistas não poderão concluir a Estátua em menos de dois anos.

Seja esta ainda mais uma razão para convencer V. Ex.^a da justiça da minha proposta.”

Assim as pensões atrasadas são pagas e os retoques finais são dados em Portugal. O modelo feito em gesso é oferecido ao Instituto de Santo António em Roma, em forma de agradecimento pela hospedagem. O *Desterrado* (Fig. 4.4), peça que ele estava a fazer, é enviado para o Porto. No entanto Soares dos Reis, antes de regressar a Portugal, passa ainda por França e Inglaterra, tendo os Museus de Londres agradado-lhe bastante. Quando chega a Portugal em 1872, Soares dos Reis é recebido pelos seus conterrâneos com aplausos e admiração, sendo nomeado Académico de Mérito da Academia Portuense de Belas Artes.



Figs. 4.4 e 4.5 - O Desterrado, no MNSR (esq.) e Cristo, na Igreja de Mafamude, Gaia [fotos da autora]

O Porto é agora o seu centro, consegue arranjar o seu primeiro *atelier* na Rua de Malmerendas (hoje Rua Dr. Alves da Veiga, em Santo Ildefonso), ocupando-se com obras para amigos. Entre elas está o

pedido que lhe havia feito o Padre da sua freguesia quando partiu para Itália: uma imagem para a Igreja de S. Cristóvão de Mafamude, um *Cristo* (Fig. 4.5) em madeira. Uma obra tão perfeita que há quem tenha dito que: “até tinha as Santíssimas partes...”, que foram cobertas com um pano de cetim.

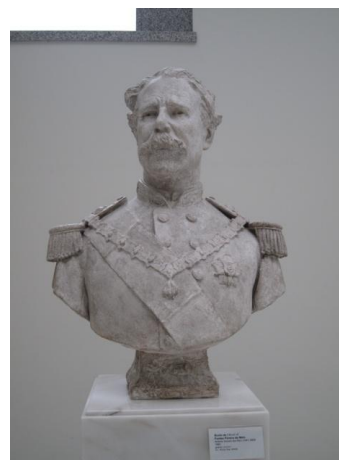
Em 1880, o escultor produziu, expôs e foi reconhecido por diversos trabalhos, inclusive foi um dos fundadores do Centro Artístico Portuense, organismo que muito contribuiu para a difusão das artes plásticas no país. Em 1881 foi nomeado professor titular da Academia Portuense de Belas Artes, esforçando-se sempre por renovar e impulsionar o ensino da Escultura, sendo que para a prestação da prova para Professor de Escultura ele executa a peça *Narciso* em gesso. No mesmo ano *O Desterrado* é enviado para a Exposição de Madrid, onde ganhou o 1º prémio e teve o direito a ser agraciado com o Grau de Cavaleiro da ordem de Carlos III, sendo o próprio Rei Afonso XII a condecorá-lo. Isto gera invejas de tal maneria que faz com que alguém declare a um jornal que tal obra não é do artista. É preciso o Marques de Tomar, que estava em Roma aquando da execução da obra, prestar esclarecimentos ao Conde de Samodães [42]:

"Visto que se trata de desafrontar um artista de mérito, não tenho a menor dúvida em afirmar que António Soares dos Reis, depois dos extraordinários acontecimentos em França partiu para Roma e que desde a sua chegada à cidade eterna trabalhou sem cessar em uma estátua de mármore "O Desterrado" sendo a mesma reputada por todos os que a viram obra de grande mérito."

A calúnia é desfeita mas há inimigos que ficam. Soares dos Reis nunca perdoará e muitas serão as vezes que se sentirá ofendido. Mas, a partir daqui, Soares dos Reis começou a apresentar sintomas de debilidade física. Sofria de perturbações cerebrais e de irritabilidade que o levaram frequentemente ao isolamento.

Em Julho 1885, com 35 anos, Soares dos Reis casa-se com Amélia Aguiar Macedo, neta do seu protetor Diogo de Macedo, indo residir na Rua do Agueiro em Mafamude, Vila Nova de Gaia. Deste casamento nascem dois filhos, Raquel e Fernando. Porém o casamento foi infeliz, Soares dos Reis desentendia-se frequentemente com a esposa devido às diferenças de caráter, educação, mas sobretudo de idade.

Em 1887 é convidado para fazer uma estátua de D. Afonso Henriques (Fig. 4.6), que passa a ser uma das suas obras mais conhecidas.



Figs. 4.6 e 4.7 – Estátua de D. Afonso Henriques, Guimarães (esq.) e busto em gesso de Fontes Pereira de Melo, MNSR [fotos da autora]

Contudo os infortúnios acumulam-se. Concorre à execução de duas estátuas para Aveiro e Lisboa, mas não ganha o concurso, o projeto de reforma que propôs para o curso de escultura na Academia é recusado, fazendo-lhe sentir incompreendido o que leva ainda mais ao isolamento do escultor. Soares dos Reis chega a ser internado numa clínica de Lisboa, embora as melhoras irão ser por pouco tempo.

A 16 de Fevereiro de 1889, enquanto trabalhava no busto de Fontes Pereira de Melo (Fig. 4.7), uma encomenda da Associação Comercial do Porto, não se sentindo feliz resolve escrever na parede: *"Sou cristão, porém, nestas condições, a vida para mim é insuportável. Peço perdão a quem ofendi injustamente, mas não perdoo a quem me fez mal"*, tendo-se depois suicidado com dois tiros de revólver na cabeça. Tinha 42 anos. Pode-se ler a 17 de Fevereiro no Diário de Notícias:

"Porto, 16 - Suicidou-se hoje às 08h00 da manhã, na sua casa da Rua de Luís de Camões, em Vila Nova de Gaia, disparando dois tiros de revólver na cabeça, o eminente estatuariário Soares dos Reis, lente de escultura na Academia de Belas Artes e autor de verdadeiras obras primas. (...) São desconhecidas as causas que determinaram o suicídio."

Foi sepultado no cemitério da Igreja de Mafamude em Vila Nova de Gaia (Fig. 4.8).



Fig. 4.8 – Túmulo de António Soares dos Reis, cemitério da Igreja de Mafamude em Gaia [foto da autora]

Apesar da sua vida ter sido encurtada, Soares dos Reis é unanimemente reconhecido como sendo uma figura fundamental da arte portuguesa, tendo contribuído para o desenvolvimento e enriquecimento do património artístico português. [42, 43]

Muitas das obras do escultor encontram-se no Museu Nacional Soares dos Reis graças à doação dessas obras por parte dos seus estudantes, do próprio autor e da sua viúva, à antiga Academia Portuense.

Algumas Obras: [44]

- 1866 - *Hércules esmagando Anteo e Viriato*;
- 1868-1870 - Trabalhos produzidos em Paris sob a direção de Jouffry;
- 1871-1872 - Escultura o *Desterrado* executada em Roma (Fig. 4.4);

- 1873 - *Cristo Morto*, obra oferecida ao Abade Santana para a Igreja paroquial de Mafamude, Vila Nova de Gaia (Fig. 4.5);
- 1875 - *Saudade*;
- 1876 - Busto de *Domingos de Almeida Ribeiro*; Busto de *Conde de Ferreira*;
- 1877 - Quatro modelos para canteiros (*História, Riqueza, Música e Trabalho*);
- 1878 - Cinco desenhos para a edição de *Os Lusíadas* da Imprensa Nacional;
- 1879 - *Mercúrio* (estátua para canteiro); *Comércio* (estátua para canteiro);
- 1880 - *S. José* e *S. Joaquim*, em granito, para a capela do Palácio dos Pestanas, Porto;
- 1881 - *Filha dos Condes de Almedina*, estatueta terminada em 1882 (Fig. 4.9);
- 1882 - *O Abandonado* para o Bazar do Centro Artístico Portuense, em favor da viúva e da filha de Tomás Soller;
- 1885 - Medalhões dos avós da noiva (*Diogo José de Macedo* e *Amélia de Macedo*);
- 1886 - *Félix de Avelar Brotero* (Fig 4.10);
- 1887 - Estátua de *Afonso Henriques* para a cidade de Guimarães (Fig. 4.5);
- 1888 - Busto de *Inglesa* (*Mistress Elisa Leech*);
- 1889 - Busto de *Fontes Pereira de Melo* para a sede da Associação Comercial do Porto.



Figs. 4.9 e 4.10 - Estátua da filha dos Condes de Almedina, MNSR (esq.) e Brotero, MNSR [fotos da autora] (dir.)

4.3. PALÁCIO DOS CARRANCAS

4.3.1. MORAES E CASTRO

Nos anos 20 do séc. XVIII, na Rua de Cima do Muro à Porta Nova (ou Nobre) no Porto, vivia uma família de cristãos-novos dedicados ao pequeno comércio e à indústria caseira. Francisco Gabriel, tratante de retroz e fabricante de chocolate, era casado com Clara da Fonseca e tinha duas filhas, Violante Maria e Mariana Alvim. Violante casou-se com Manuel Pinho, mercador de seda, e Mariana Alvim, a mais nova, casou-se com Luís Miranda de Castro, estanqueiro do tabaco. Deste último

casamento nasceram nove filhos, sendo a filha Brites Maria Felizarda que continuará com o espírito de família. Em 1744 Brites Maria casa com Luís de Almeida Moraes, que também provem de uma família cristã-nova, sendo um homem de negócios e proprietário de uma Fábrica de Tirados de Fio de Ouro e de Prata.

Mais tarde a família deixa a Porta Nova e vai viver para uma casa alugada no sítio do Carranca, não muito longe dos terrenos onde se estava a começar a construir o Hospital Novo, ao Carregal. A moradia situava-se na esquina nascente da Calçada do Carranca (hoje Aires de Gouveia) com a Rua dos Fogueteiros que subia das Virtudes. Logo, com o crescimento da família e prosperidade do negócio, vão-se mudar de novo, desta vez para uma casa que iria ser construída na Rua dos Quarteis, no “caminho velho” para Matosinhos e S. João da Foz.

Nos últimos anos do séc. XVIII, D. Brites Maria Felizarda de Castro, já viúva e tendo criado uma Sociedade com os filhos para administrar os negócios da família, começa a comprar uma série de lotes de terrenos na sua maior parte em área já construída. O seu objetivo era construir uma “grande casa de habitação” e “fábrica”. É assim construída um enorme e majestoso edifício no meio de um conjunto de casas estreitas e compridas. Então, entre 1800 e 1801, a família Moraes e Castro muda-se para lá, levando com eles a alcunha do lugar onde anteriormente residiam, Os Carrancas. [45]

4.3.2. CONSTRUÇÃO DO PALÁCIO DOS CARRANCAS

A construção do Palácio insere-se no período urbanístico de Francisco de Almada e Mendonça e do ponto de vista arquitetónico no movimento neoclássico, que entretanto se desenvolvia na cidade do Porto. O risco do Palácio é normalmente atribuído a Joaquim da Costa Lima Sampaio, o “arquiteto da cidade”, que também aparece ligado às obras do Hospital de Santo António, da Feitoria Inglesa, da Capela de St. James entre outras.

As características da arquitetura paladiana inglesa de que John Carr foi um dos representantes, encontram-se bem evidentes num dos alçados da fachada próxima da fachada nascente do Hospital de Santo António.

Contudo a imponência do edifício é prejudicada pela sua inserção no cadastro, pois o terreno é pouco profundo o que obriga ao alinhamento da fachada pelo perfil da rua, sem lhe proporcionar um espaço envolvente mais amplo. O declive do terreno também será uma condicionante, no entanto foi aproveitada para a inserção de jardins interiores e as instalações da fábrica ao nível do primeiro andar. O acesso a estas zonas fazia-se pelas entradas laterais com portões de ferro que comunicavam com as traseiras por escadas exteriores de um e outro lado do edifício.

Apesar de ao longo dos anos o uso e ocupação do edifício ter sofrido mudanças, devido à mobilidade da família e à frequente visita de hóspedes, consegue-se perceber algum do uso que era dado aos diversos pisos. No rés-do-chão estava o grande átrio de entrada, à volta do qual se encontravam os armazéns, as cavalariças e as cocheiras. O andar intermédio terá sido utilizado pela família e o andar nobre reservado para os hóspedes importantes. O último andar deveria ser destinado à criadagem, as oficinas da fábrica e talvez a cozinha ocupavam as duas alas que rodeavam o jardim interior.

No interior há relatos de que: *“Antigamente eram as paredes destes salões cobertas de cetins de cores e o das visitas de cetim branco...”* e *“as majestosas alegorias e paisagens a fresco”*[45]. Pintadas por artistas expressamente vindos de Itália e que teriam reproduzido pinturas do Vaticano. Fala-se que terá sido o italiano Luis Chiari a decorar os estuques e mobiliário inspirado em Robert Adam, e as pinturas de arabescos e grotescos influenciados pelo neoclássico. Pensa-se também que Vieira Portuense tenha pintado os tetos.

4.3.3. OCUPAÇÃO DO PALÁCIO PELOS MORAES E CASTRO

Na primeira metade do séc. XIX o Palácio dos Carrancas assistiu e participou ativamente nos momentos históricos vividos na cidade do Porto, as Invasões Francesas e as Lutas Liberais.

Quando Lisboa foi ocupada pelo general Junot em Abril de 1808, o governo militar do Porto foi entregue ao general francês Quesnel. Os membros da sua comitiva foram distribuídos provisoriamente por casas de comerciantes portuenses, sendo que no Palácio dos Carrancas ficou o Corregedor-Mor Tamboreau, que era encarregue da administração da Província. Meses depois é a vez do general espanhol Marquez de Valladares ser lá hospedado, que a pedido do Governo Supremo do Porto vem em auxílio do nosso exército.

No ano seguinte, em 1809, foi o próprio general Soult que, quando ocupou o Porto, ficou hospedado no Palácio, uma vez que este era considerado o melhor palacete da cidade. Soult ficou lá por quarenta e quatro dias, sendo que a sua retirada se tornou um incidente quase lendário dada a sua natureza teatral. Quando o exército de Wellington chegou às portas da cidade Porto, tomou de surpresa o General Soult, que no meio da confusão e desorientação para abandonar o local deixou um almoço preparado, que a comitiva de Sir Arthur Wellesley não o deixou desperdiçar.

No dia 14 de Maio de 1809 é recebida uma missiva que diz [45]:

“É do desejo do General Wellesley comandante em chefe, que o Palácio do Senhor Isidoro de Moraes e Castro chamado o dos Carrancas, não seja ocupado por algum oficial inglês, mas que seja reservado como seu Quartel-General.”

Assim nos próximos dois anos várias personalidades ligadas ao exército libertador ficaram hospedadas no Palácio, entre os quais o General Beresford e o Príncipe Guilherme de Nassau.

Quando em 1832, D. Pedro IV chega ao Porto depois de ter desembarcado no Mindelo, hospeda-se no Palácio dos Carrancas, orientando daí as suas operações durante o cerco da cidade pelos absolutistas. Contudo o palacete estava numa posição vulnerável, num lugar destacado ao alcance da artilharia que se encontrava no outro lado da margem do rio Douro. Em Outubro, durante um ataque mais violento à cidade, o Palácio é atingido e conta-se mesmo que uma bala se teria alojado na cabeceira da cama do Rei-Soldado. Com este ataque D. Pedro muda-se para a Rua da Cedofeita com o fim de poupar o palacete de outros possíveis ataques.

D. Pedro volta ao palacete em 1834 com a sua filha D. Maria para agradecer à família Moraes e Castro o apoio e hospitalidade que recebera quando por lá esteve quatro meses hospedado. Criou-se assim a tradição de que o Palácio dos Carrancas fosse a residência real durante as visitas de Suas Majestades ao Porto. Dois anos mais tarde D. Maria II concede a Manuel Mendes de Moraes de Castro o título de Barão de Nevogilde *“em testemunho do apreço e benevolência pela sua fidelidade, compensando-o assim pelos incómodos sofridos”* durante o cerco e a João António Moraes, cunhado de Manuel, o título de Barão de Perafita. O primeiro Barão de Nevogilde morre no ano seguinte, deixando o seu título ao seu irmão e herdeiro Henrique José Mendes de Moraes e Castro, 2º Barão de Nevogilde.

Após a morte do 2º Barão, também morre com ele a primeira e certamente mais ativa geração dos Moraes e Castro. A herança dos Carranca passa para a sua sobrinha D. Carlota Rita de Moraes e Castro. Quando D. Maria ficou hospedada mais uma vez no palacete, recebida por D^a. Carlota, já se *“encontrava nessa altura o salão de espera... a Câmara Municipal o mandou segurar, pela parte do átrio, que lhe fica em baixo, a fim de que na receção de Sua Majestade, não acontecessem desgraças...”*. O estado do palacete demonstra que a situação financeira dos residentes não é das

melhores, já que eles nem tinham dinheiro para a sua conservação, por isso D. Carlota quer vender o Palácio. [45]

4.3.4. DOS MORAES E CASTRO ATÉ MUSEU NACIONAL

Quem compra o palacete é o Rei D. Pedro V. Em Outubro de 1861 é feita a escritura, tendo o Palácio sido vendido por 35 000 reis. Foi paga de imediato metade dessa quantia, enquanto a outra metade foi o Rei D. Luís I quem a pagou, devido à morte do seu irmão.

O Palácio foi reparado e melhorado, não se acreditando que tenha sofrido grandes alterações na sua estrutura e funcionamento, sendo a única exceção o desaparecimento da fábrica. O grande salão era utilizado tanto como salão de baile como antecâmara da sala de receção que se abria ao lado esquerdo. Depois seguiam-se os aposentos de Suas Majestades. Do lado direito era a sala de jantar, copa, sala do fumo e do café. Os quartos dos infantes e outros membros da família real ficavam no andar intermédio, no lado esquerdo do edifício. Já no lado direito do mesmo piso, estavam os compartimentos destinados aos membros do governo. No andar recuado encontravam-se os aposentos dos dignitários de serviço e outro pessoal superior do paço. Nas águas furtadas estariam provavelmente os criados. A cozinha e outros serviços estariam nas alas laterais. O jardim, segundo descrição de Henrique Duarte de Sousa, *“tem no meio uma taça redonda de pedra com o seu repuxo de água boa, e no fim dele existe uma longa estufa contendo plantas dos Países quentes, é adornado de buxos dispostos a formarem ruas e quarteirões, aonde se alimentavam flores e bonitas...”* [45]. Esse local era totalmente aberto para o jardim, funcionando como uma passagem entre duas alas e para a quinta, e sobre ele existia um pombal.

Contudo o Palácio não voltou a ter a sua antiga sumptuosidade. Depois de ter passado para a Casa Real ele era apenas modestamente ornamentado, estando quase deserto com a exceção de quando a Família Real vinha. Mas nessas ocasiões o equipamento essencial era trazido de Lisboa, e o restante era cedido voluntariamente por instituições particulares da cidade.

Em 1894, um ano depois de se ter inaugurado o Real Velo Club do Porto, sediado no antigo Chalet do Palácio de Cristal, inaugura-se o Velódromo no terreno que era antigamente ocupado pela quinta do Palácio dos Carrancas e agora propriedade da Família Real. O Rei D. Carlos cedeu esse terreno à instituição uma vez que era presidente honorário.

Com a implantação da República em 1910 e o exílio de D. Manuel II, o Palácio é fechado. No entanto na casa anexa ao Palácio continuava a viver despercebidamente o almoxarife da Casa Real e a sua família e o guarda negro Ochon. Nos anos que se seguiram foram apontados vários possíveis destinos para o edifício, desde hospital de guerra e de tíficos, a residência episcopal e até uma república de estudantes vinda da Inglaterra. Todavia o testamento de D. Manuel II, datado de 1915 mas apenas conhecido após a sua morte em 1932, determinava que o Palácio dos Carrancas fosse doado à Misericórdia para ser feito um hospital. No entanto, nessa altura andava a ser revista a situação do Museu Soares dos Reis que se encontrava pessimamente instalado nos jardins de S. Lázaro. Foi assim então feito um acordo com a Santa Casa da Misericórdia, que receberia uma compensação monetária, e passaria então o Palácio a imóvel do interesse público e património nacional.[45]

4.3.5. REMODELAÇÕES DO MUSEU

Em 1934 iniciam-se as obras de adaptação para a nova função do edifício, o museu. Foram implementadas muitas alterações, uma vez que o edifício iria ter que estar de acordo com as

exigências da museologia da época. Também os conceitos de restauro da época assim como o estado degradado do palacete, iriam auxiliar essa mudança.

A nível da fachada alterou-se a composição do vão no andar térreo, passando de cinco para um único portão e recuou-se o alinhamento da pequena casa de guarda. Em termos de espaço, a maior alteração foi realizada no piso intermédio, fazendo desaparecer grande parte das pequenas salas e corredores. A passagem que unia as duas alas ao longo do jardim foi modificada para um corredor, onde se iria situar a sala destinada às obras de Soares dos Reis. Também foi instalada um novo sistema de iluminação zenital (laminar), o que levou à alteração das coberturas das antigas zonas das oficinas da fábrica. [45]

Em 1992, com a criação do Instituto Português de Museus, o Palácio dos Carrancas é novamente remodelado. O projeto de autoria do arquiteto Fernando Távora, visou melhorar a exposição permanente, o alargamento dos espaços de reserva, a criação de novas áreas de exposição temporárias, do auditório e de zonas de lazer e serviço. Com esta última remodelação, o Museu Nacional Soares dos Reis fica tal como é conhecido nos dias de hoje. [39]

5

ENSAIOS

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a caracterização acústica do interior de salas do Museu Nacional Soares dos Reis. Esta caracterização é feita com base numa análise objetiva através de ensaios acústicos.

Os ensaios acústicos realizados no interior do Museu serviram para avaliar os parâmetros:

- nível sonoro contínuo equivalente de ruído de fundo, $L_{A\text{ eq}}(\text{rf})$;
- nível sonoro contínuo equivalente de ruído dos equipamentos de climatização, $L_{A\text{ eq}}(\text{AVAC})$;
- nível sonoro contínuo equivalente de ruído dos visitantes, $L_{A\text{ eq}}(\text{vis})$;
- tempo de reverberação, TR;
- *Rapid Speech Transmission Index*, RASTI.

Os equipamentos utilizados nos ensaios foram:

- Sonómetro *Brüel & Kjær*, modelo 2260;
- Fonte sonora *Brüel & Kjær*, modelo 4224;
- Tripé portátil *Brüel & Kjær*, modelo UA0049;
- Equipamento de RASTI *Brüel & Kjær*, modelo 3361, constituído por um emissor modelo 4225 e um receptor modelo 4419;
- Calibrador de microfone *Brüel & Kjær*, modelo 4231;
- Microfone de 13 mm *Brüel & Kjær*, modelo 4189;
- Módulo estatístico, *Brüel & Kjær*, modelo BZ7210;
- Módulo estatístico, *Brüel & Kjær*, modelo BZ7204;
- Medidor de distância *Bosch* DLE-40.

Os ensaios foram realizados nos dias 2 de Abril de 2012 (dia de encerramento do museu), das 11h30 às 17h30, e 17 de Abril de 2012 (dia com visitas de estudo) das 14h30 às 17h, nas salas 2 (Romantismo – Espaço 2), 5 (Marquês de Oliveira – Espaço 1), 7 (Galeria Soares dos Reis) e 16 (Sala de Jantar) (Figs. 5.1 e 5.2).

As dimensões das salas estão representadas no Quadro 5.1.

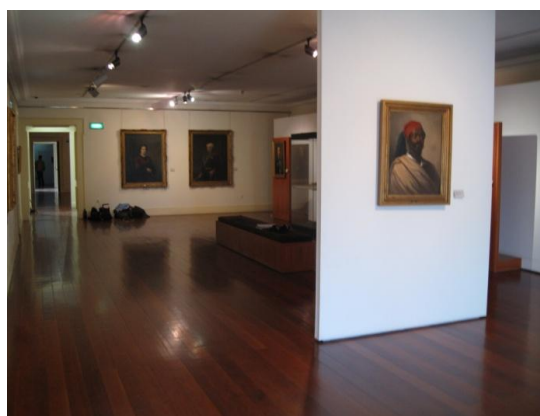
A sala 7 é ainda composta por dois semicilindros com 1,50 m de raio.



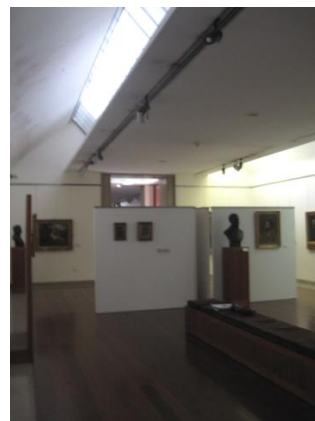
Figs. 5.1 e 5.2.– Plantas do piso 1 [46] (esq.) e piso 2 (dir.) com salas ensaiadas representadas [47] (nº 2, 5, 7 e16)

Quadro 5.1 – Dimensões das salas ensaiadas

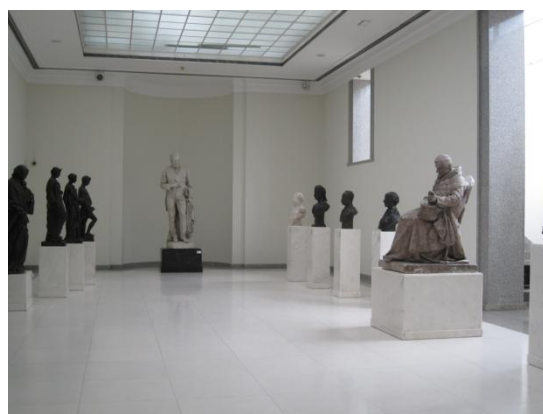
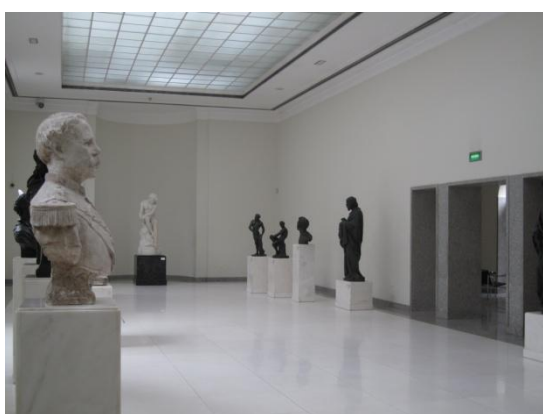
	Comprimento (m)	Largura (m)	Pé direito máx. (m)	Pé direito min. (m)
Sala 2 (Figs.5.3 e 5.4)	16,00	7,25	3,00	-
Sala 5 (Figs. 5.5 e 5.6)	15,00	8,20	4,85	3,40
Sala 7 (Figs. 5.7 e 5.8)	21,70	8,20	5,35	-
Sala 16 (Figs. 5.9 e 5.10)	14,60	7,25	6,70	-



Figs. 5.3 e 5.4 – Fotografias retiradas no interior da sala 2 [fotos da autora]



Figs. 5.5 e 5.6 - Fotografias retiradas no interior da sala 5 [fotos da autora]



Figs. 5.7 e 5.8 - Fotografias retiradas no interior da sala 7 [fotos da autora]



Figs. 5.9 e 5.10 - Fotografias retiradas no interior da sala 16 [foto da autora]

5.2. NÍVEL SONORO CONTÍNUO EQUIVALENTE DE RUÍDO DE FUNDO

5.2.1. METODOLOGIA

Neste ensaio pretendeu-se avaliar e caracterizar o ruído de fundo existente no interior das salas do Museu, sem os sistemas de climatização ligados e sem visitantes, de modo a perceber a influência que o ruído ambiente exterior tem no interior das salas. Para isso recorreu-se ao sonómetro *Brüel & Kjaer*, modelo 2260 (Figs. 5.11 e 5.12), para medir o nível de pressão sonora contínua equivalente, L_{eq} , do

interior das salas, estando elas, sempre que possível, com as portas e janelas fechadas, durante um intervalo de tempo de aproximadamente 10 minutos. Procurou-se que nas medições não houvesse picos de ruído, quer no interior quer no exterior. Ponderou-se para o filtro A obtendo o parâmetro nível sonoro contínuo de ruído de fundo, L_{Aeq} . Devido às dimensões e simetria dos compartimentos optou-se por colocar o sonómetro no meio das salas.



Figs. 5.11 e 5.12 - Sonómetro *Brüel & Kjær*, modelo 2260 [fotos da autora]

5.2.2. RESULTADOS

Os valores obtidos dos níveis de pressão sonora das salas do Museu encontram-se representados no Quadro 5.2 e na Fig. 5.13.

Analisando os resultados verifica-se que as salas 2 e 16 têm um valor de nível de pressão sonora equivalente contínua de ruído de fundo maior, ambas com 62 dB. Este resultado mais elevado deve-se ao facto destas duas salas se encontrarem na fachada frontal do edifício, face à Rua D. Manuel II, por onde circulam tráfego e pessoas. Outro aspeto observado é que no espectro de frequências do nível de pressão sonora, este tem valores superiores nas baixas frequências (menores que 250 Hz).

Depois da aplicação do filtro A (Quadro 5.3 e Fig. 5.14), verifica-se que os valores globais anteriormente obtidos baixaram consideravelmente, o que já era de esperar, uma vez que esses valores elevados deviam-se às baixas frequências, frequências essas que o ouvido humano não tem tanta sensibilidade em captar. As salas 2 e 16 permanecem com os maiores valores de níveis sonoros equivalentes contínuos, com 42 dB(A), enquanto as salas 5 e 7 ficam com níveis sonoros de 29 dB(A). Pode-se assim observar que o ruído do tráfego proveniente da Rua D. Manuel II, faz aumentar os níveis sonoros das salas a ela viradas em 13 dB(A).

Quadro 5.2 – Valores obtidos dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo (AVAC desligado) nas salas do Museu ensaiadas

Freq. (Hz)	$L_{eq} (rf) (dB)$											$L_{eq,global} (dB)$
	16	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	
Sala 2	56,7	57,0	57,7	47,9	39,8	35,3	36,9	34,1	27,5	16,3	13,1	62,2
Sala 5	53,7	42,6	38,7	31,9	26,6	22,7	23,6	23,0	19,0	15,1	13,1	56,2
Sala 7	48,3	44,4	42,3	32,6	27,8	27,2	22,1	17,9	16,2	14,2	12,8	51,8
Sala 16	56,3	55,4	56,7	49,7	39,4	37,4	37,5	33,8	26,7	16,8	13,0	62,2

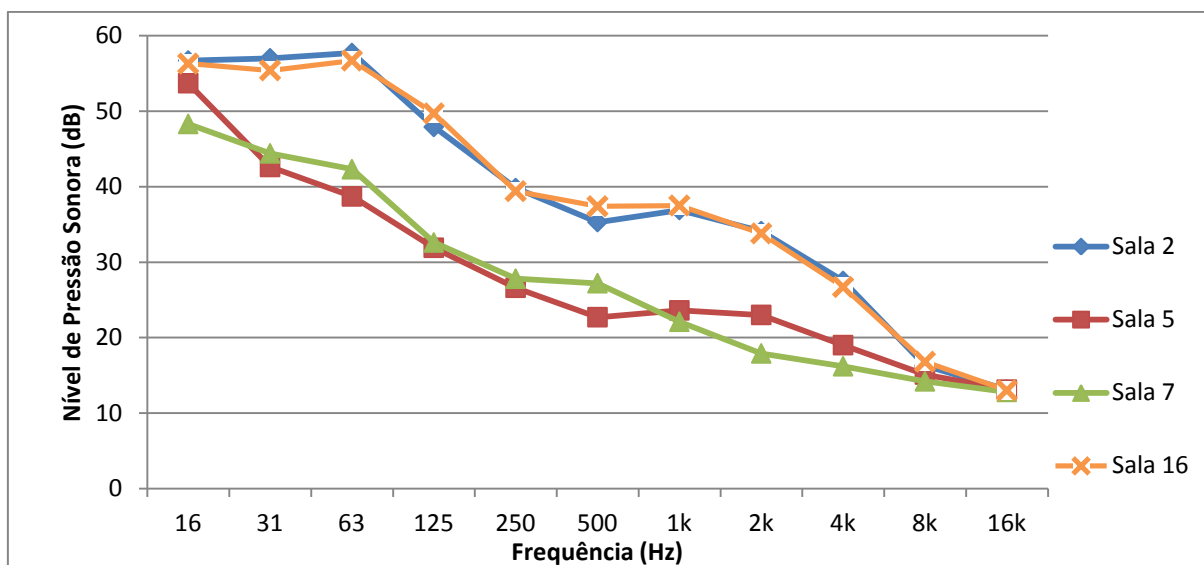


Fig. 5.13 - Valores dos níveis de pressão sonora de ruído de fundo (AVAC desligado) nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes

Quadro 5.3 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrado A de ruído de fundo (AVAC desligado) nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes

Freq. (Hz)	L _A (rf) (dB)											L _A eq.global (dB)
	16	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	
Sala 2	0,7	17,0	31,7	32,4	31,3	32,3	36,9	35,1	28,5	15,3	6,1	41,5
Sala 5	0	2,6	12,7	16,4	18,1	19,7	23,6	24,0	20,0	14,1	6,1	29,1
Sala 7	0	4,4	16,3	17,1	19,3	24,2	22,1	18,9	17,2	13,2	5,8	28,5
Sala 16	0	15,4	30,7	34,2	30,9	34,4	37,5	34,8	27,7	15,8	6,0	42,0

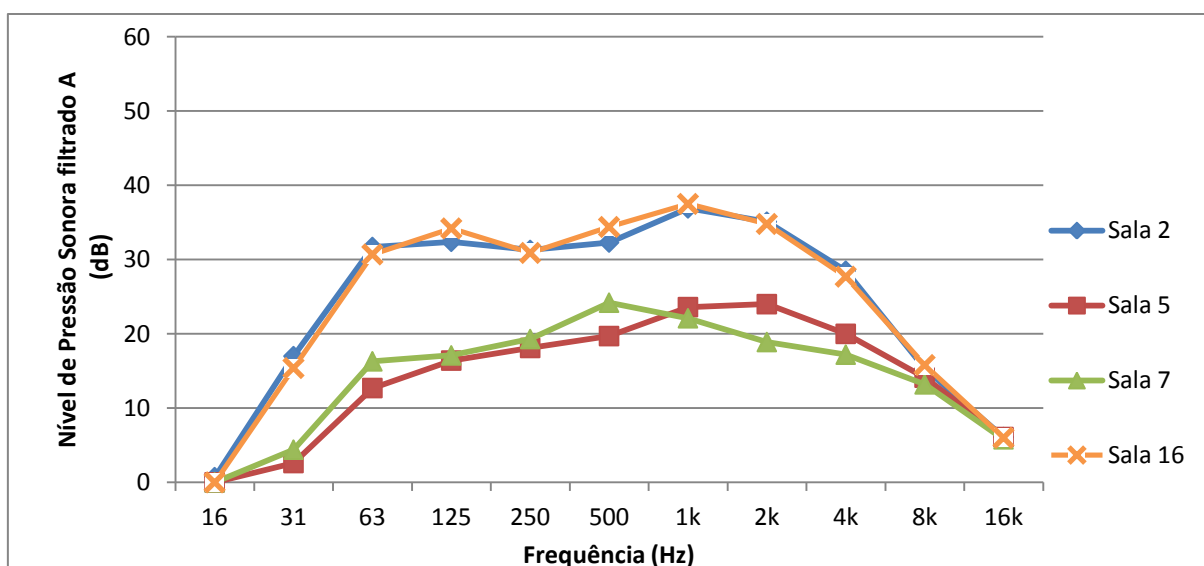


Fig. 5.14 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrado A de ruído de fundo (AVAC desligado) nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes

5.3. NÍVEL SONORO CONTÍNUO EQUIVALENTE DO RUÍDO DOS EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO

5.3.1. METODOLOGIA

Neste ensaio pretendeu-se avaliar o ruído provocado pelos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) no interior das salas sem a presença de visitantes, de modo a perceber o acréscimo que o ruído dos equipamentos de climatização provoca nas salas do Museu. O procedimento deste ensaio foi semelhante ao anterior e recorreu-se ao sonómetro (Fig. 5.12) para medir o nível de pressão sonora contínua equivalente, L_{eq} , do interior das salas. Estas sempre que possível, deveriam ter as portas e janelas fechadas, durante um intervalo de tempo de aproximadamente 10 minutos. Procurou-se que nas medições não houvesse picos de ruído. Os resultados obtidos foram mais tarde trabalhados nas bandas de frequência de 16 a 16000 Hz. Ponderou-se para o filtro A obtendo-se o parâmetro nível sonoro contínuo de ruído de fundo, $L_{A eq}$. Avaliou-se também a incomodidade dos equipamentos de AVAC através das curvas de incomodidade NC e NR. Devido às dimensões e simetria das salas optou-se por colocar o sonómetro no respetivo centro. Neste ensaio não se avaliou a sala 16 porque os equipamentos de climatização desta sala nunca são ativados devido à sua montagem estar incompleta e não satisfazer os requisitos exigidos do Museu.

5.3.2. RESULTADOS

Os resultados obtidos dos níveis de pressão sonora com o uso dos equipamentos de climatização das salas do Museu encontram-se representados no Quadro 5.4 e Fig. 5.15.

Verifica-se uma homogeneização nos resultados dos níveis de pressão sonora, em relação ao ensaio anterior. As três salas apresentam valores de níveis de pressão sonora quase da mesma ordem de grandeza, 60,4; 58,0 e 59,4 dB respetivamente nas salas 2, 5 e 7.

Perante os resultados obtidos pode-se fazer uma comparação dos valores de nível de pressão sonora com o AVAC ligado e com ele desligado. Calculou-se a diferença entre os dois conjuntos de valores (Quadro 5.5 e Fig. 5.16). Verifica-se que na sala 2, nas bandas de frequência dos 16 aos 63 Hz, e na sala 5, na frequência dos 16 Hz, os valores são negativos, ou seja, o ruído verificado no interior do compartimento com o AVAC desligado é maior do que com ele ligado. Ora isto é teoricamente impossível, pois os valores com o sistema de climatização desligado deveriam ser menores do que com ele ligado, podendo ser, no limite, iguais. A explicação provável desta ocorrência deve-se ao facto de que durante o primeiro ensaio, o tráfego no exterior ter sido mais intenso e ter provocado mais vibrações de baixas frequências. Por estas terem valores mais elevados, aumentaram o nível de pressão sonora contínua equivalente global. Na sala 2 verifica-se que o sistema AVAC produz no máximo um aumento de 11 dB em relação ao ruído de fundo existente, na banda de frequência dos 500 Hz. Na sala 5 observa-se que a diferença máxima introduzida pelo sistema de climatização é de 16 dB na frequência de 250 Hz. Pelos resultados obtidos verifica-se que o equipamento nesta sala produz mais ruído nas baixas e médias frequências. Na sala 7 constata-se que o AVAC produz um aumento máximo de 21 dB, na banda de frequência de 2000 Hz, em relação ao ruído existente com o sistema de climatização desligado. O sistema AVAC neste compartimento destaca-se nas altas frequências, embora apresente um registro significativo nas baixas frequências.

Utilizou-se o filtro A nos valores dos níveis de pressão sonora de ruído de fundo com o sistema AVAC ligado (Quadro 5.6 e Fig. 5.17). Verifica-se mais uma vez uma descida dos valores acima referidos, sendo a justificação a mesma já acima citada. As salas 2 e 7 têm valores de níveis sonoros mais elevados e muito próximos um do outro, 46,9 e 45,3 dB(A). O valor superior encontrado na sala 2

pode ser motivado pela sua proximidade à rua e, consequentemente, ao ruído exterior, apesar do ruído do sistema AVAC ser parecido. A sala 5 tem um valor de nível sonoro menor, 40 dB(A).

Quadro 5.4 - Valores dos níveis de pressão sonora do ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes

Freq. (Hz)	L_{eq} (AVAC) (dB)											$L_{eq,global}$ (dB)
	16	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	
Sala 2	55,8	52,6	53,5	49,8	44,7	45,9	42,5	36,7	28,4	17,3	13,3	60,4
Sala 5	51,3	50,0	51,6	47,7	42,8	37,0	34,0	27,3	23,2	18,0	13,7	58,0
Sala 7	50,5	54,3	54,6	49,3	44,2	39,9	40,2	38,7	33,4	22,6	13,6	59,4

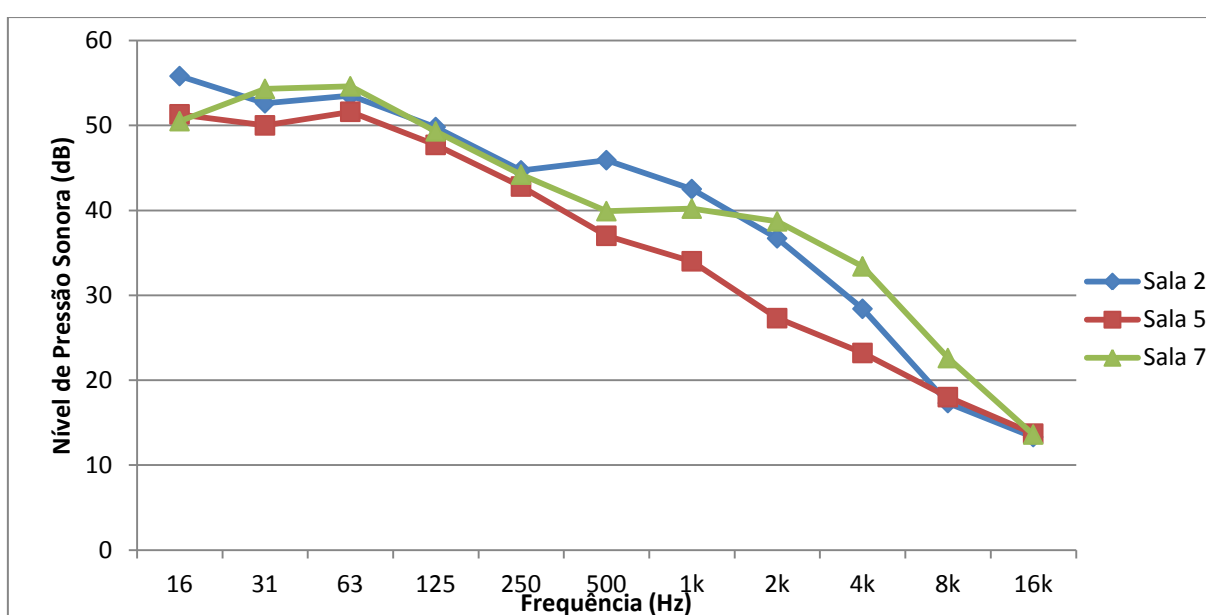


Fig. 5.15 - Valores dos níveis de pressão sonora de ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes

Quadro 5.5 – Diferença de valores de níveis de pressão sonora das situações de AVAC ligado e AVAC desligado, ambas sem visitantes

Freq. (Hz)	ΔL_{eq} (dB) = L_{eq} (AVAC) – L_{eq} (rf)											$\Delta L_{eq,global}$ (dB)
	16	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	
Sala 2	-0,9	-4,4	-4,2	1,9	4,9	10,6	5,6	2,6	0,9	1,0	0,2	-2
Sala 5	-2,4	7,4	12,9	15,8	16,2	14,3	10,4	4,3	4,2	2,9	0,6	2
Sala 7	2,2	9,9	12,3	16,7	16,4	12,7	18,1	20,8	17,2	8,4	0,8	7

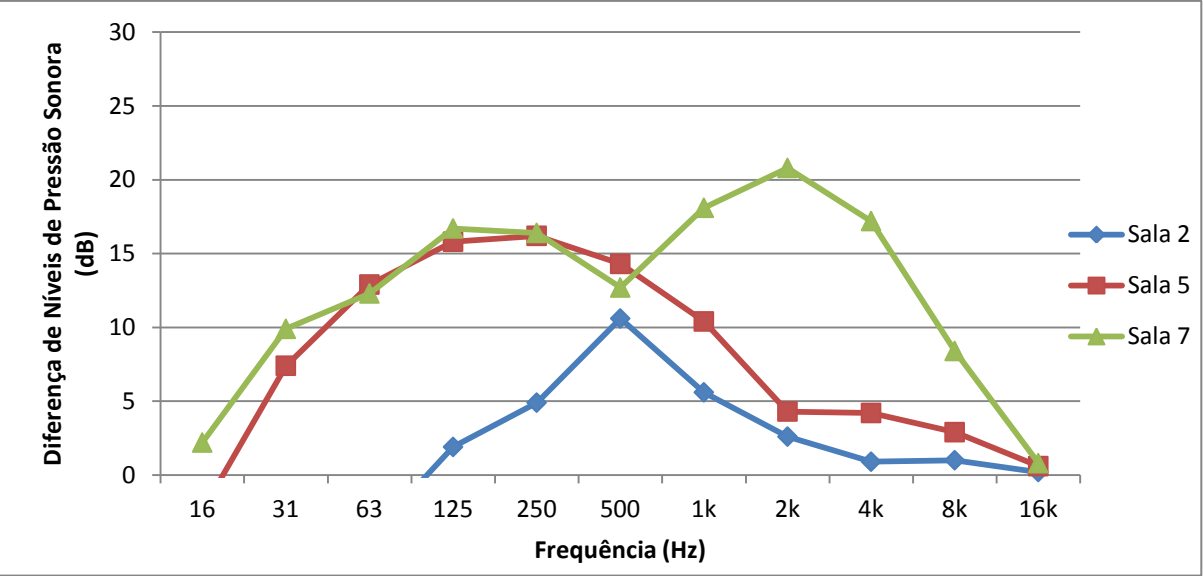


Fig. 5.16 - Diferença de valores de níveis de pressão das situações de AVAC ligado e AVAC desligado, ambas sem visitantes

Quadro 5.6 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrados A do ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes

	L _A (AVAC) (dB)											L _A eq.global (dB)
Freq. (Hz)	16	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	
Sala 2	≈0	12,6	27,5	34,3	36,2	42,9	42,5	37,7	29,4	16,3	6,3	46,9
Sala 5	≈0	10,0	25,6	32,2	34,3	34,0	34,0	28,3	24,2	17,0	6,7	39,7
Sala 7	≈0	14,3	28,6	33,8	35,7	36,9	40,2	39,7	34,4	21,6	6,6	45,3

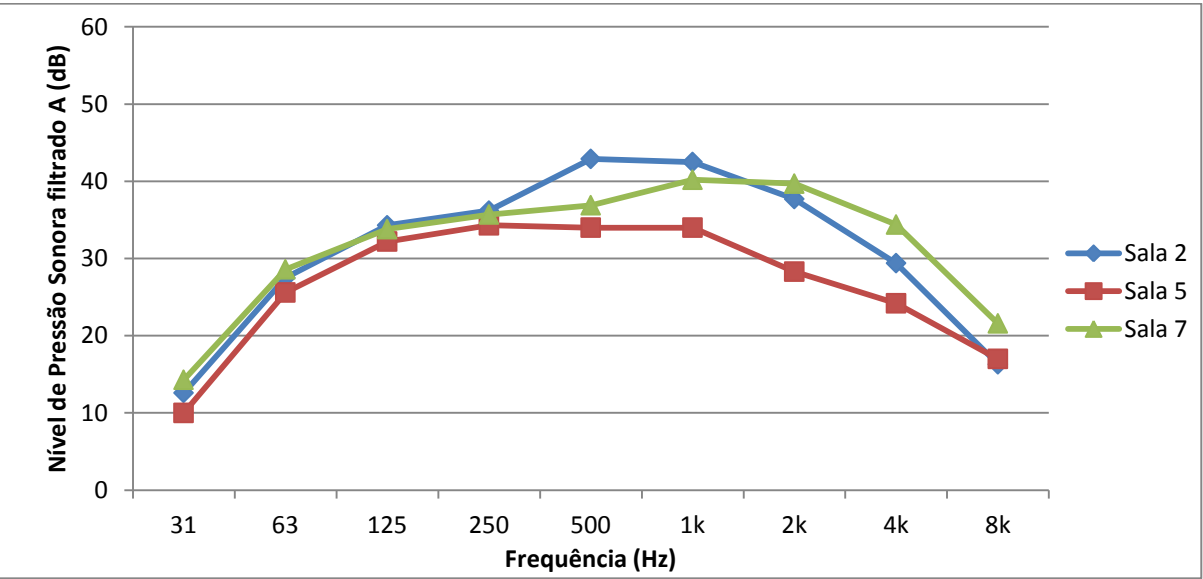


Fig. 5.17 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrados A de ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas, sem visitantes

5.3.3. CURVAS DE INCOMODIDADE

Recorrendo às curvas de incomodidade NC (Fig. 5.18) determinou-se os valores de NC-42, NC-33 e NC-40 respetivamente nas salas 2, 5 e 7. Assim a sala 2 não respeita a condição sugerida de NC-40, e as salas 5 e 7 não trazem preocupações de incomodidade.

Relativamente às curvas de incomodidade NR (Fig. 5.19) determinou-se que os valores são NR 43, NR 34 e NR 42 respetivamente nas salas 2, 5 e 7. A única sala das ensaiadas a cumprir o máximo valor recomendado de NR 35, é a sala 5. As salas 2 e 7 têm valores de NR superiores ao sugerido.

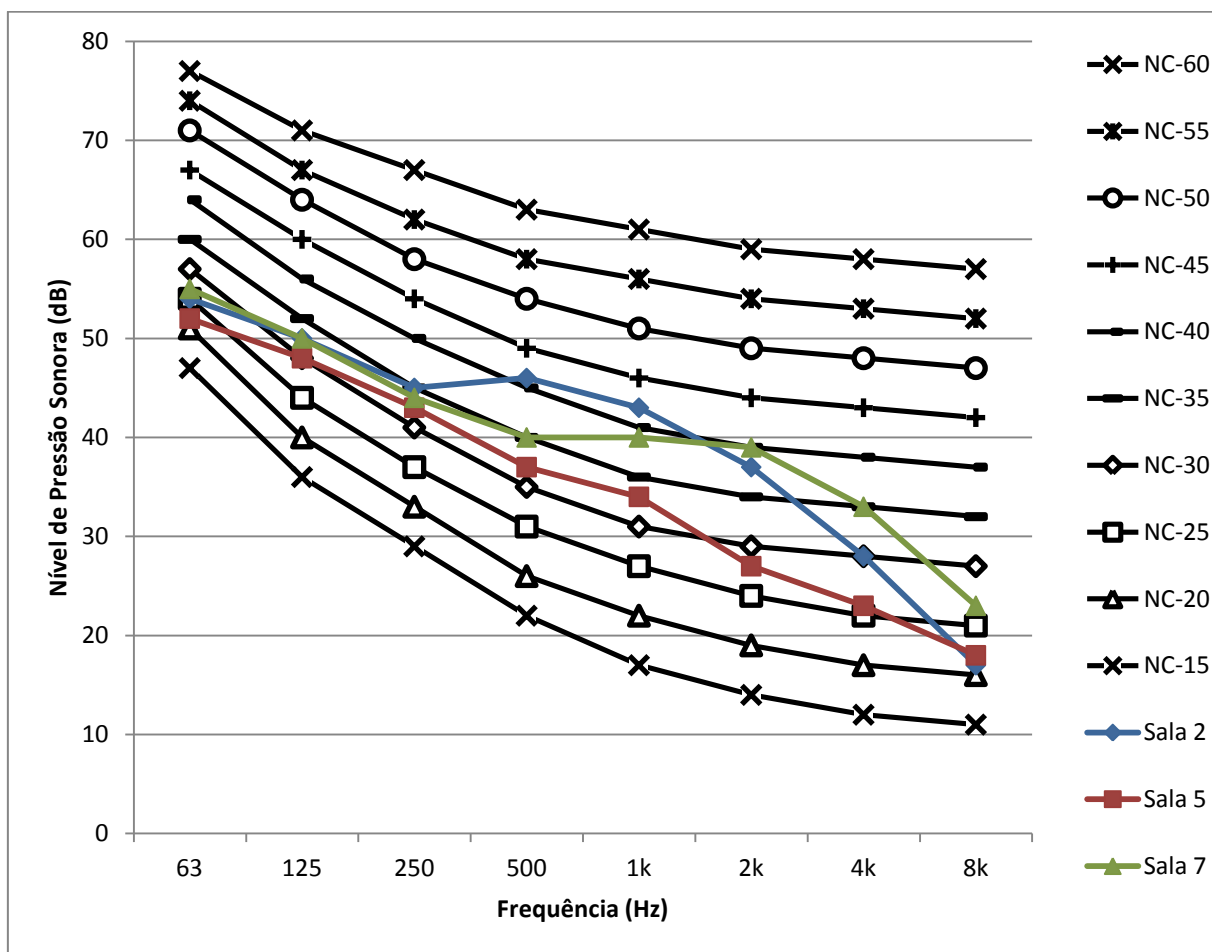


Fig. 5.18 – Determinação da curva de incomodidade NC no interior das salas do Museu ensaiadas, com AVAC

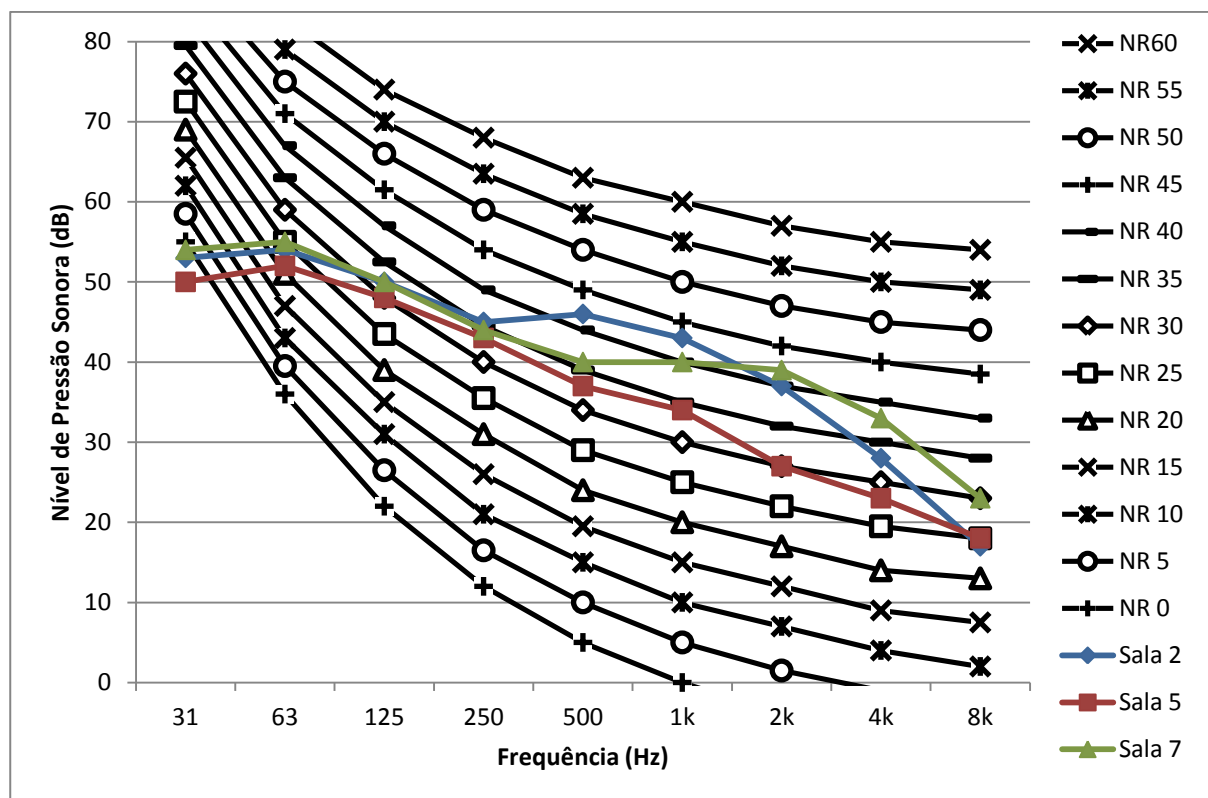


Fig. 5.19 - Determinação da curva de incomodidade NR no interior das salas do Museu ensaiadas, com AVAC

5.4. NÍVEL SONORO CONTÍNUO EQUIVALENTE DE RUÍDO DOS VISITANTES

5.4.1. METODOLOGIA

Neste ensaio pretendeu-se avaliar o ruído ambiente no interior das salas quando o museu está aberto ao público, tentando assim perceber a sua influência.

Neste ensaio recorreu-se mais uma vez ao sonómetro e avaliou-se o nível sonoro no interior das salas. Esta medição foi levada a cabo durante a realização de uma visita de estudo, onde a duração do ensaio já não pôde contar com os 10 minutos à semelhança dos ensaios anteriores, mas variou entre os 5 e 8 minutos.

5.4.2. RESULTADOS

No Quadro 5.7 encontram-se os resultados obtidos de níveis sonoros médios no interior das salas do Museu.

Quadro 5.7 – Valores dos níveis sonoros do ruído ambiente com visitantes nas salas do Museu ensaiadas

	Tempo de medição (min.)	$L_{A\text{ eq,global}}$ (vis) (dB)
Sala 2	5:10	60,2
Sala 5	5:05	62,2
Sala 7	6:31	58,1
Sala 16	8:01	57,6

Pode-se verificar que os valores dos níveis sonoros encontram-se na mesma ordem de grandeza. A variação entre eles deve-se sobretudo ao tempo de silêncio entre a explicação da guia e o momento em que os alunos eram chamados a intervir. Apesar desta variável não ser controlável, a média do nível sonoro continuo é 60 dB(A), o que apenas difere cerca de 2 dB(A) de cada medição individual.

Estes resultados de 58 a 62 dB(A) são superiores de 13 a 23 dB(A) em relação aos resultados do ruído de fundo dos equipamentos de climatização (Quadro 5.8), o que significa que o ruído dos visitantes mascara o ruído do AVAC, tornando-o quase impercetível. O ruído dominante nas salas passa a ser o das pessoas, o que faz com que o facto de haver muitos ou poucos visitantes altere bastante as condições sonoras sentidas nas salas. Assim, num dia em que haja poucas pessoas, o ruído dominante é o ruído de AVAC. Nos dias em que haja muitos visitantes, o ruído dominante passa a ser o das pessoas.

Em comparação com os valores do nível sonoro das salas sem visitantes e com o AVAC desligado, os valores dos níveis sonoros com visitantes são superiores de 16 a 33 dB(A), o que também torna quase impercetível qualquer ruído proveniente do exterior.

Quadro 5.8 – Diferença de valores entre o nível sonoro ruído de fundo (RF) com visitantes com o ruído de fundo sem visitantes com o AVAC ligado e desligado

	L_A (vis) (dB)	L_A (AVAC) (dB)	ΔL_A (dB)	L_A (rf) (dB)	ΔL_A (dB)
Sala 2	60,2	46,9	13,3	41,5	18,7
Sala 5	62,2	39,7	22,5	29,1	33,1
Sala 7	58,1	45,3	12,8	28,5	29,6
Sala 16	57,6	-	-	42,0	15,6

5.5. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

5.5.1. METODOLOGIA

Neste ensaio pretendeu-se avaliar o tempo de reverberação existente no interior das salas do Museu. Para isso as salas do Museu ensaiadas tinham que ter o sistema de climatização desligado, não ter visitantes e sempre que possível as portas e portadas fechadas para confinar a sala. Os equipamentos utilizados neste ensaio foram uma fonte sonora *Brüel & Kjaer*, modelo 4224 (Fig. 5.20), e um recetor, o sonómetro *Brüel & Kjaer*, modelo 2260, colocado a uma altura aproximada de 1,30 m (Fig. 5.21).



Figs. 5.20 e 5.21 – Fonte sonora *Brüel & Kjaer*, modelo 4224 (esq.) e equipamento para a realização do ensaio (dir.) [fotos da autora]

O ensaio consistiu em a fonte sonora emitir um ruído com características aproximadas do ruído rosa, durante 10 segundos e com intensidade suficiente para se conseguir um decaimento acima do ruído de fundo. Após o cessar do ruído, o sonómetro vai registando o nível de pressão sonora em cada instante e determina o tempo que demora o ruído a decair 60 dB, por extrapolação de decaimento de 30 dB (TR30), nas bandas de frequência de oitava entre os 125 Hz a 4000 Hz. Para cada ponto foram efetuadas duas medições, uma com o sonómetro virado para a esquerda e outra para a direita, divergindo entre si de 60° a 80°.

A fonte sonora foi colocada no eixo central da sala relativamente ao comprimento, apontada para o fundo da sala, e a uma distância da parede de 1,20 m nas salas 2 e 5, a 3,84 m na sala 7 e a 1,0 m na sala 16. Foram efetuados três pontos de medição, podendo ser visualizada a sua localização típica na Fig. 5.22.

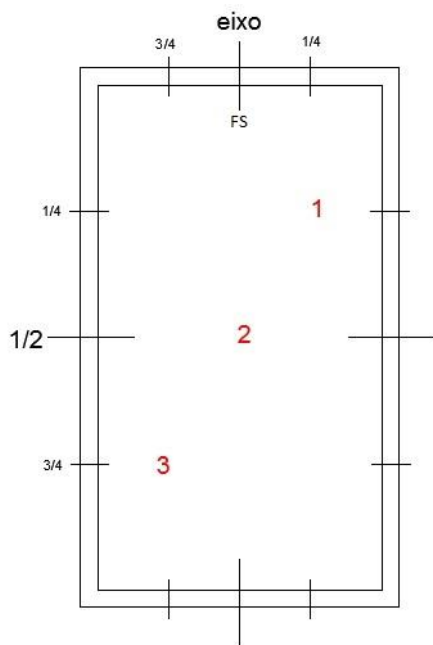


Fig. 5.22 – Localização típica dos três pontos de medição (1, 2 e 3) e da fonte sonora (FS) nas salas para avaliação do TR

5.5.2. RESULTADOS

Os resultados obtidos neste ensaio encontram-se representados nos Quadros 5.9 a 5.12 e Fig. 5.23.

Quadro 5.9 – Valores obtidos de TR30 na sala 2

Freq. (Hz)	TR30 (s)			
	Posição			Média
	1	2	3	
125	0,95	0,98	1,01	1,0
250	1,04	1,12	1,15	1,1
500	1,46	1,50	1,62	1,5
1000	1,73	1,68	1,65	1,7
2000	1,58	1,62	1,56	1,6
4000	1,53	1,51	1,52	1,5

Quadro 5.10 - Valores obtidos de TR30 na sala 5

Freq. (Hz)	TR30 (s)			
	Posição			Média
	1	2	3	
125	1,88	1,90	1,93	1,9
250	2,06	2,14	2,03	2,1
500	2,60	2,58	2,61	2,6
1000	2,66	2,64	2,70	2,7
2000	2,45	2,47	2,53	2,5
4000	2,22	2,25	2,28	2,3

Quadro 5.11 - Valores obtidos de TR30 na sala 7

Freq. (Hz)	TR30 (s)			
	Posição			Média
	1	2	3	
125	3,71	4,27	4,38	4,1
250	3,82	4,13	3,99	4,0
500	5,13	5,29	5,00	5,2
1000	5,00	5,10	5,01	5,0
2000	4,39	4,45	4,46	4,4
4000	3,56	3,59	3,59	3,6

Quadro 5.12 - Valores obtidos de TR30 na sala 16

Freq. (Hz)	TR30 (s)			
	Posição			Média
	1	2	3	
125	1,54	1,50	1,92	1,7
250	2,22	2,23	2,28	2,2
500	3,01	3,06	2,95	3,0
1000	3,10	3,44	3,18	3,2
2000	2,73	2,71	2,71	2,7
4000	1,33	2,33	2,40	2,4

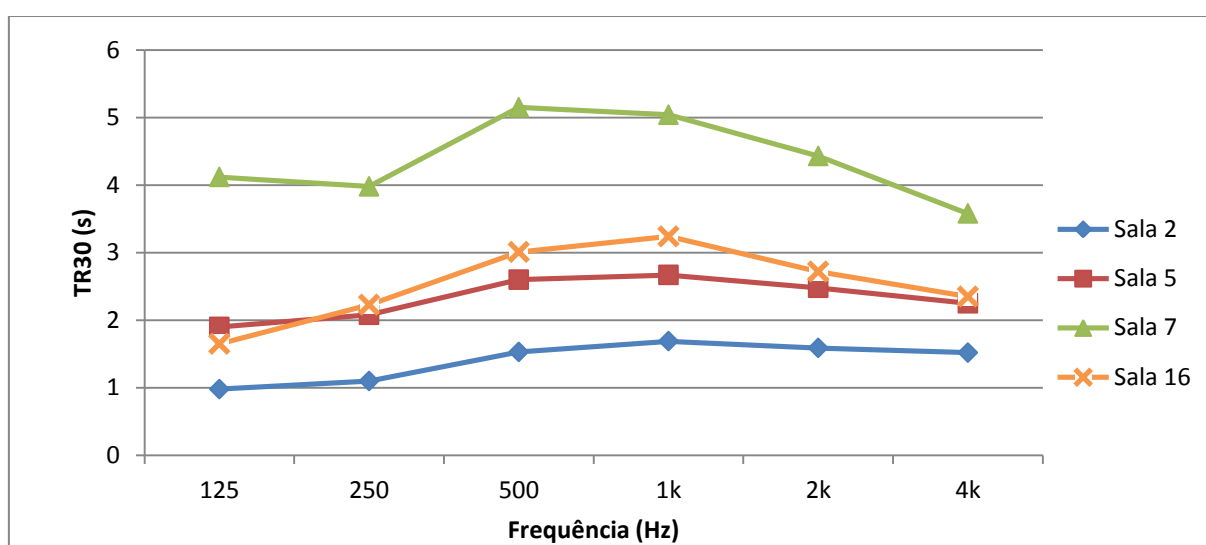


Fig. 5.23 – Valores de TR30 nas salas ensaiadas

Constata-se que nas salas 2, 5 e 16 os valores de tempo de reverberação mais elevados situam-se nas médias e altas frequências. Os valores mais altos situam-se na banda de frequência de 1000 Hz, tendo valores de 1,7; 2,7 e 3,2 s nas salas 2, 5 e 16 respetivamente. Esta diferença de comportamento nas diferentes bandas de frequência pode ser explicada devido aos materiais de revestimento das salas (reboco e gesso cartonado absorvem mais nas baixas frequências). Na sala 7 os valores de tempo de reverberação obtidos diferem dos valores anteriormente registados nas outras salas. Os valores mais elevados verificam-se nas médias frequências, sendo que o valor mais elevado 5,2 ocorre na banda de frequência de 500 Hz. Também se verifica que, ao contrário das outras salas, o valor do tempo de reverberação na banda de frequência de 250 Hz é inferior em relação ao da banda de 125 Hz. Provavelmente na sala existe algum material que absorva mais nesta banda de frequência.

Comparando agora o tempo de reverberação médio relativo às bandas de frequência de 500 a 2000 Hz entre as várias salas (Quadro 5.13), verifica-se que a sala 7 é a que tem um tempo de reverberação maior, com um valor de 4,9 s. Segue-se a sala 16 com um valor de 3,0 s, a sala 5 com 2,6 s e finalmente a sala 2 com 1,6 s. Analisando os valores do tempo de reverberação médio com a gama de valores considerando ideais para visitas guiadas no museu (0,8 a 1,6 s) verifica-se que só a sala 2 cumpre essa recomendação.

Comparando esses valores com os volumes das próprias salas, verifica-se que quanto maior o volume maior o tempo de reverberação (Fig. 5.24).

Quadro 5.13 – Tempo de Reverberação médio para as frequências de 500 a 2000 Hz nas salas ensaiadas e seus volumes aproximados (esq.)

	TR _[500-2000] (s)	Volume (m ³)
Sala 2	1,6	348
Sala 5	2,6	507
Sala 7	4,9	990
Sala 16	3,0	709

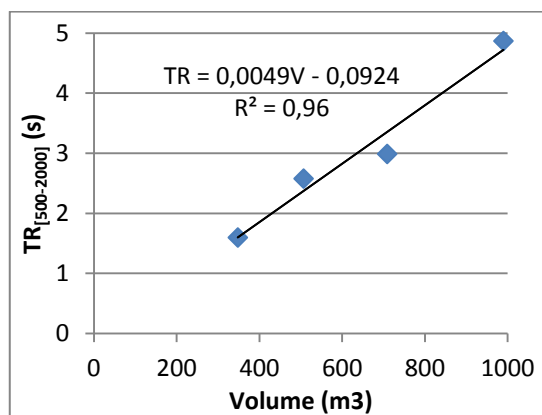


Fig. 5.24 – Relação entre volume e TR_[500-2000] nas salas ensaiadas (dir.)

5.6. RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX, RASTI

5.6.1. METODOLOGIA

Neste ensaio avaliou-se os valores de RASTI existentes no interior das salas do Museu, para assim perceber a inteligibilidade da palavra no seu interior. Para isso as salas do Museu ensaiadas tinham o sistema de climatização desligado, sem visitantes e sempre que possível as portas e portadas fechadas para confinar a sala. Os materiais utilizados neste ensaio foram uma fonte sonora do RASTI *Brüel & Kjaer*, modelo 4225 (Fig. 5.25), e um recetor *Brüel & Kjaer*, modelo 4419 (Fig. 5.26). Colocou-se o

emissor à altura de uma cabeça de orador virado para o fundo da sala (Fig. 5.27). O emissor emite um ruído característico filtrado nas bandas de frequências de 500 e 2000 Hz pelo recetor, que executa uma medição simples de 8 s e regista assim a “inteligibilidade” do sinal sonoro comparando-o com um valor de referência. Em cada ponto foram efetuadas três medições. A fonte sonora foi colocada no eixo central da sala relativamente ao comprimento, e a uma distância da parede de 1,20 m nas salas 2 e 5, a 3,84 m na sala 7 e a 1,0 m na sala 16. Foram efetuados seis pontos de medição (ver a sua localização típica na Fig. 5.28).



Figs. 5.25, 5.26 e 5.27 – Fonte sonora RASTI *Brüel & Kjaer* 4225 (esq.), receptor *Brüel & Kjaer* 4419 (centro) e medição do RASTI (dir.) [fotos da autora]

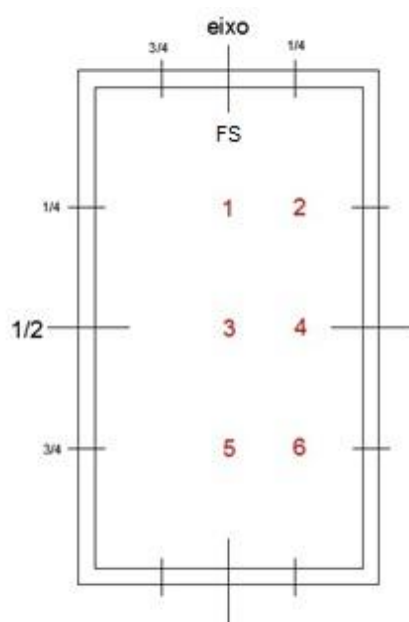


Fig. 5.28 - Localização típica dos pontos de medição (1 a 6) e da fonte sonora (FS) nas salas, para avaliação do RASTI

5.6.2. RESULTADOS

Os resultados obtidos neste ensaio encontram-se representados no Quadro 5.14. Para a avaliação dos dados dividiu-se cada sala em três zonas. A zona 1 correspondente ao primeiro quarto do comprimento da sala, e que corresponde aos pontos 1 e 2. A zona 2 correspondente ao meio da sala e que é representada pelos pontos 3 e 4. A zona 3 corresponde ao terceiro quarto do comprimento da sala e

representada pelos pontos 5 e 6. Com esta divisão pretendeu-se ter uma ideia aproximada da variação da “inteligibilidade da palavra” com o aumento da distância relativamente ao emissor.

Perante os resultados obtidos verifica-se que, em qualquer sala, o valor do RASTI é mais elevado quando o recetor se encontra em frente ao emissor do que quando se encontra na lateral e é também igualmente mais elevado junto ao emissor do que quando se afasta dele. Isso pode ser explicado pelo facto de que, quando o recetor se encontra em frente ao emissor as ondas sonoras que a ele chegam são principalmente provenientes do campo direto enquanto que, ao se aproximar das superfícies laterais da sala, as ondas recebidas sofrem influência do campo reverberado. Além disso, com o afastamento em relação à fonte, as ondas sonoras são atenuadas devido à divergência geométrica e do ar, principalmente as altas frequências. Da mesma maneira, quanto mais afastado do emissor mais as ondas sonoras do campo reverberado têm influência, sobrepondo-se às ondas diretas.

Quadro 5.14 – Valores obtidos de RASTI nas salas ensaiadas

	Pontos de medição	RASTI					
		1ª vez	2ª vez	3ª vez	Média	Média da Zona	Média da sala
Sala 2	1	0,62	0,61	0,62	0,62	0,60	0,53
	2	0,59	0,58	0,59	0,59		
	3	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	
	4	0,50	0,51	0,51	0,51		
	5	0,48 *	0,47 *	0,47 *	0,47	0,48	
	6	0,49	0,49	0,50	0,49		
Sala 5	1	0,51	0,51	0,52	0,51	0,50	0,47
	2	0,50	0,49	0,49	0,49		
	3	0,48	0,48	0,48	0,48	0,46	
	4	0,45	0,44	0,45	0,45		
	5	0,44 *	0,44 *	0,43 *	0,44	0,43	
	6	0,42 *	0,41 *	0,43 *	0,42		
Sala 7	1	0,57	0,57	0,58	0,57	0,50	0,41
	2	0,42	0,42	0,41	0,42		
	3	0,41	0,41	0,39	0,40	0,39	
	4	0,38	0,38	0,37	0,38		
	5	0,37	0,38	0,37	0,37	0,35	
	6	0,33	0,33	0,34	0,33		
Sala 16	1	0,55*	0,55*	0,56*	0,55	0,51	0,47
	2	0,47	0,48	0,46	0,47		
	3	0,49*	0,50*	0,50*	0,50	0,48	
	4	0,47*	0,45*	0,45*	0,46		
	5	0,44*	0,44*	0,43*	0,44	0,41	
	6	0,37*	0,38*	0,39*	0,38		

*Medição realizada com obstáculos na frente do recetor

Analisando os resultados mais pormenorizadamente, observa-se que na sala 2 os valores do RASTI os resultados são *bons* (Capítulo 3) quando o recetor está próximo da fonte. Consideram-se *suficientes* com o aumento da distância. No ponto 5, contrariando o expectável, apesar de estar em frente ao emissor o valor de RASTI é inferior ao ponto 6. Pode ser explicado pelo facto de se encontrar uma tela pertencente à exposição à frente do ponto 5, impedindo assim parte das ondas de origem direta, diminuindo a inteligibilidade. Observa-se também que a perda de inteligibilidade com a distância não é proporcional, havendo uma maior redução da zona 1 para a zona 2 do que da zona 2 para a zona 3. Na média total a sala 2 tem um RASTI de 0,53, o que é considerado *suficiente*.

Na sala 5 os valores do RASTI são inferiores ao da sala 2. Os valores são *suficientes*, nas duas primeiras zonas e *mediócras* na última zona da sala. A variação de valores com a distância já é mais proporcional, havendo um decaimento da zona 1 para a zona 2 de 0,4 e da zona 2 para a zona 3 um decaimento de 0,3. O fraco resultado da zona 3 pode ser explicado pelas telas pertencentes à exposição interferirem com as ondas sonoras diretas. No geral a sala 5 tem um valor de RASTI de 0,47, considerado *suficiente*.

Na sala 7 os valores do RASTI são os piores das salas ensaiadas, sendo que os seus valores passam de *suficientes* na primeira zona, para *mediócras* nas seguintes zonas. Esta sala tem particularidades que fazem com que estes valores sejam mais fracos do que nas restantes. Na sua arquitetura contém duas paredes semicilíndricas (com a concavidade voltada para a sala) nas extremidades que fazem com que as ondas sonoras se concentrem. Tem nas paredes laterais comunicação com os corredores funcionando como espaços acoplados. O valor global do RASTI na sala 7 é de 0,41, que é considerado *mediocre*.

Na sala 16 os valores do RASTI são parecidos com os da sala 5. Os valores são *suficientes* nas duas primeiras zonas e *mediocre* na terceira. Ao contrário das salas anteriores a variação de valores entre a zona 1 e zona 2 (0,3) é menor do que a variação de valores da zona 2 para a 3 (0,7). Isto pode-se dever ao facto de nesta sala haver muitas vitrines com exposições à frente da zona 3, interferindo com as ondas diretas. No geral a sala 16 tem um valor de RASTI médio de 0,47, considerado *suficiente*.

Analisando os valores médios de RASTI com o valor mínimo ideal (0,45) verifica-se que só a sala 7, com um valor de RASTI de 0,41, é que não cumpre esse requisito mínimo.

Pode-se também verificar que existe uma relação entre os valores do tempo de reverberação e do RASTI, sendo que quanto menor for o TR maior é o valor de RASTI (Fig. 5.29).

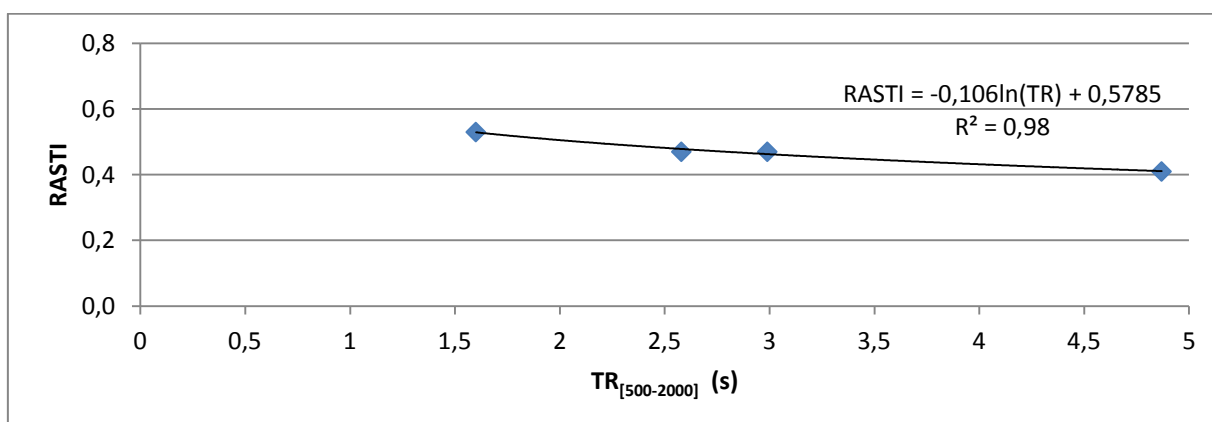


Fig. 5.29 – Relação entre os valores médios do RASTI e de TR_[500-2000] nas salas ensaiadas

6

INQUÉRITOS

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feita uma análise acústica subjetiva ao Museu Nacional Soares dos Reis tendo como base a realização de um inquérito sócio acústico, sendo os destinatários os visitantes e funcionários do museu. A decisão da realização de um inquérito, justifica-se com a necessidade de perceber o quanto o ruído no museu interfere com as pessoas que lá se encontram.

A elaboração do inquérito foi realizada tendo como base a norma NP 4476 de 2008, intitulada “Acústica. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos” [48]. Segundo a norma, em relatórios científicos, a apresentação da informação dos inquéritos deve seguir um conjunto de especificações mínimas, para ser possível efetuar comparações com outros inquéritos. Este inquérito não se enquadra exatamente no campo de aplicação da norma, razão pela qual, alguns itens foram eliminados pois não se ajustavam ao conjunto de especificações.

O inquérito foi realizado de 9 a 13 de Maio de 2012, dentro das instalações do Museu Nacional Soares dos Reis no Porto. O seu principal objetivo era quantificar a incomodidade dos diferentes tipos de ruído presentes no museu.

No questionário foi utilizado um sistema de preenchimento individual, distribuindo-se o inquérito aos visitantes para o preencherem no final da visita. Também foi entregue o inquérito a alguns dos funcionários do museu que faziam a vigilância nas salas. Não se fez qualquer exclusão na escolha dos inquiridos, fossem elas a idade, o género, ou outra condição.

O questionário utilizado (Anexos) começa por identificar o género e idade dos inquiridos, depois consiste em quatro perguntas, sendo que apenas três delas é que estão diretamente relacionadas com o propósito pelo qual foi feito o inquérito. Com a primeira questão, a única que não estava relacionada com o propósito da realização do inquérito, pretendia-se saber a razão da visita ao museu, distinguindo assim quem estava lá por lazer ou por visita de estudo ou por trabalho. Com a segunda questão desejava-se saber se os ruídos existentes no museu incomodavam ou não as pessoas. Com a terceira pergunta, destinadas às pessoas que efetuavam visitas guiadas, pretendia-se saber o quanto os visitantes percebiam e/ou entendiam o guia, e com isso ter uma ideia da inteligibilidade da palavra nas salas. Finalmente com a quarta questão desejava-se saber a impressão geral que as pessoas tiveram sobre o ruído do museu, sendo pedido que avaliassem a acústica no museu. As questões colocadas são as seguintes:

- Género;
- Idade;

- Q. 1. - Qual a razão que o (a) leva a se encontrar no Museu;
- Q. 2.1 - Avalie o seguinte ruído: Ruído de conversação dentro da própria sala;
- Q. 2.2 - Avalie o seguinte ruído: Ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos;
- Q. 2.3 - Avalie o seguinte ruído: Ruído de percussão (passos, saltos, bater de portas, etc.);
- Q. 2.4 - Avalie o seguinte ruído: Ruído exterior (tráfego, etc.);
- Q. 2.5 - Avalie o seguinte ruído: Ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento;
- Q. 3 - Consegue ouvir e perceber bem o (a) guia durante a visita?;
- Q. 4 - Indique como avalia em termos acústicos (ruído) este Museu.

Foram recolhidos e preenchidos cinquenta e seis inquéritos estando discriminado no Quadro 6.1 as respostas respondidas e não respondidas.

As principais fontes de ruído encontradas no museu são as pessoas (quer o andar ou a conversação entre elas), o ruído do tráfego da Rua D. Manuel II e o sistema AVAC, sendo que os seus valores de níveis sonoros foram já discutidos no Capítulo 5.

Quadro 6.1 – Número de respostas válidas para o inquérito

	Género	Idade	Q. 1	Q. 2.1	Q. 2.2	Q. 2.3	Q. 2.4	Q. 2.5	Q. 3	Q. 4
Válido	56	56	56	56	56	56	56	55	25	55
Não Respondido	0	0	0	0	0	0	0	1	31	1

6.2. ANÁLISE DAS RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO

6.2.1. GÉNERO E IDADE

As respostas à primeira parte do questionário encontram-se no Quadro 6.2 e Quadro 6.3.

Num universo de 56 inquiridos verifica-se que a maior parte deles pertence ao sexo feminino, 59%, e têm em geral a idade compreendida entre os 31 e 45 anos, 36%.

Quadro 6.2 – Respostas à questão do género do inquirido

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)
Feminino	33	58,9	58,9
Masculino	23	41,1	41,1
Total	56	100,0	100,0

Quadro 6.3 – Respostas à questão da idade do inquirido

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)	Percentagem Acumulativa (%)
Menos de 18 anos	8	14,3	14,3	14,3
18-30 anos	9	16,1	16,1	30,4
31-45 anos	20	35,7	35,7	66,1
46-65 anos	16	28,6	28,6	94,6
Mais de 65 anos	3	5,4	5,4	100,0
Total	56	100,0	100,0	

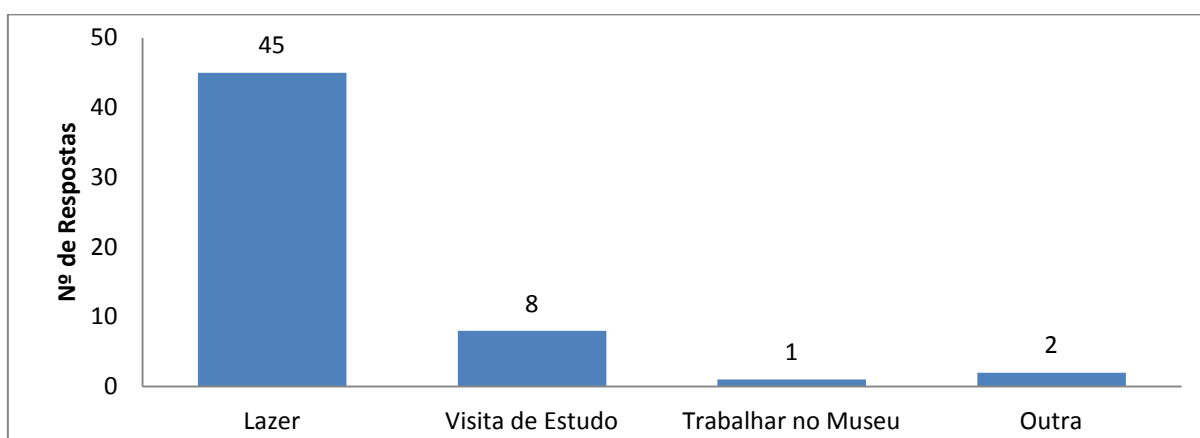
6.2.2. QUESTÃO 1

As respostas à questão 1, *porque razão se encontra no museu*, encontram-se representadas no Quadro 6.4 e Fig. 6.1.

Observando as 56 respostas dos inquiridos verifica-se que a maior parte, 80%, se encontra no museu por lazer, sendo que a segunda maior razão é por visita de estudo, 14%.

Quadro 6.4 – Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 1, *qual a razão porque se encontra no museu*

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)
Lazer	45	80,4	80,4
Outra	2	3,6	3,6
Trabalhar no Museu	1	1,8	1,8
Visita de Estudo	8	14,3	14,3
Total	56	100,0	100,0

Fig. 6.1 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 1, *qual a razão porque se encontra no museu*

6.2.3. QUESTÃO 2.1

As respostas à questão 2.1, dizer o *quão incomodativo é o ruído de conversação dentro da própria sala*, encontram-se indicadas no Quadro 6.5 e Figura 6.2.

Tendo em consideração as 56 respostas dadas verifica-se que 73% da amostra respondeu que o ruído das conversações na própria sala onde se encontrava *não incomodava*, enquanto que 25% respondeu que *incomodava um pouco*. Apenas 2% das pessoas se encontraram *muito incomodadas* pelo ruído em questão.

Quadro 6.5 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.1, *quão incomodativo é o ruído de conversação dentro da própria sala*

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)	Percentagem Acumulativa (%)
Não Incomoda	41	73,2	73,2	73,2
Incomoda Pouco	14	25,0	25,0	98,2
Incomoda Muito	1	1,8	1,8	100,0
Total	56	100,0	100,0	

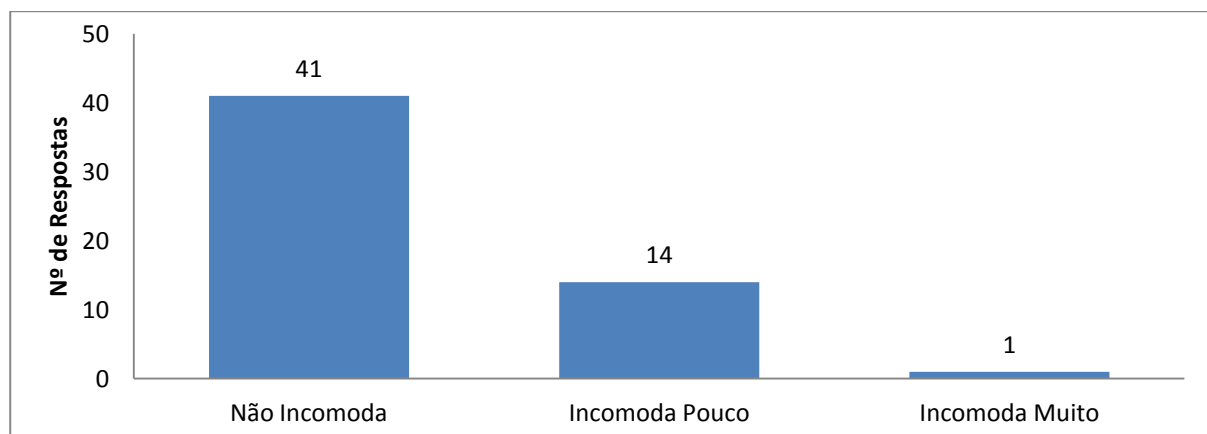


Fig. 6.2 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.1, *quão incomodativo é o ruído de conversação dentro da própria sala*

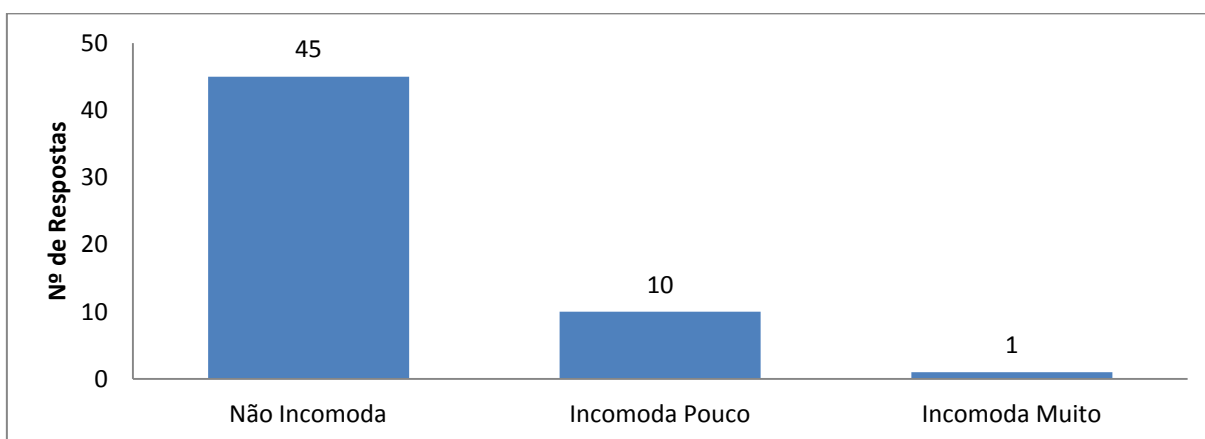
6.2.4. QUESTÃO 2.2

As respostas à questão 2.2, dizer o *quão incomodativo é o ruído proveniente de outras salas*, encontram-se indicadas no Quadro 6.6 e Figura 6.3.

Num universo de 56 inquiridos, 80% das pessoas *não se sentiram incomodadas* pelo ruído proveniente de outras salas, 18% dos inquiridos sentiram-se *um pouco incomodados* e apenas 2% se sentiu *muito incomodado*. Comparando estes resultados com a questão anterior, verifica-se que as pessoas se sentem mais incomodadas com o ruído da própria sala.

Quadro 6.6 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.2, *quão incomodativo é o ruído proveniente de outras salas*

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)	Percentagem Acumulativa (%)
Não Incomoda	45	80,4	80,4	80,4
Incomoda Pouco	10	17,9	17,9	98,2
Incomoda Muito	1	1,8	1,8	100,0
Total	56	100,0	100,0	

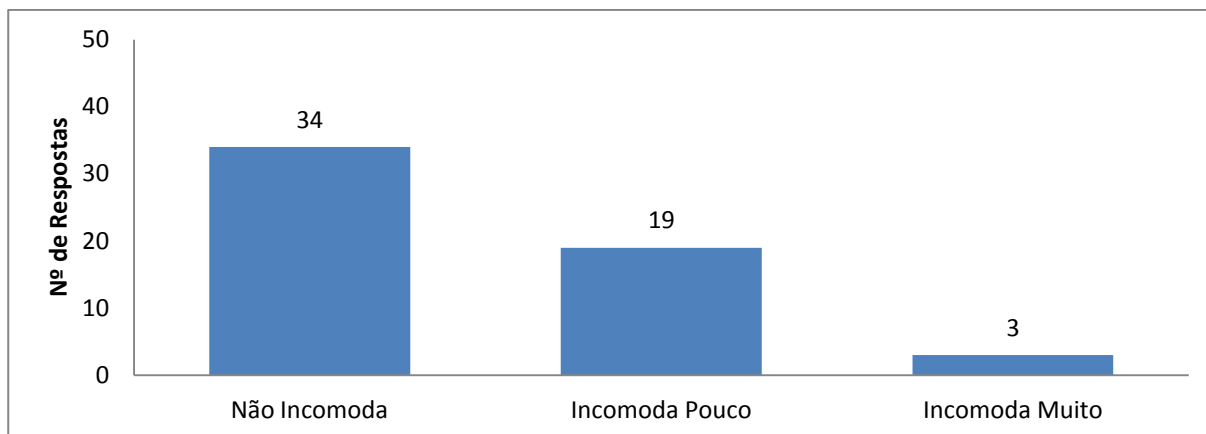
Fig. 6.3 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.2, *quão incomodativo é o ruído proveniente de outras salas*

6.2.5. QUESTÃO 2.3

As repostas à questão 2.3, *dizer o quão incomodativo é o ruído de percussão* (passos, saltos, bater de portas, etc.), encontram-se indicadas no Quadro 6.7 e Figura 6.4.

Quadro 6.7 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.3, *quão incomodativo é o ruído de percussão*

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)	Percentagem Acumulativa (%)
Não Incomoda	34	60,7	60,7	60,7
Incomoda Pouco	19	33,9	33,9	94,6
Incomoda Muito	3	5,4	5,4	100,0
Total	56	100,0	100,0	

Fig. 6.4 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.3, *quão incomodativo é o ruído de percussão*

Tendo em consideração as 56 respostas dadas verifica-se que 61% da amostra respondeu que o ruído de percussão *não incomodava*, enquanto que 34% respondeu que *incomodava um pouco*. Apenas 5% das pessoas se encontraram *muito incomodadas* pelo ruído em questão. Comparando estes resultados com as duas questões anteriores, verifica-se que as pessoas se sentem mais incomodadas com o ruído percussão, sendo este o ruído que as pessoas mais queixas têm.

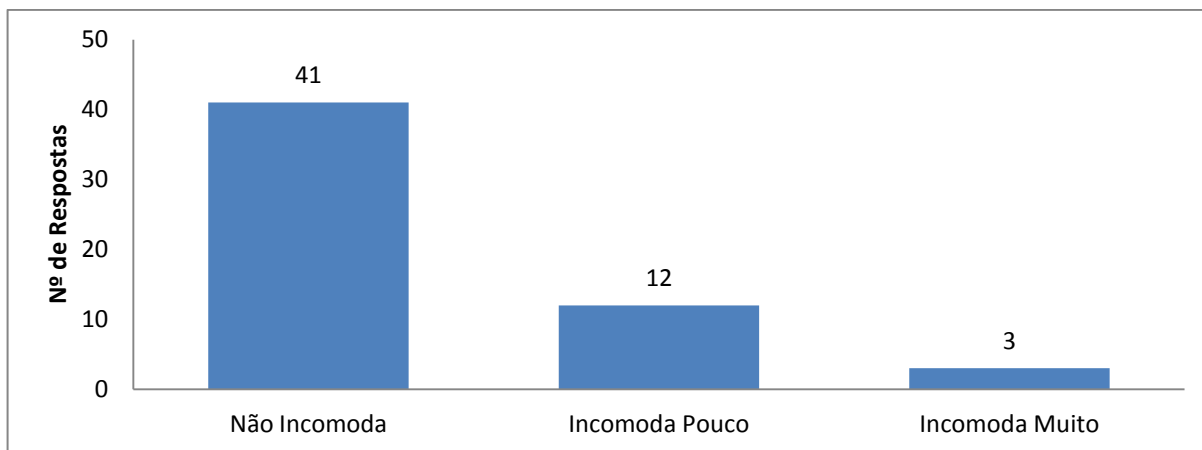
6.2.6. QUESTÃO 2.4

As respostas à questão 2.4, dizer o *quão incomodativo é o ruído exterior*, encontram-se indicadas no Quadro 6.8 e Figura 6.5.

Num universo de 56 inquiridos, 73% das pessoas *não se sentiram incomodadas* pelo ruído exterior, 21% dos inquiridos sentiram-se *um pouco incomodados* e apenas 5% se sentiu *muito incomodado*. Comparando com as questões anteriores constata-se que este tipo de ruído incomoda mais que as conversações na própria sala e de que o dos provenientes de outras salas, no entanto incomoda menos que o ruído de percussão.

Quadro 6.8 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.4, *quão incomodativo é o ruído exterior*

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)	Percentagem Acumulativa (%)
Não Incomoda	41	73,2	73,2	73,2
Incomoda Pouco	12	21,4	21,4	94,6
Incomoda Muito	3	5,4	5,4	100,0
Total	56	100,0	100,0	

Fig. 6.5 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.4, *quão incomodativo é o ruído exterior*

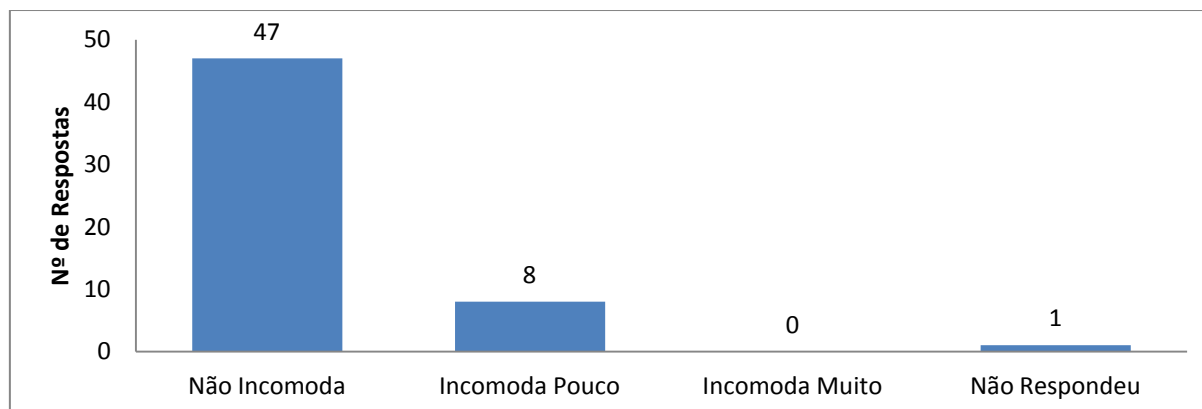
6.2.7. QUESTÃO 2.5

As respostas à questão 2.5, dizer o *quão incomodativo é o ruído do sistema de ventilação/aquecimento*, encontram-se indicadas no Quadro 6.9 e Figura 6.6.

Num universo de 56 inquiridos, apenas 55 responderam a esta questão. Das respostas válidas, 84% das pessoas *não se sentiram incomodadas* pelo ruído do AVAC, 14% dos inquiridos sentiram-se *um pouco incomodados*. Comparando com as questões anteriores verifica-se que o ruído proveniente do AVAC é o que incomoda menos aos inquiridos.

Quadro 6.9 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.5, *quão incomodativo é o ruído do AVAC*

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)	Percentagem Acumulativa (%)
Não Incomoda	47	83,9	85,5	85,5
Incomoda Pouco	8	14,3	14,5	100,0
Incomoda Muito	0	0,0	0,0	100,0
Total Parcial	55	98,2	100,0	
Não Respondido	1	1,8		
Total	56	100,0		

Fig. 6.6 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 2.5, *quão incomodativo é o ruído do AVAC*

6.2.8. QUESTÃO 3

As respostas à questão 3, *o quanto se ouve/percebe bem o guia nas visitas guiadas*, encontram-se representadas no Quadro 6.10 e Fig. 6.7.

Dos 56 inquéritos preenchidos, apenas 25 pessoas tiveram numa visita guiada e responderam a esta pergunta. Dessas, 52%, responderam que conseguiam ouvir/perceber a guia extremamente bem. A maior parte dos inquiridos também fez uma apreciação positiva deste parâmetro, sendo que as respostas se encontram avaliadas positivamente (mais do que 4 valores).

Quadro 6.10 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 3, *o quanto ouve/percebe o guia*

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)	Percentagem Acumulativa (%)
1, 2, 3	0	0,0	0,0	0,0
4	2	3,6	8,0	8,0
5	4	7,1	16,0	24,0
6	6	10,7	24,0	48,0
7	13	23,2	52,0	100,0
Total Parcial	25	44,6	100,0	
Não Respondido	31	55,4		
Total	56	100,0		

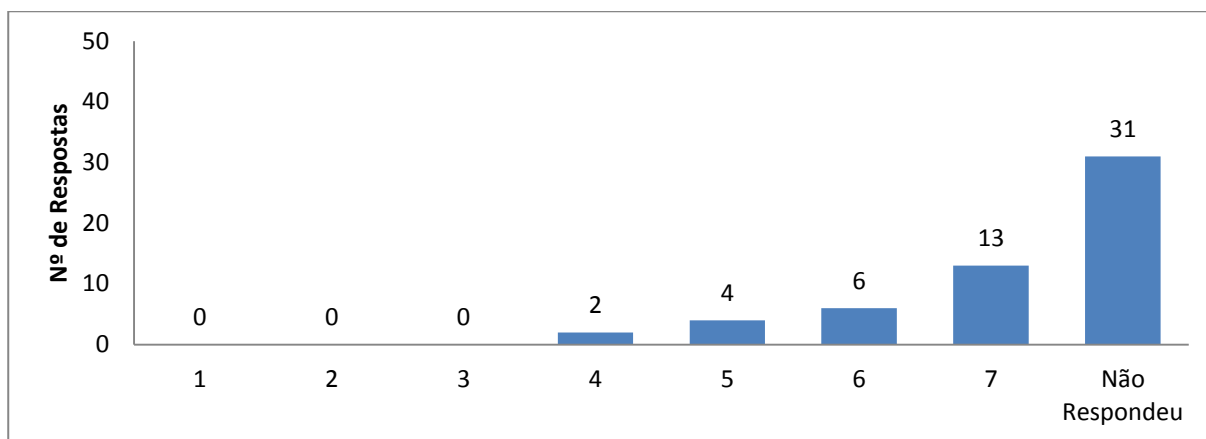


Fig. 6.7 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 3, *o quanto ouve/percebe o guia*

6.2.9. QUESTÃO 4

As respostas à questão 4, *a avaliação acústica do museu*, encontram-se representadas no Quadro 6.11 e Fig. 6.8.

Num universo de 56 inquiridos, 55 responderam a esta questão. Destas, 51% dão a pontuação máxima às condições acústicas do museu, atribuindo a cotação de *Bom*, 38% dos inquiridos considerou que a acústica do museu era *Suficiente* e 11% atribui uma avaliação *neutra*. Constata-se que ninguém deu

uma nota negativa à acústica global do museu, podendo-se assim considerar este teve uma avaliação positiva em termos de incomodidade.

Quadro 6.11 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 4, *avaliação acústica do museu*

	Frequência	Percentagem (%)	Percentagem Respondido (%)	Percentagem Acumulativa (%)
Nem Bom Nem Mau	6	10,7	10,9	10,9
Suficiente	21	37,5	38,2	49,1
Bom	28	50,0	50,9	100,0
Total Parcial	55	98,2	100,0	
Não Respondido	1	1,8		
Total	56	100,0		

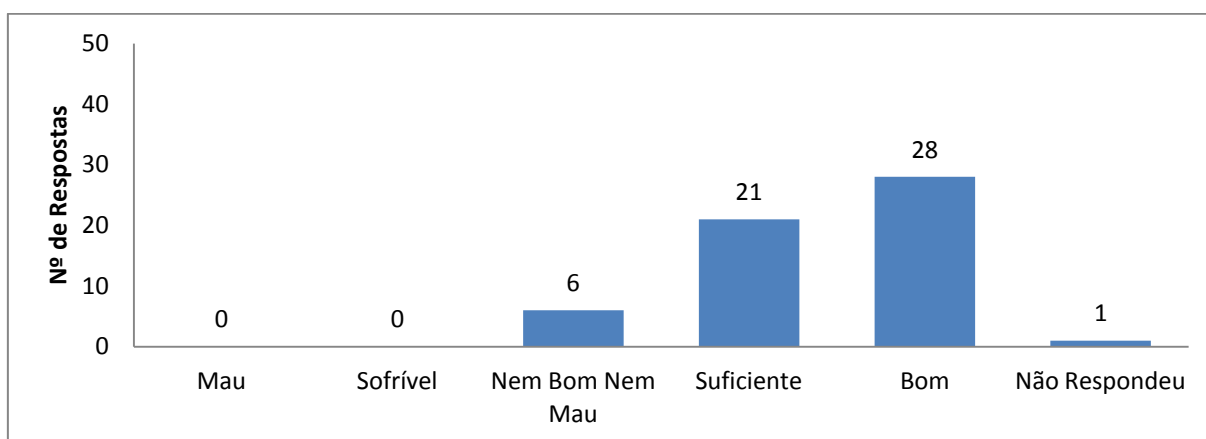


Fig. 6.8 - Distribuição das respostas dos inquiridos à questão 4, avaliação acústica do museu

7

ANÁLISE MULTICRITÉRIO

7.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é desenvolvida uma metodologia multicritério de modo a caracterizar globalmente o comportamento acústico interior do Museu Nacional Soares dos Reis. A metodologia multicritério já foi utilizada anteriormente para caracterizar a qualidade acústica de espaços públicos. (igrejas, salas de tribunais e bibliotecas). As teses “Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em salas de audiência de tribunais” [49]; “Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em igrejas” [50] e “Aplicação da metodologia multi-critério à qualidade acústica de bibliotecas públicas” [51], são exemplos de dissertações onde foi desenvolvido um algoritmo para determinar a qualidade acústica de espaços públicos. No presente capítulo procura-se desenvolver um método que consiga qualificar a acústica do museu tentando traduzir os parâmetros objetivos avaliados numa escala de índice único que possa ser comparável com outros. Das teses acima mencionadas, só a das salas de tribunais e a das bibliotecas públicas foram utilizadas para auxiliar o desenvolvimento da metodologia multicritério, pois são os espaços que mais se aproximam do que se pretende fazer para os museus.

7.2. DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO

O método multicritério utilizado é um método aditivo que se enquadra no ramo do discreto e determinístico. O método aditivo adapta-se facilmente a diversos tipos de problemas e consiste na valorização de diversos critérios com pesos diferentes, refletindo assim as preferências do decisor. Pode ser representado pela equação 7.1.

$$f(a) = \sum_{i=1}^n w_i(x_i(a)) \quad (7.1)$$

Onde f representa a transformação dos valores dos critérios convertendo-os à mesma escala, evitando problemas com unidades, w representa o coeficiente de ponderação (peso) que os critérios possuem e x representa os próprios critérios [51].

É então necessário decidir os critérios e os seus pesos relativos.

Depois do estudo das duas dissertações acima mencionadas, concluiu-se que os parâmetros acústicos que irão ser os critérios de decisão de avaliação da qualidade global acústica do museu, são:

- tempo de reverberação, TR;
- *Rapid Speech Transmission Index*, RASTI;

- nível sonoro de ruído de fundo com equipamentos de climatização, L_{Aeq} (AVAC);
- índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, $L'_{nT, w}$;
- índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores, $D_{2m, nT, w}$.

Estes parâmetros foram escolhidos por serem os que melhor retratam as qualidades acústicas que um museu deve ter. O tempo de reverberação de uma sala é sempre importante para o conforto e qualidade acústica. Os valores de RASTI de um compartimento são fundamentais para uma boa percepção da palavra, essencial para visitas guiadas. Relativamente ao nível sonoro de ruído de fundo com AVAC, ao índice de isolamento sonoro aos ruídos de percussão e ao índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores, estes parâmetros são importantes para o conforto no interior das salas do museu.

Depois de decididos os parâmetros a utilizar define-se as escalas de valores dos critérios. A escala adotada tem uma cotação de 0 a 20 valores, sendo a cotação de 0 valores representativa do pior resultado oposto à cotação de 20 valores, a melhor situação.

Começando com o tempo de reverberação, estão indicados no Quadro 7.1, os valores que cada intervalo de TR equivale na cotação de 0 a 20 (c_{TR}). Decidiu-se atribuir cotação positiva ao intervalo de tempo de 0,6 a 2,6 s. Foi atribuído a cotação de 20 valores ao intervalo dos [1,0 ; 1,2[.

Os valores de RASTI estão representados no Quadro 7.2 com as cotações correspondentes para cada intervalo de valores na escala de 0 a 20 valores (c_{RASTI}). Considerando que o intervalo de valores ideais de RASTI é de 0,45 até 0,75, decidiu-se avaliar todos os valores abaixo e acima desse intervalo como negativos, uma vez que se considera importante ter boa percepção das palavras do guia e também conseguir manter simultaneamente alguma privacidade para os visitantes que a apreciem.

Para o nível sonoro do ruído de fundo com equipamentos AVAC, estão indicados no Quadro 7.3 as cotações para os diferentes valores (c_{LAeq}). Neste critério atribuiu-se a cotação máxima aos níveis sonoros abaixo de 25 dB(A). Como o valor máximo para este parâmetro é de 45 dB(A), atribuiu-se a este valor uma cotação neutra de 10 valores. Valores acima desse limite obtêm cotações negativas.

Para o índice de isolamento sonoro aos ruídos de percussão ($L'_{nT, w}$) estão representados no Quadro 7.4 as cotações para os diferentes valores ($c_{L'_{nT, w}}$). Neste caso optou-se por seguir as mesmas pontuações que Maganinho [51] utilizou para este parâmetro porque as condições acústicas para uma biblioteca assemelham-se a um museu. Assim a decisão apoia-se no Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE) e é atribuído a cotação de 15 valores ao valor máximo imposto pelo regulamento para edifícios habitacionais (50 dB), e a cotação de 5 valores ao valor máximo imposto aos edifícios escolares de 60 dB.

O índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores ($D_{2m, nT, w}$) tem os seus valores indicados no Quadro 7.5 ($c_{D_{2m, nT, w}}$). Mais uma vez, a decisão para este parâmetro teve o auxílio de Maganinho [51], que se apoia no RRAE. Assim considera-se que a cotação média de 10 valores é atribuída ao valor mínimo de 33 dB para isolamento a ruídos por condução aérea das paredes exteriores para zonas mistas.

Quadro 7.1 – Escala de valores para o critério $TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$

$TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$ (s)	Cotação c_{TR}
[0,0 ; 0,2[	0
[0,2 ; 0,4[	4
[0,4 ; 0,6[	8
[0,6 ; 0,8[	12
[0,8 ; 1,0[	16
[1,0 ; 1,2[	20
[1,2 ; 1,4[	19
[1,4 ; 1,6[	18
[1,6 ; 1,8[	17
[1,8 ; 2,0[	16
[2,0 ; 2,2[	14
[2,2 ; 2,4[	12
[2,4 ; 2,6[	10
[2,6 ; 2,8[	8
[2,8 ; 3,0[	6
[3,0 ; 3,2[	4
[3,2 ; 3,4[	2
[3,4 ; 3,8[	1
$\geq 3,8$	0

Quadro 7.2 - Escala de valores para o critério RASTI

RASTI médio	Cotação c_{RASTI}
[0,00 ; 0,10[	0
[0,10 ; 0,15[	2
[0,15 ; 0,20[	3
[0,20 ; 0,25[	4
[0,25 ; 0,30[	5
[0,30 ; 0,35[	6
[0,35 ; 0,40[	7
[0,40 ; 0,45[	8
[0,45 ; 0,50[	10
[0,50 ; 0,55[	13
[0,55 ; 0,60[	17
[0,60 ; 0,65[	20
[0,65 ; 0,70[	15
[0,70 ; 0,75[	10
[0,75 ; 0,80[	9
[0,80 ; 0,85[	8
[0,85 ; 0,90[	7
[0,90 ; 1,00]	6

Quadro 7.3 - Escala de valores para o critério nível sonoro de ruído de fundo com AVAC

$L_{A\text{ eq}}$ (AVAC) (dB)	Cotação $c_{L_{A\text{ eq}}}$
≤ 25	20
[26 ; 27]	19
[28 ; 29]	18
[30 ; 31]	17
[32 ; 33]	16
[34 ; 35]	15
[36 ; 37]	14
[38 ; 39]	13
[40 ; 41]	12
[42 ; 43]	11
[44 ; 45]	10
46	8
47	6
48	4
49	2
≥ 50	0

Quadro 7.4 - Escala de valores para o critério índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão

$L'_{nT,w}$ (dB)	Cotação $c_{L'nT,w}$
≤ 45	20
46	19
47	18
48	17
49	16
50	15
51	14
52	13
53	12
54	11
55	10
56	9
57	8
58	7
59	6
60	5
61	4
62	3
63	2
64	1
≥ 65	0

Quadro 7.5 - Escala de valores para o critério índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores

$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Cotação $c_{D2m,nT,w}$
≥ 43	20
42	19
41	18
40	17
39	16
38	15
37	14
36	13
35	12
34	11
33	10
32	9
31	8
30	7
29	6
28	5
27	4
26	3
25	2
24	1
≤ 23	0

Depois de definidos os critérios e as suas escalas de valores, atribui-se um peso relativo a cada um. Considera-se que o tempo de reverberação é o critério que mais influencia na qualidade acústica de compartimentos e é dado um peso de 40%. O RASTI também é um critério que tem influências nas visitas guiadas ao museu, pelo que se atribui um peso de 20%. Para os restantes critérios a decisão foi apoiada nos resultados dos inquéritos realizados no museu, que embora não sejam totalmente fidedignos, conseguem dar uma ideia aproximada da importância relativa de cada um. Assim decidiu-se atribuir uma ponderação de 20% aos critérios índice de isolamento sonoro aos ruídos de percussão, e de 10% aos critérios de nível sonoro de ruído de fundo com equipamentos de climatização e de índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores (Quadro 7.6).

Assim o algoritmo para a determinação da avaliação da qualidade global acústica do museu, representada pelo Índice de Qualidade Acústica de Museus (*IQAM*), é expresso pela equação 7.2.

A escala de conversão do valor do resultado obtido do *IQAM* vem representada no Quadro 7.7

Quadro 7.6 – Peso de cada critério do algoritmo

Critério	Peso (%)
TR	40
RASTI	20
$L_{Aeq}(AVAC)$	10
$L'_{nT,w}$	20
$D_{2m,nT,w}$	10

$$IQAM = 0,4 \times c_{TR} + 0,2 \times c_{RASTI} + 0,1 \times c_{L_{Aeq}(AVAC)} + 0,2 \times c_{L'_{nT,w}} + 0,1 \times c_{D_{2m,nT,w}} \quad (7.2)$$

Quadro 7.7 – Escala subjetiva de conversão dos valores do IQAM obtidos pelo método multicritério

Classificação	IQAM
Excelente	[17 ; 20]
Muito Bom	[15 ; 17[
Bom	[13 ; 15[
Suficiente	[10 ; 13[
Medíocre	[7 ; 10[
Mau	[5 ; 7[
Muito Mau	[3 ; 5[
Péssimo	[0 ; 3[

7.3. APLICAÇÃO DO ALGORITMO

Aplicando o método multicritério às salas ensaiadas do Museu Nacional Soares dos Reis obtém-se os resultados representados no Quadro 7.8.

Os parâmetros índice de isolamento sonoro aos ruídos de percussão e índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores não foram avaliados. Contudo, perante a visita às instalações do museu, atribuiu-se uma cotação de 12 valores ao parâmetro do índice de isolamento sonoro aos ruídos de percussão, uma vez que não se ouvia ruídos de percussão provenientes do piso superior. Considerou-se também que no parâmetro do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores, as salas 2 e 16 tivessem uma cotação de 8 valores pelo facto de as fachadas estarem mal isoladas acusticamente e as salas 5 e 7 obtivessem uma cotação de 12 valores pelo facto de estarem bem isoladas. Outro reparo a fazer é que na sala 16, como o AVAC estava inoperacional, arbitrou-se o valor de 42 dB(A) como nível sonoro de ruído de fundo com AVAC. O tempo de reverberação utilizado foi o $TR_{[500-1k]}$, para assim se adaptar a museus estrangeiros que não sigam o regulamento português.

Verifica-se pelos resultados obtidos que as salas com avaliação positiva são a sala 2, com um valor de IQAM de 13,0, correspondente a *Bom*, e a sala 5, com uma cotação de 10,0 valores, correspondente a *Suficiente*. As restantes salas do museu são consideradas *Medíocre* e *Má*, com valores de IQAM de 7,9 e 6,2. Comparando os resultados obtidos do IQAM com a resposta ao inquérito realizado no MNSR sobre o que acharam sobre a qualidade global do museu, observa-se que há uma ligeira discrepância: todos os inquiridos responderam que a qualidade acústica era positiva, enquanto que no método multicritério, só as salas 2 e 5 obtiveram uma classificação positiva. Esta divergência pode ser devida

ao facto de nem todos os critérios do método multicritério desenvolvido terem sido avaliados, fazendo com que o resultado final possa sofrer alterações, aumentando a sua classificação. Outra possibilidade é facto dos inquiridos, ao estarem no museu, colocarem a importância da qualidade acústica dentro deste num segundo plano, estando mais interessados nas coleções expostas, e portanto não prestarem tanta atenção aos problemas acústicos existentes, o que por sua vez pode influenciar o resultado atribuído à qualidade acústica global no MNSR. Outro aspeto é que o inquérito foi realizado avaliando todas as salas do MNSR, enquanto o método multicritério foi apenas realizado para as salas maiores do museu, e assim mais propícias de terem piores resultados acústicos.

Para contabilizar o facto de que nas salas de maior dimensão serem necessárias mais correções acústicas, para terem as mesmas condições das mais pequenas, sugere-se que futuramente se faça um aperfeiçoamento ao método multicritério aplicado. Dever-se-á atribuir uma ponderação em relação às dimensões das salas, dividindo a área de cada sala pela área de todas as salas. A expressão demonstrada na equação 7.3 traduz esse aperfeiçoamento introduzido, A_{Si} é a área de cada sala, A_T é a área total das salas do museu.

Quadro 7.8 – Valores dos critérios e classificação IQAM das salas ensaiadas do MNSR

	TR (s)	c _{TR}	RASTI	c _{RASTI}	L _{A,eq(AVAC)} (dB)	c _{LA,eq(AVAC)}	L' _{nt,w} (dB)	c _{L'nt,w}	D _{2m,nt,w} (dB)	c _{D2m,nt,w}	IQAM	Resultado
Sala 2	1,6	17	0,53	13	47	6	n.a.	12	n.a.	8	13,2	Bom
Sala 5	2,6	8	0,47	10	40	12	n.a.	12	n.a.	12	10	Suficiente
Sala 7	5,1	0	0,41	8	45	10	n.a.	12	n.a.	12	6,2	Mau
Sala 16	3,1	4	0,47	10	42*	11	n.a.	12	n.a.	8	7,9	Medíocre

n.a – não avaliado

*Valor de nível sonoro de ruído de fundo sem visitantes e sem AVAC;

$$IQAM = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{Si}}{A_T} \times (0,4 \times c_{TRi} + 0,2 \times c_{RASTIi} + 0,1 \times c_{LA,eq(AVAC)i} + 0,2 \times c_{L',nT,wi} + 0,1 \times c_{D2m,nT,wi}) \right) \quad (7.3)$$

8

COMPARAÇÃO COM MUSEUS MODERNOS

8.1. INTRODUÇÃO

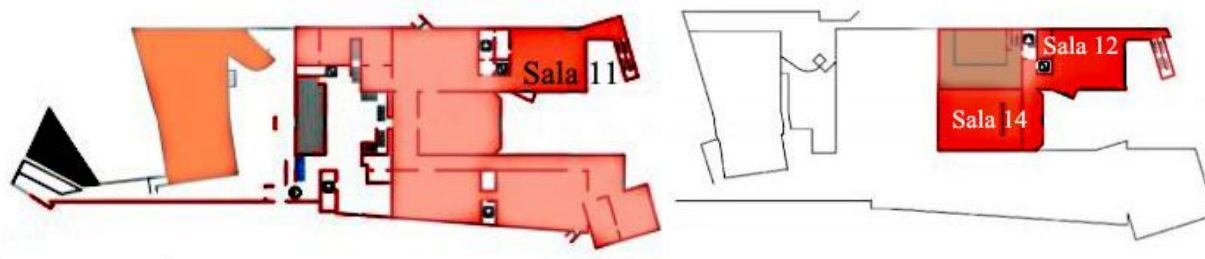
Neste capítulo é efetuada a comparação do Museu Nacional Soares dos Reis (Portugal), um museu de tipologia “tradicional”, com o Museu de Serralves (Portugal) e o Museu Nacional da Islândia (Islândia), ambos considerados de tipologia “moderna”. Com isto pretende-se estabelecer relações que possam existir entre parâmetros acústicos nestes museus e assim distinguir as duas tipologias de museu.

Os dados aqui utilizados sobre o Museu de Serralves constam da dissertação MIEC de Hélder Gonçalves [52], embora na altura em que este trabalho está a ser realizado não tenham sido ainda publicados. Os dados utilizados sobre o Museu Nacional da Islândia foram retirados da dissertação de 2008, “*Museum Acoustics*”, elaborada por Guðrún Jónsdóttir da Universidade Técnica da Dinamarca [32]. Infelizmente esta dissertação não dispõe de todos os dados necessários para fazer uma comparação a todos os parâmetros pelo que só se utilizarão os existentes.

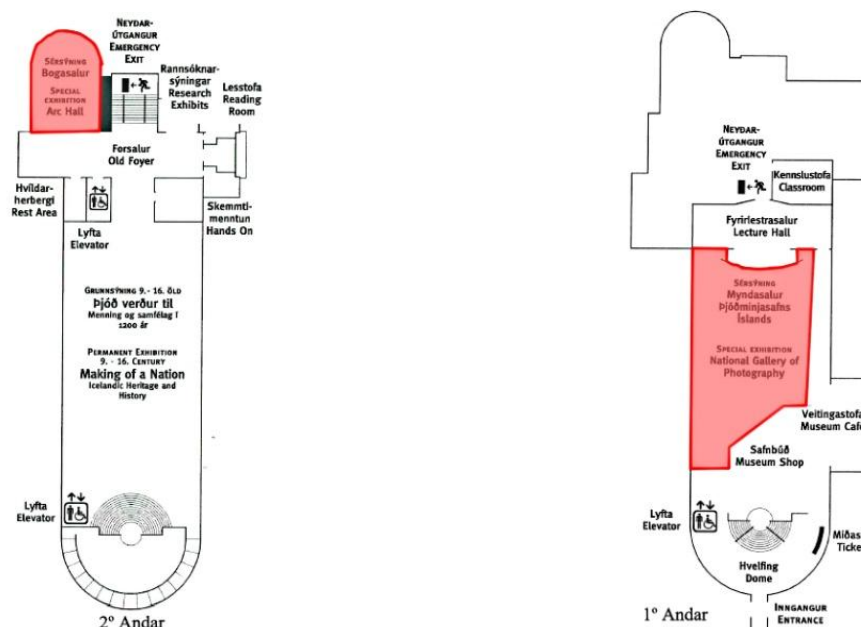
Os parâmetros comparados são o tempo de reverberação, o RASTI, o nível de pressão sonora e níveis sonoros do ruído de fundo dos compartimentos sem visitantes e com o AVAC ligado. Não se comparou o nível sonoro de ruído de fundo sem visitantes e sem AVAC nem os níveis sonoros de ruído de fundo com visitantes porque estes dois parâmetros dependem de fatores externos à construção e tipologia do museu, como por exemplo o seu local de inserção e a quantidade de pessoas que o visitam.

As salas dos museus representativas de tipologia moderna para esta comparação são as 11, 12 e 14 do Museu de Serralves (Figs. 8.1 e 8.2) e a *Gallery of Photography* e o *Arc Hall* do Museu Nacional da Islândia (Figs. 8.3 e 8.4).

As características volumétricas das salas a comparar estão descritas no Quadro 8.1 e representadas na Fig. 8.5.



Figs. 8.1 e 8.2 – Plantas da sala 11 (esq.) e das salas 12 e 14 (dir.) do Museu de Serralves [52]



Figs. 8.3 e 8.4 – Plantas do Arc Hall (esq.) e Gallery of Photography (dir.) do Museu Nacional da Islândia [32]

Quadro 8.1 – Volumetria das salas a comparar

	Sala	Área (m ²)	Volume (m ³)
Museu Nacional Soares dos Reis	Sala 2	116	348
	Sala 5	123	507
	Sala 7	178	990
	Sala 16	106	709
Museu de Serralves	Sala 11	268	1760
	Sala 12	262	1350
	Sala 14	159	1070
Museu Nacional da Islândia	Arc Hall	105	115
	Gallery of Photography	-	-

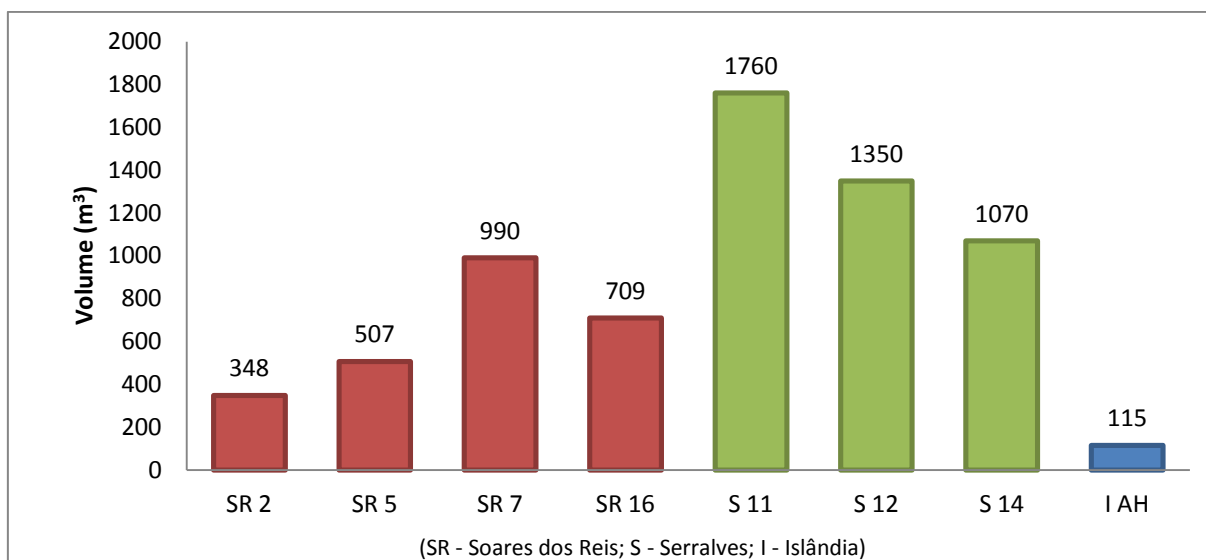


Fig. 8.5 – Valores dos volumes das salas comparadas

8.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O Quadro 8.2 e a Fig. 8.6 apresentam os valores médios do tempo de reverberação das salas para as bandas de frequência médias de 500 e 1000 Hz.

Analisando os valores obtidos verifica-se que a sala 7 do MNSR é a que tem o valor de tempo de reverberação mais alto, com 5,1 s. Seguem-se as salas do MS com valores de tempo de reverberação de 4,3 e 4,0 s. As salas 16, 5 e 2 do MNSR têm valores compreendidos entre 3,1 e 1,6 s. As salas do MNI são as que têm os valores do tempo de reverberação mais baixo, com 1,8 e 1,5 s. Constata-se assim que apenas a sala 2 do MNSR e a Gallery of Photography do MNI cumprem o tempo de reverberação ideal recomendado (1,6 s).

Fazendo uma relação destes valores de tempo de reverberação com os volumes das próprias salas obtém-se os resultados representados na Fig.8.7.

Quadro 8.2 – Valores médios de $TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$ das salas comparadas

	Sala	$TR_{[500, 1k\text{ Hz}]}$ (s)
Museu Nacional Soares dos Reis	Sala 2	1,6
	Sala 5	2,6
	Sala 7	5,1
	Sala 16	3,1
Museu de Serralves	Sala 11	4,3
	Sala 12	4,0
	Sala 14	4,0
Museu Nacional da Islândia	<i>Arc Hall</i>	1,8
	<i>Gallery of Photography</i>	1,5

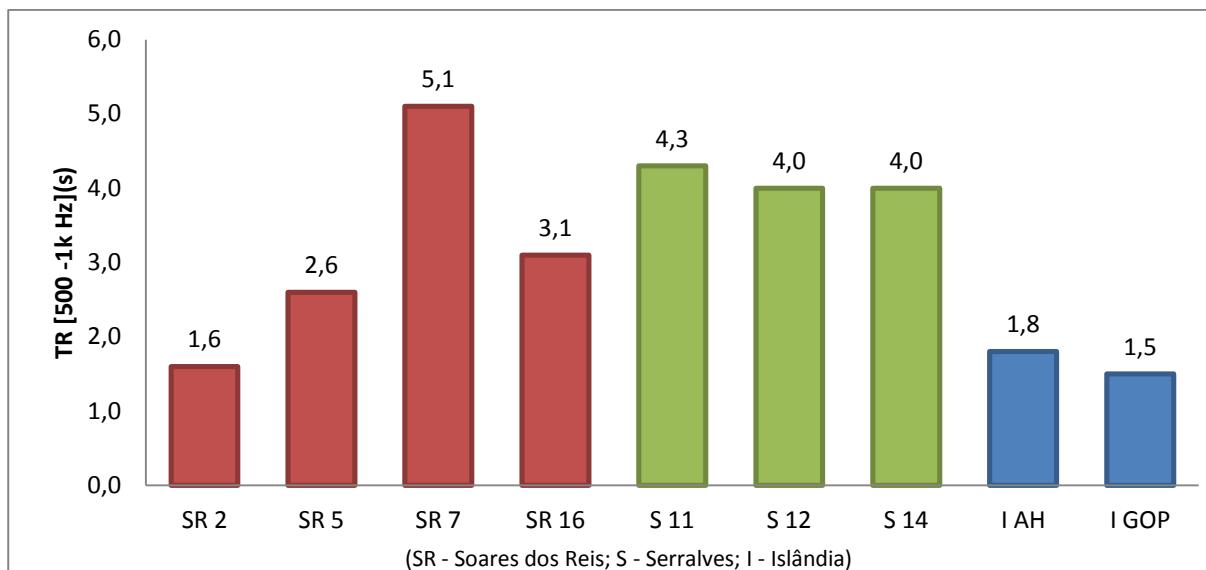


Fig. 8.6 - Valores médios de TR [500- 1k Hz] das salas comparadas

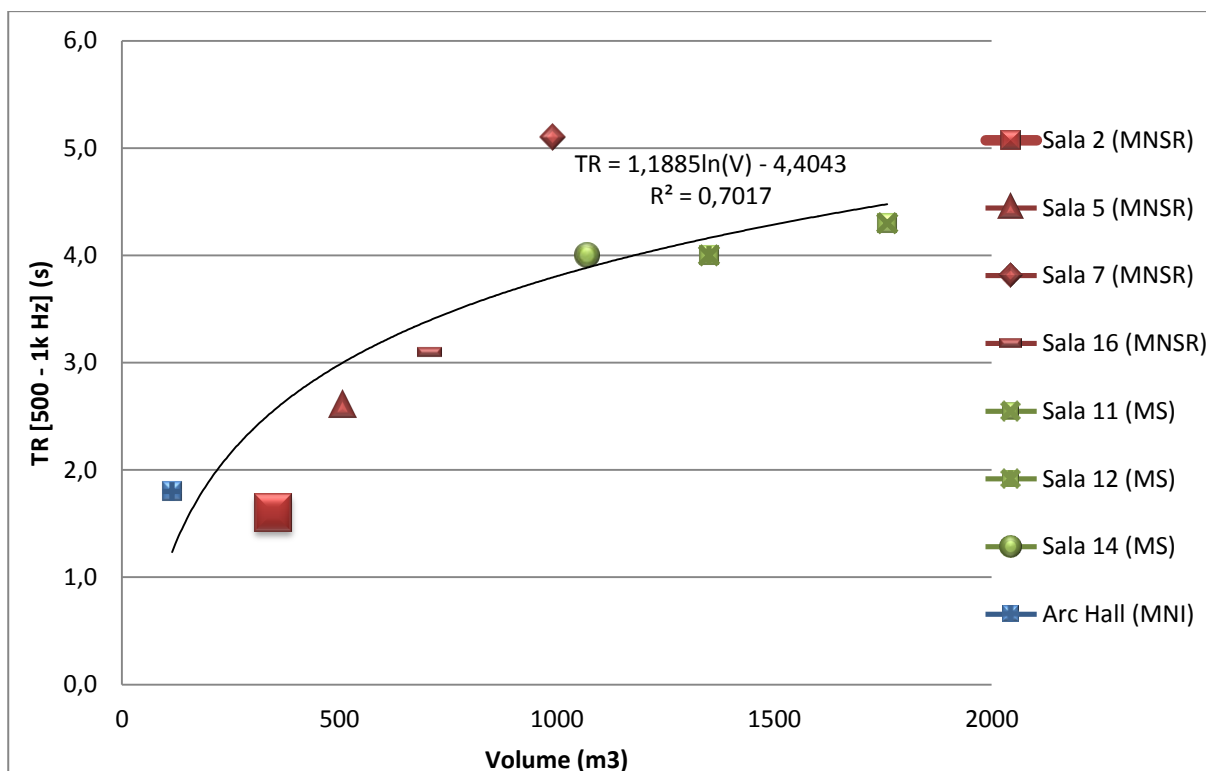


Fig. 8.7 – Valores médios do TR [500 – 1k Hz] em função dos volumes das salas comparadas

Observando a Fig. 8.7 verifica-se que a relação entre os valores médios do tempo de reverberação e o volume das salas segue tendencialmente uma curva logarítmica crescente. A sala 7 do MNSR tem um valor de tempo de reverberação extremo que foge a essa tendência, sendo o seu valor elevado para o volume que a sala tem. A explicação para esse valor excessivo já foi dada no Capítulo 5. O *Arc Hall* tem um valor de tempo de reverberação maior com um volume menor do que a sala 2 do MNSR. No entanto ao verificar a planta do *Arc Hall* (Fig. 8.3) nota-se que este compartimento tem uma parede em

concavidade, formando um semicírculo, fazendo com que as ondas sonoras se concentrem e aumente o tempo de reverberação em relação a uma superfície com as mesmas características mas plana. Analisando os valores do MNSR verifica-se que estes têm um aumento de tempo de reverberação em relação ao volume mais significativo do que as salas MS que, tendo um grande aumento de volume o seu tempo de reverberação pouco ou nada se altera.

8.3. RASTI

No Quadro 8.3 e Fig. 8.8 estão representados os valores de RASTI obtidos para as salas do MNSR e as do MS. Fica excluído o MNI por falta de dados.

Os valores mais elevados de RASTI pertencem às salas do MNSR, com a exceção da sala 7 (com 0,41), com valores de 0,53 e 0,47. Os valores de RASTI das salas do MS estão compreendidos entre 0,45 e 0,40. As salas do MNSR têm assim, de maneira geral, valores de “inteligibilidade” melhor do que o MS. Analisando os resultados à luz do valor mínimo recomendado de 0,45, verifica-se que as salas 7, do MNSR e as 11 e 12 do MS, não cumprem essa condição.

Comparando os valores do RASTI das salas com os seus volumes obtém-se os resultados da Fig. 8.9. Analisando os valores obtidos nota-se que a relação do RASTI com o volume das salas dos museus segue tendencialmente uma curva decrescente, os valores de RASTI diminuem com o aumento de volume.

Quadro 8.3 – Valores médios de RASTI das salas comparadas

	Sala	RASTI
Museu Nacional Soares dos Reis	Sala 2	0,53
	Sala 5	0,47
	Sala 7	0,41
	Sala 16	0,47
Museu de Serralves	Sala 11	0,40
	Sala 12	0,42
	Sala 14	0,45

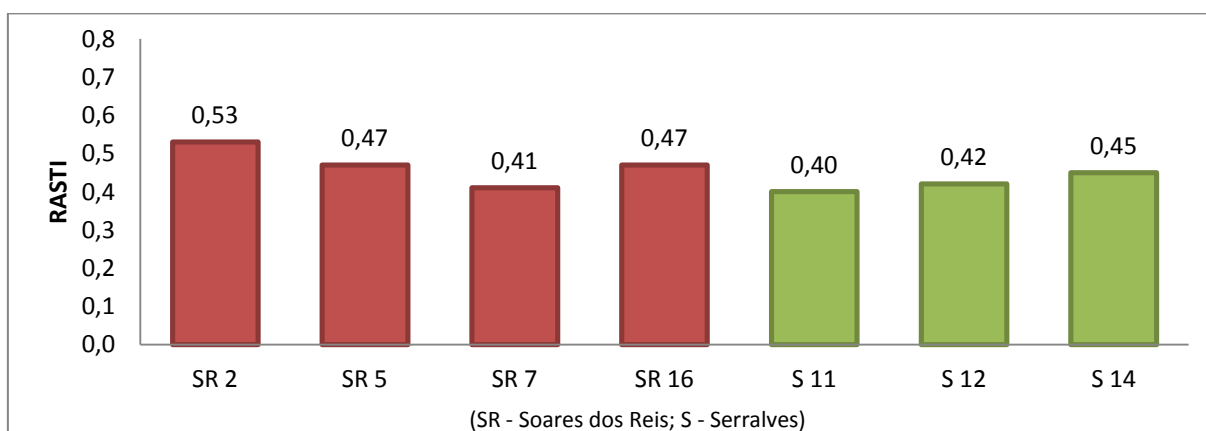


Fig. 8.8 – Valores de RASTI das salas comparadas

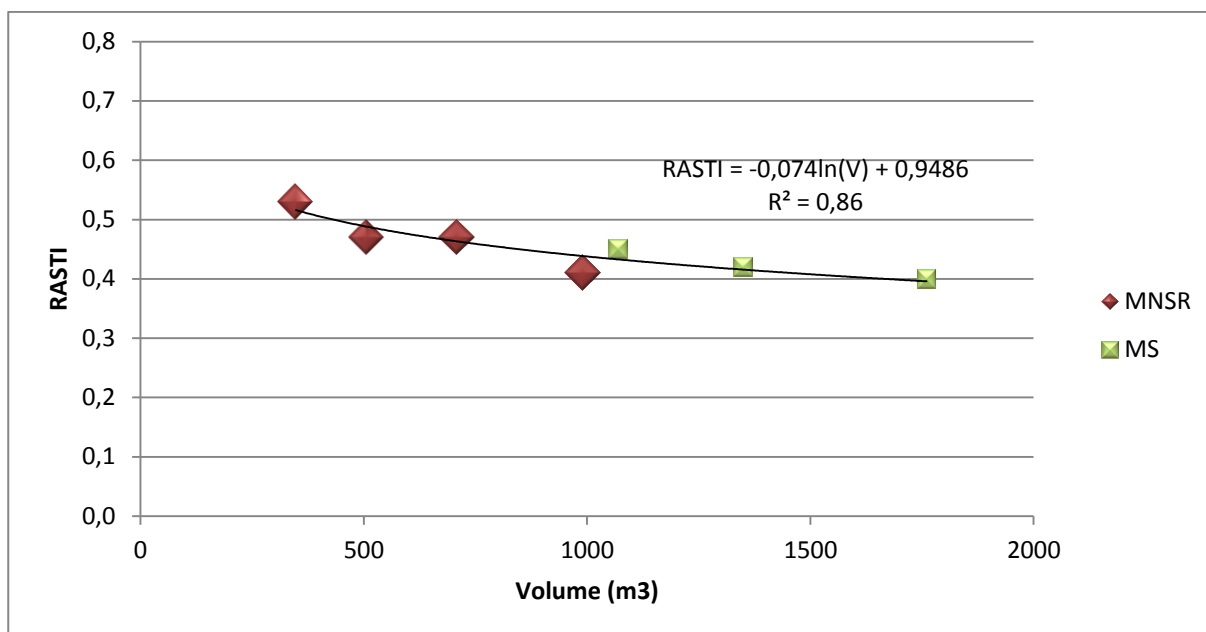


Fig. 8.9 - Valores do RASTI em função dos volumes das salas comparadas

8.3. TEMPO DE REVERBERAÇÃO VS. RASTI

Fazendo uma comparação entre os valores do tempo de reverberação e do RASTI avaliado nas salas obtém-se os resultados representados na Fig. 8.10.

Analisando os valores obtidos verifica-se que eles seguem uma curva tendencialmente decrescente, onde, quanto maior o tempo de reverberação menor é o valor do RASTI.

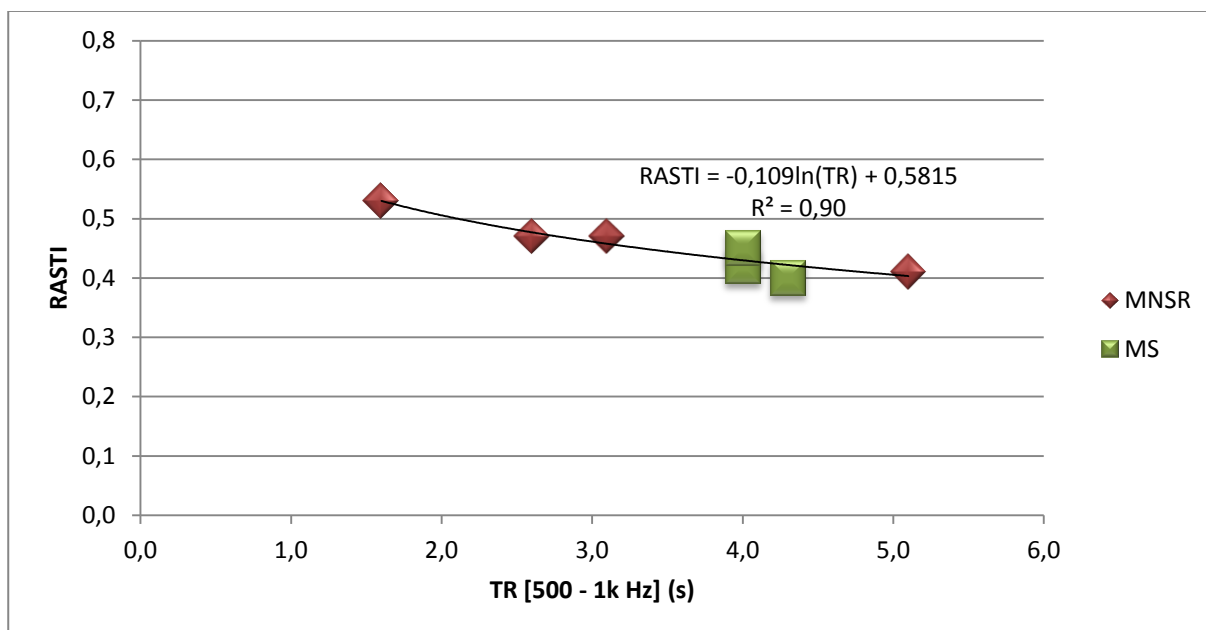


Fig. 8.10 - Valores do RASTI em função do TR [500 - 1k Hz] das salas comparadas

8.4. NÍVEL SONORO DE RUÍDO DE FUNDO COM AVAC

Fazendo uma comparação do nível de pressão sonora do ruído de fundo com AVAC e sem visitantes obteve-se o Quadro 8.4 e a Fig. 8.11.

Verifica-se que as salas com os valores de nível de pressão sonora mais elevados são o *Arc Hall* do MNI e as salas 2 e 7 do MNSR, e a sala com o valor menor é a sala 14 do MS.

Quadro 8.4 – Valores do nível de pressão sonora de ruído de fundo com AVAC ligado, sem visitantes das salas comparadas

	Freq. (Hz)	L _{eq} (AVAC) (dB)							
		31	63	125	250	500	1k	2k	4k
Museu Nacional Soares dos Reis	Sala 2	52,6	53,5	49,8	44,7	45,9	42,5	36,7	28,4
	Sala 5	50,0	51,6	47,7	42,8	37,0	34,0	27,3	23,2
	Sala 7	54,3	54,6	49,3	44,2	39,9	40,2	38,7	33,4
Museu de Serralves	Sala 11	52,5	39,0	38,7	37,9	37,3	35,9	35,7	22,3
	Sala 12	39,6	33,1	28,7	26,9	25,2	21,7	17,5	13,8
	Sala 14	47,3	40,2	31,7	28,6	24,2	20,6	17,6	14,5
Museu Nacional da Islândia	Arc Hall	61	56	54	45	40	37	32	29
	Gallery of Photography	47	43	35	40	32	30	26	24

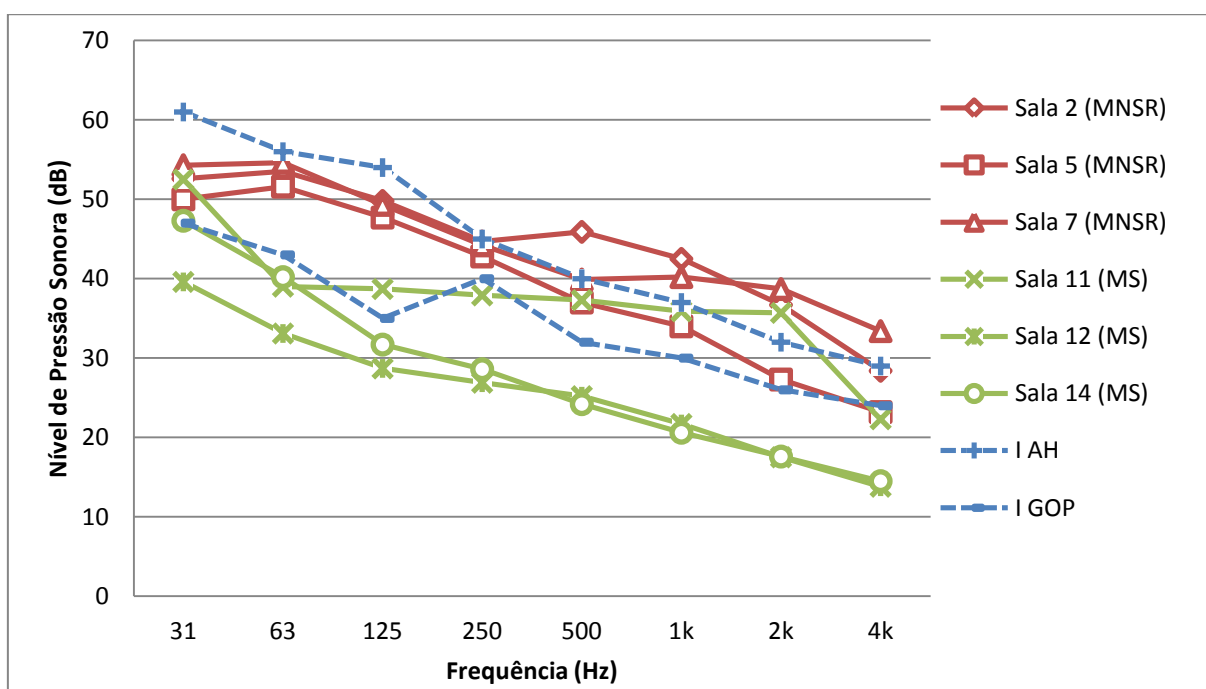


Fig. 8.11 – Valores do nível de pressão sonora de ruído de fundo com AVAC ligado, sem visitantes das salas comparadas

Aplicando o filtro A aos valores encontrados anteriormente, obtém-se os valores de níveis sonoros apresentados no Quadro 8.5 e Fig.8.12.

Constata-se que as salas com o valor de nível sonoro mais baixo são as salas 12 e 14 do MS, com 27 dB(A) e a sala com o valor mais elevado é a sala 2 do MNSR, com 47 dB(A). Comparando estes resultados com o valor máximo recomendado para o nível sonoro com AVAC, 45 dB(A), verifica-se que só as salas 2 e 7 do MNSR é que não cumprem esse requisito.

Quadro 8.5 - Valores do nível sonoro contínuos equivalentes de ruído de fundo com AVAC ligado, sem visitantes, das salas comparadas

	Sala	L_{Aeq} (AVAC) (dB)
Museu Nacional Soares dos Reis	Sala 2	47
	Sala 5	40
	Sala 7	45
Museu de Serralves	Sala 11	41
	Sala 12	27
	Sala 14	27
Museu Nacional da Islândia	Arc Hall	44
	Gallery of Photography	36

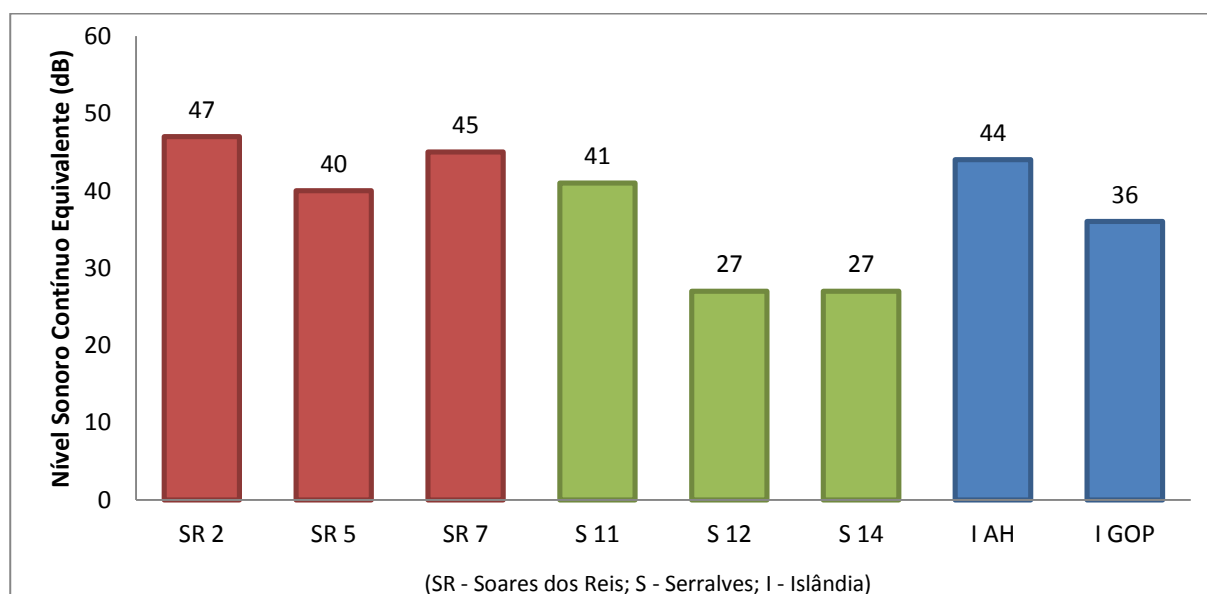


Fig. 8.12 - Valores do nível sonoro contínuos equivalentes de ruído de fundo com AVAC ligado, sem visitantes, das salas comparadas

8.4. CURVAS DE INCOMODIDADE

Aplicando as curvas de incomodidade NC e NR às salas estudadas obtém-se os resultados representados no Quadro 8.6 e Figs. 8.13 e 8.14.

Constata-se que a sala com maior valor de NC e NR é a sala 2 do MNSR, com NC-42 e NR 43. A sala com os valores menores é a sala 14 do MS, com NC-19 e NR 21. Comparando estes valores com o valor máximo recomendado de NC-40 verifica-se que só a sala 2 do MNSR não cumpre o requisito. Comparando os resultados com o valor recomendado de NR 35, verifica-se que as salas 2 e 7 do MNSR, a sala 11 do MS e a *Gallery of Photography* do MNI não cumprem esse requisito. Nestas salas

os sistemas de ventilação deveriam ser repensados para encontrar uma solução que cumprisse o valor máximo recomendado.

Quadro 8.6 – Valores das curvas de incomodidade NC e NR das salas comparadas

	Sala	NC	NR
Museu Nacional Soares dos Reis	Sala 2	42	43
	Sala 5	33	34
	Sala 7	40	42
Museu de Serralves	Sala 11	37	39
	Sala 12	20	22
	Sala 14	19	21
Museu Nacional da Islândia	Arc Hall	29	30
	Gallery of Photography	36	37

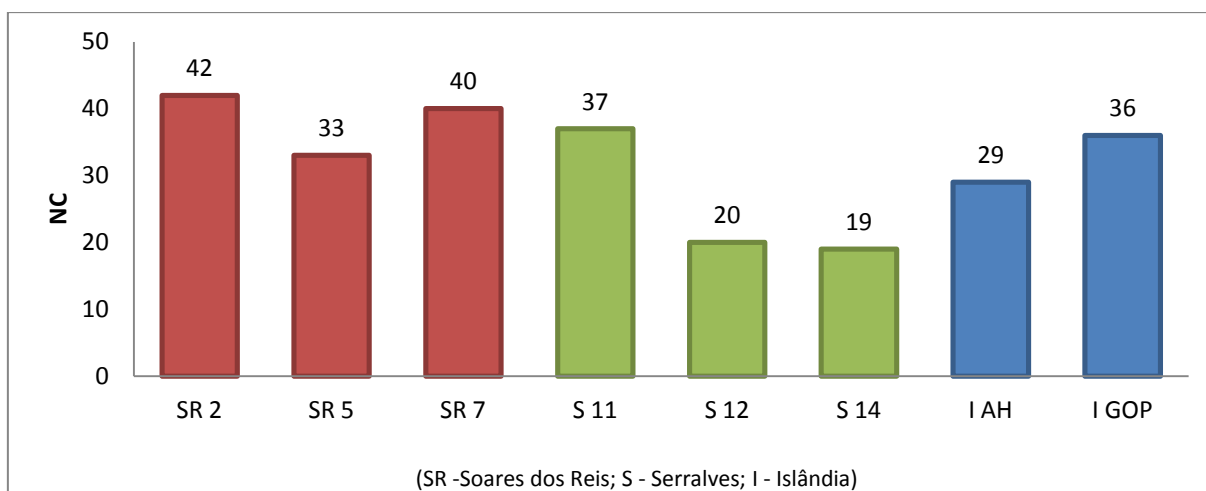


Fig. 8.13 - Valores da curva de incomodidade NC das salas comparadas

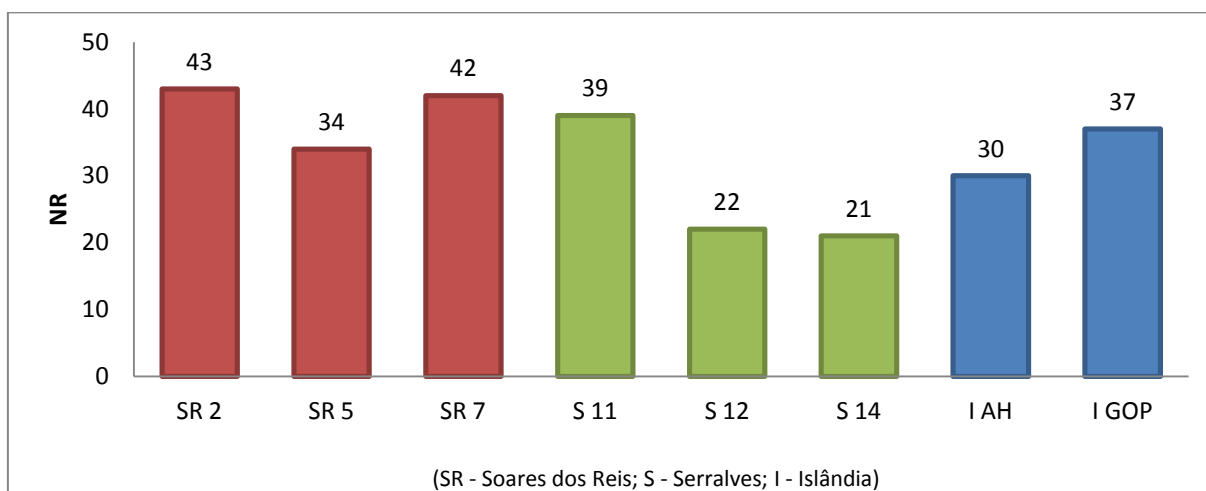


Fig. 8.14 - Valores da curva de incomodidade NR das salas comparadas

8.5. MÉTODO MULTICRITÉRIO

Aplicando a metodologia multicritério desenvolvida no Capítulo 7 obtém-se os valores do Quadro 8.7.

Aos parâmetros não avaliados nos museus de tipologia “moderna”, foi-lhes atribuída uma cotação neutra de 10 valores.

Verifica-se que as salas com avaliações positivas são a *Gallery of Photography* do MNI (13,6 valores), correspondendo ao melhor resultado, seguida da sala 2 do MNSR (13,2 valores), o *Arc Hall* do MNI (12,4 valores) e a sala 5 do MNSR (10 valores). As salas com avaliações negativas são a sala 16 do MNSR (7,9 valores), seguida da sala 14 do MS (6,9 valores), a sala 12 do MS (6,5 valores), a sala 7 do MNSR (6,2) e por último a sala 11 do MS (5,8 valores).

Quadro 8.7 – Valores dos critérios e classificação IQAM das salas ensaiadas do MNSR

	TR (s)	c TR	RASTI	c RASTI	L _{A,eq} (AVAC) (dB)	c L _{A,eq} (AVAC)	L' _{nt,w} (dB)	c L' _{nt,w}	D _{2m,nt,w} (dB)	c D _{2m,nt,w}	IQAM	Resultado
SR 2	1,6	17	0,53	13	47	6	n.a.	12	n.a.	8	13,2	Bom
SR 5	2,6	8	0,47	10	40	12	n.a.	12	n.a.	12	10	Suficiente
SR 7	5,1	0	0,41	8	45	10	n.a.	12	n.a.	12	6,2	Mau
SR 16	3,1	4	0,47	10	42*	11	n.a.	12	n.a.	8	7,9	Medíocre
S 11	4,3	0	0,4	8	41	12	n.a.	10	n.a.	10	5,8	Mau
S 12	4	0	0,42	8	27	19	n.a.	10	n.a.	10	6,5	Mau
S 14	4	0	0,45	10	27	19	n.a.	10	n.a.	10	6,9	Mau
I AH	1,8	16	n.a.	10	44	10	n.a.	10	n.a.	10	12,4	Suficiente
I GOP	1,5	18	n.a.	10	36	14	n.a.	10	n.a.	10	13,6	Bom

(SR - Soares dos Reis; S - Serralves; I – Islândia)

n.a – não avaliado

*Valor de nível sonoro de ruído de fundo sem visitantes e sem AVAC;

8.6. CONCLUSÕES

Depois de comparados os três museus elaborou-se um quadro (Quadro 8.8) com os valores dos parâmetros analisados para cada museu e os valores ideais estipulados para cada parâmetro.

Em relação ao tempo de reverberação, das frequências de 500 e 1000 Hz, o MNI tem uma gama de valores mais baixos (1,5 a 1,7 s), mais próximos dos valores ideais, seguindo-se o MNSR (1,6 a 5,1 s), apesar de ter uma sala com maior valor de tempo de reverberação, e em último o MS (4,0 a 4,3 s), com os valores mais distantes do recomendado.

Em relação ao RASTI, o MNSR apresenta valores médio mais altos (0,41 a 0,53) relativamente ao MS (0,41), o que significa que comparado com o intervalo de valores ideais é melhor.

Em relação ao nível sonoro contínuo equivalente de ruído de fundo com AVAC ligado e sem visitantes, o museu com os valores mais próximos do ideal neste parâmetro é o MS (27 a 41 dB(A)), seguido do MNI (36 e 44 dB(A)) e do MNSR (40 a 47 dB(A)).

Relativamente às curvas de incomodidade NC e NR, mais uma vez é o MS com os valores médios mais baixos (NC-19 a NC-37 e NR 21 a NR 39) e próximos do recomendado, segue-se o MNI (NC-29 a NC-36 e NR 30 a NR 37) e por último o MNSR (NC-33 a NC-42 e NR 34 a NR 43).

Com estes três últimos parâmetros verifica-se que em termos de ruído produzido pelo AVAC no interior dos museus, o MNSR, o de tipologia “tradicional”, é o que tem valores piores.

Em relação ao IQMA, o MNI é o que possui as salas com melhores valores (12,4 e 13,3), seguido do MNSR (6,2 a 13,2 valores) e por último o MS (5,8 a 6,9 valores). Apesar desta ordem de classificação da qualidade dos museus, para ter um melhor resultado necessitava-se de avaliar todos os parâmetros do método em todas as salas do museu, com a aplicação do aperfeiçoamento sugerido.

Quadro 8.8 – Valores dos parâmetros avaliados nos museus comparados

	$TR_{[500, 1k\ Hz]}$ (s)	RASTI	$L_{A\ eq}$ (AVAC) (dB)	NC	NR	IQMA
Museu Nacional Soares dos Reis	1,6 a 5,1	0,41 a 0,53	40 a 47	33 a 42	34 a 43	6,2 a 13,2
Museu de Serralves	4,0 a 4,3	0,40 a 0,45	27 a 41	19 a 37	21 a 39	5,8 a 6,9
Museu Nacional da Islândia	1,5 e 1,7	-	36 e 44	29 e 36	30 e 37	12,4 e 13,6
Valores Ideais	0,8 a 1,6	0,45 a 0,75	≤ 45	≤ 40	≤ 35	≥ 10

9

SUGESTÕES PARA MELHORIA ACÚSTICA

9.1. PROPOSTAS DE CORREÇÃO ACÚSTICA

9.2.1. IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS

Neste capítulo são apresentadas algumas sugestões que visam melhorar a qualidade acústica do Museu Nacional Soares dos Reis. Foi então necessário identificar os problemas para os resolver da melhor maneira tentando conciliar qualidade e custo.

Começando pela sala 2, esta não tem problemas de tempo de reverberação uma vez que este se encontra no limite do aceitável para museus. No entanto os níveis sonoros de ruído de fundo proveniente do exterior e do sistema de climatização são demasiado altos face recomendável para estes casos.

Passando para a sala 5, o tempo de reverberação deste compartimento é elevado para um espaço com as exigências de um museu.

A sala 7 tem o tempo de reverberação mais elevado entre as salas ensaiadas, fazendo com o que RASTI nesta sala tenha valores *mediócras*, para além de que o ruído provocado pelo AVAC nesta sala está um pouco acima do recomendável.

Finalmente a sala 16 tem o tempo de reverberação elevado para o recomendável para um museu, para além de que, como na sala 2, o nível sonoro de ruído de fundo proveniente do exterior é excessivo.

Resumindo, as salas 5, 7 e 16 têm problemas de tempo de reverberação elevados, sendo este o principal problema; as salas 2 e 16 têm excessivos níveis sonoros de ruído de fundo provenientes do exterior e as salas 2 e 7 têm o sistema de climatização a produzir ruído incomodativo.

Outro problema identificado, não através de ensaios mas sim pelo inquérito realizado no museu, é o ruído provocado pelos passos das pessoas.

9.2.2. PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO

Identificados os problemas, apresentam-se propostas para as suas possíveis resoluções.

Para correção do tempo de reverberação é necessário que as salas aumentem a sua absorção sonora, principalmente nas médias e altas frequências. Para o ruído proveniente do exterior nas salas viradas para a Rua D. Manuel II, a resolução passaria pela alteração das caixilharias. As caixilharias atuais sendo de madeira e mantendo a estética de antigamente, não são completamente estanques ao ar e

portanto o ruído do exterior passa por aí, independentemente de quão isolantes ao ruído sejam as paredes. No entanto, ao proceder à alteração das caixilharias estragaria a fachada tão característica do palácio. Outra hipótese passa por colocar outra caixilharia pelo interior que seja estanque ao ar, mantendo as caixilharias de madeira originais (exteriores), formando um sistema de janela dupla. Em relação ao excesso de ruído provocado pelo sistema AVAC, a solução seria a alteração para um sistema menos ruidoso ou, então, pelo melhor isolamento das condutas. Relativamente ao ruído provocado pelos passos das pessoas presentes no museu, encaram-se três hipóteses de solução. A colocação de subpavimentos flutuantes que reduziriam a sonoridade dos passos até 35% [53], no entanto esta medida seria mais acessível técnica e economicamente se fosse pensada na altura da construção, uma vez que para a implementar atualmente ter-se-ia de levantar o pavimento. Outra hipótese seria a colocação de uma alcatifa no pavimento (Fig. 9.1). Teria o duplo efeito de reduzir a sonoridade dos passos e baixar o tempo de reverberação. E, uma solução mais simples, a colocação de uma passadeira com cerca de 0,9 a 1,2 m de largura a circundar a sala levando os visitantes a apreciar a exposição evitando andar diretamente no pavimento de madeira.

Após a apresentação em linhas gerais, das possíveis soluções expõe-se pormenorizadamente a solução para cada sala.

Na sala 2, sendo o seu tempo de reverberação dentro do recomendável, não se procederia a alterações a esse respeito. Para reduzir o nível sonoro de ruído de fundo proveniente do exterior, sugeria-se a colocação de uma caixilharia no interior. O material das caixilharias pode ser do mais variado (PVC, madeira, alumínio, etc.), sendo importante que consiga estancar bem o ar, sugerindo-se portanto que sejam janelas batentes, e de preferência com duplo ou triplo batente. O vidro pode ser simples espesso, uma vez que, utilizando o sistema de janela dupla, a redução sonora é suficiente. No Quadro 9.1, segue-se um intervalo de valores de redução sonora obtidos para um sistema de janela dupla comparados com janelas de vidro simples e vidro duplo. A existência da gama de valores variada é devido às diferentes combinações de tipos de caixilharia e vidro existentes. Um exemplo de colocação da caixilharia seria como indicado na Fig. 9.2, apresentando-se na Fig. 9.3 a simulação de como ficaria a sala depois da sua aplicação. A sua colocação poderia ser também mais para o interior do vão. Para reduzir os níveis sonoros excessivos produzidos pelo sistema AVAC, sugere-se a substituição por equipamentos que produzissem menos ruído (na ordem de grandeza dos 30 dB(A) ou inferior), garantindo que na sua instalação estivessem separados por materiais resilientes dos seus apoios. Para reduzir a sonoridade dos passos na sala sugerem-se as três hipóteses acima indicadas: a colocação de um subpavimento flutuante que também reduzisse a sonoridade dos passos, ou a colocação de uma alcatifa (Fig. 9.4), ou a colocação de uma passadeira a rodear a sala levando os visitantes a poderem usufruir da exposição sem dela saírem (Fig. 9.5). No Quadro 9.2, encontram-se valores de redução da sonoridade de passos dos pavimentos flutuantes da *AcoustiCork*. Com a colocação da alcatifa ou da passadeira o tempo de reverberação também diminui, visto o material que a compõe ser mais absorvente que o soalho. A desvantagem que a introdução destas soluções pode trazer é que exige alguma manutenção regular.

Na sala 5, como o tempo de reverberação médio é de 2,6 s, é necessário proceder à sua redução por aumento da absorção sonora existente no compartimento. Sugere-se então a aplicação de celulose projetada, K-13, como indicado na Fig. 9.6. No Quadro 9.3 apresenta-se o coeficiente de absorção sonora do K-13 por banda de frequência com o respetivo NRC e α_w . Para a redução da sonoridade dos passos sugere-se uma das três hipóteses já atrás referidas, ou seja, a colocação do pavimento flutuante, a colocação da alcatifa (Fig. 9.7) ou a colocação da passadeira a rodear o compartimento (Fig. 9.8).

Quadro 9.1 – Intervalo de valores do $D_{2m, nT, w}$ para vidro simples, duplo e janela dupla [54]

	$D_{2m, nT, w}$ (dB(A))
Vidro simples	16 - 20
Vidro Duplo	20 - 30
Janela Dupla	28 - 40

Quadro 9.2 – Valores de redução da sonoridade da solução de pavimentos flutuantes da *AcoustiCork* [53]

	Redução da sonoridade (%)
<i>AcoustiCork Underlay C21</i>	25
<i>AcoustiCork Underlay T21</i>	35



Fig. 9.1 – Pavimento alcatifado no Museu Nacional do Ar e Espaço do Instituto Smithsonian [55, 56]

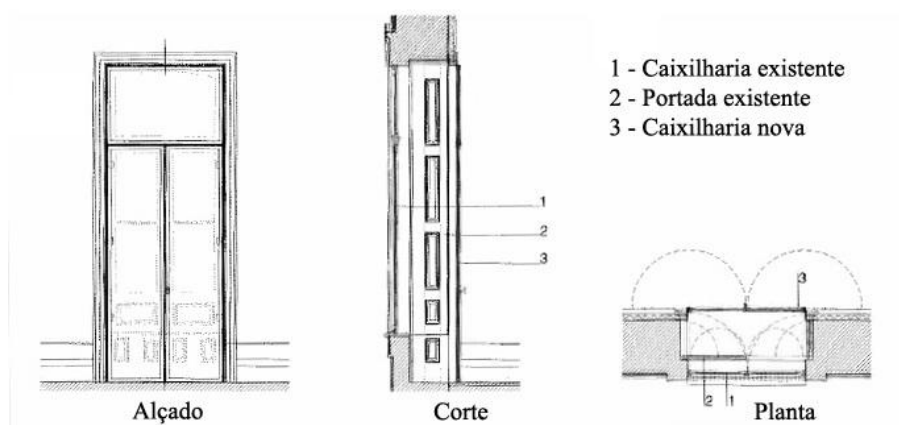
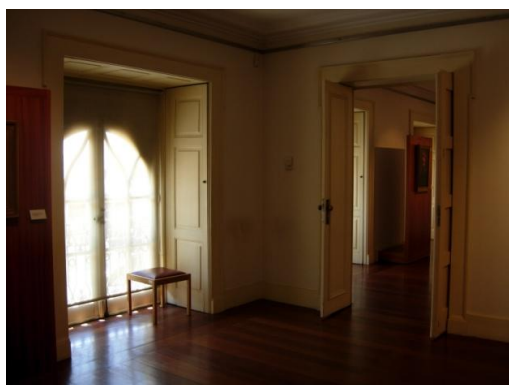
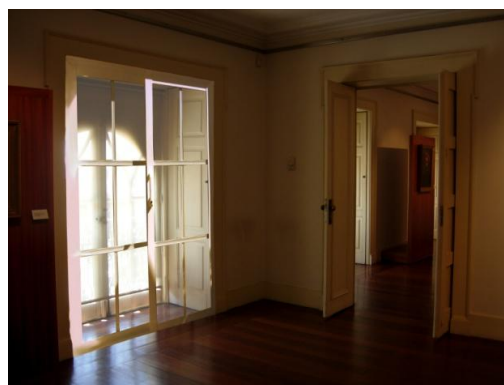


Fig. 9.2 – Desenhos esquemáticos da localização da nova caixilharia [57]



Original



Simulação

Fig. 9.3 – Simulação da introdução da nova caixilharia interior na sala 2

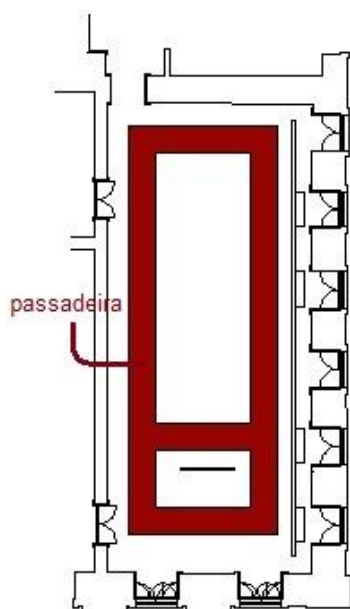


Original



Simulação

Fig. 9.4 – Simulação da colocação da alcatifa no pavimento da sala 2



Planta



Simulação

Fig. 9.5 – Planta da sala 2 com proposta de solução para a colocação da passadeira e sua simulação

Quadro 9.3 - Valores dos coeficientes de absorção sonora da solução tipo *SonaSpray* para cada banda de frequência em função da espessura e textura [58]

Tipo	Espessura (mm)	Banda de frequência (Hz)						NRC	α_w
		125	250	500	1k	2k	4k		
K-13 Standard	16	0,14	0,43	0,93	1,05*	1,14*	0,85	0,85	0,70(MH); classe C
	25	0,20	0,55	0,95	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85; classe B
	38	0,20	0,66	1,09*	1,05*	1,06*	0,95	0,95	0,95; classe A
	50	0,31	0,89	1,01*	1,06*	1,08*	1,00	1,00	1,00; classe A
	76	0,49	1,04*	1,07*	1,05*	1,09*	1,05*	1,00	1,00; classe A
K-13 Special	13	0,09	0,22	0,58	0,79	0,98	1,04*	0,65	0,55(MH); classe D
	16	0,10	0,35	0,83	0,88	0,99	1,04*	0,75	0,65(MH); classe A
	19	0,09	0,35	0,87	0,87	1,03*	1,07*	0,80	0,70(H); classe C
	25	0,14	0,54	0,93	1,03*	1,08*	1,05*	0,90	0,80(H); classe B
	32	0,18	0,60	0,98	1,03*	1,04*	1,05*	0,90	0,90; classe A
SonaSpray fc	12	0,15	0,16	0,46	0,87	1,07*	1,12*	0,62**	0,65(MH); classe C
	19	0,18	0,27	0,67	1,02*	1,11*	1,12*	0,75	0,55(MH); classe D
	25	0,22	0,38	0,88	1,16*	1,15*	1,12*	0,90	0,65(MH); classe C

*Valores superiores a 1,0 não são possíveis mas apresentam-se aqui tal como surgem nos catálogos comerciais do fabricante

**Valor errado no catálogo

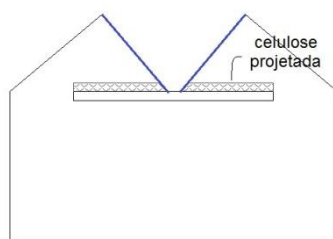
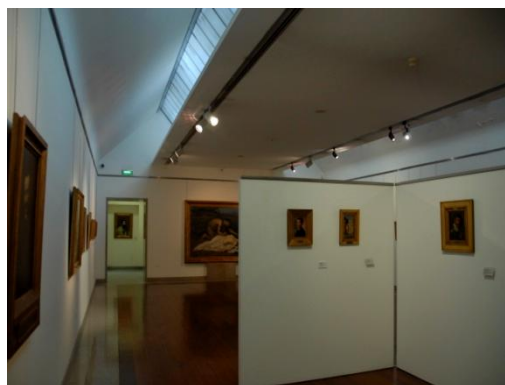
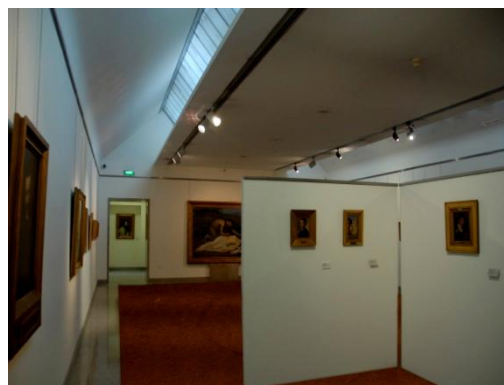


Fig. 9.6 – Corte esquemático da sala 5 com proposta de solução para melhoria acústica

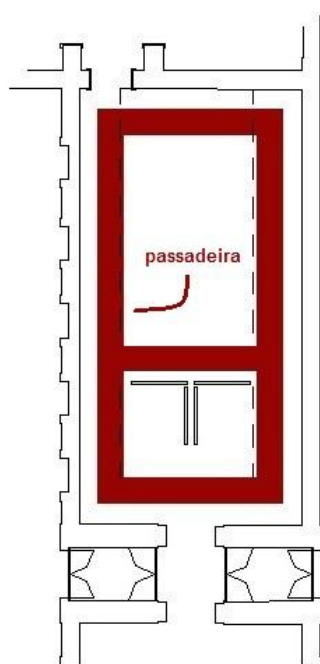


Original

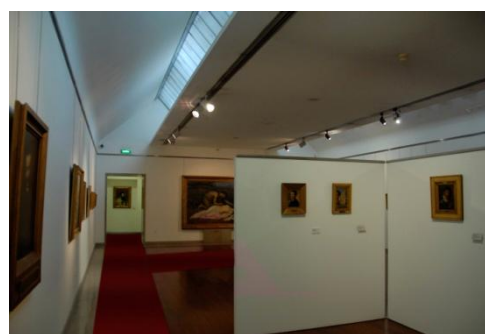


Simulação

Fig. 9.7 - Simulação da colocação da alcatifa no pavimento da sala 5



Planta



Simulação

Fig. 9.8 - Planta da sala 5 com proposta de solução para a colocação da passadeira e sua simulação

Na sala 7, o tempo de reverberação médio é o mais elevado com 4,9 s, por isso é necessário proceder à sua redução. Sugere-se, como na sala 5, a colocação de celulose projetada, K-13, no entanto, ao

contrário da sala anterior, esta vai estar à vista, pelo que se sugere adotar uma solução em que a textura seja mais refinada (solução tipo *SonaSpray fc*, no Quadro 9.3). A colocação deste material pode ser feita no teto de parte rebocada da sala (Fig. 9.9). Para a redução dos níveis sonoros produzidos pelo sistema AVAC, é sugerido, tal como anteriormente, substituir o sistema por outro mais silencioso e/ou isolar com materiais resilientes as condutas de ar. Para a redução da sonoridade dos passos, como esta sala tem o piso revestido em mármore, sugere-se a colocação de uma passareira a rodear a sala, permitindo aos visitantes circular para visualizar as esculturas (Fig. 9.10).

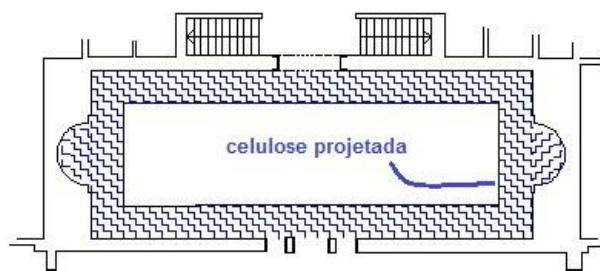
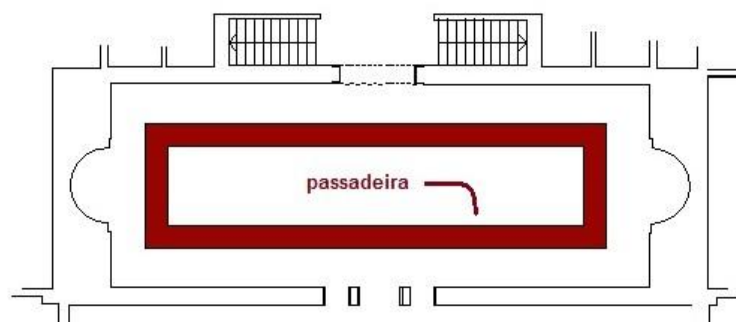
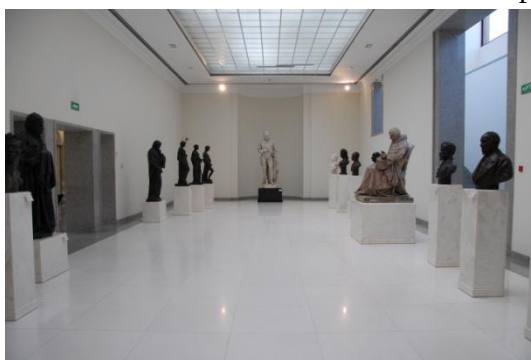


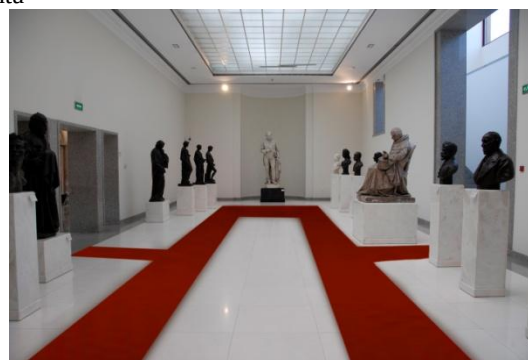
Fig. 9.9 - Planta da sala 7 com proposta de solução de celulose projetada no teto



Planta



Original



Simulação

Fig. 9.10 - Planta da sala 7 com proposta de solução para a colocação da passareira e sua simulação

Na sala 16, o tempo de reverberação médio é de 3 s, o que mais uma vez é necessário corrigir. No entanto, ao contrário das salas anteriores, onde as paredes e tetos eram rebocados, as superfícies das paredes e teto desta sala são trabalhadas, contribuindo para o seu embelezamento. Por essa razão não se pode proceder à colocação de materiais que impeçam a sua visualização. Por outro lado o

posicionamento da exposição não permite a colocação de materiais absorventes no meio da sala. Por isso poder-se-ia colocar material absorvente no piso, por exemplo uma alcatifa (Fig. 9.11). Claro que com esta solução é necessário ter maiores cuidados de limpeza. Com a colocação da alcatifa também se resolve o problema da excessiva sonoridade dos passos. Para a redução do nível sonoro de fundo proveniente do exterior, sugere-se a colocação de uma caixilharia no interior, estando na Fig. 9.12, uma simulação da sua execução.

Existem outros materiais para além da celulose projetada que podem também servir para a redução do tempo de reverberação. O sistema tipo *BASWAphon* é um desses exemplos. Este sistema consiste em painéis de lã mineral calibrados e de peso reduzido que são colados sobre um base (betão, gesso cartonado, etc.) e posteriormente barrados em vários passos com uma massa mineral de forma a obter-se uma superfície continua [59]. No Quadro 9.4 estão os valores do coeficiente de absorção sonora por banda de frequência deste sistema.

Outro exemplo de sistema é o do tipo da Sonacoustic. Este sistema consiste num painel de lã mineral que é colocado e/ou mecanicamente fixado ao substrato [60]. No Quadro 9.5 encontram-se os valores dos coeficientes de absorção sonora por banda de frequência deste sistema.



Original



Simulação

Fig. 9.11 - Simulação da colocação da alcatifa no pavimento da sala 16



Original



Simulação

Fig. 9.12 - Simulação da introdução da nova caixilharia interior na sala 16

Quadro 9.4 - Valores dos coeficientes de absorção sonora da solução tipo *BASWAphon* para cada banda de frequência em função da espessura e do tipo de acabamento [59]

Tipo	Espessura (mm)	Banda de frequência (Hz)						NRC	α_w
		125	250	500	1k	2k	4k		
BASWAphon Base sobre base solida	30	0,10	0,32	0,83	0,89	0,73	0,65	0,70	0,60(MH); classe C
	50	0,19	0,82	0,97	0,87	0,76	0,66	0,85	0,80(L); classe B
	70	0,28	0,95	0,98	0,83	0,72	0,61	0,85	0,75; classe C
BASWAphon Fine sobre base solida	30	0,11	0,34	0,81	0,81	0,68	0,59	0,65	0,60; classe C
	50	0,19	0,77	0,95	0,87	0,79	0,70	0,85	0,80; classe B
	70	0,35	0,92	0,83	0,72	0,63	0,59	0,80	0,70(L); classe C
BASWAphon Classic sobre base solida	30	0,12	0,37	0,82	0,86	0,75	0,66	0,70	0,65; classe C
	50	0,17	0,79	0,83	0,74	0,63	0,56	0,75	0,65(L); classe C
	70	0,23	0,83	0,77	0,64	0,56	0,48	0,70	0,60(L); classe C

Quadro 9.5 - Valores dos coeficientes de absorção sonora da solução tipo *Sonacoustic* para cada banda de frequência em função da espessura [60]

	Banda de frequência (Hz)						NRC	α_w
	125	250	500	1k	2k	4k		
Sonacoustic	0,08	0,40	0,83	0,86	0,82	0,81	0,73	0,70(); classe C

9.2.3. PREVISÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Considerando as propostas sugeridas e os vários sistemas e materiais acima referidos, fez-se um cálculo da previsão do tempo de reverberação após as correções. Para isso recorreu-se à fórmula 2.11 (Capítulo 2).

Com o tempo de reverberação obtido nos ensaios realizados nas salas calcula-se a absorção existente nas salas, A (m^2), em que este valor é a soma do denominador da equação acima referida. Assim obteve-se os valores do Quadro 9.6.

Quadro 9.6 – Valores de absorção sonora A existente nas salas ensaiadas

	A (m ²)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz
Sala 2	56,8	50,6	36,4	32,9	35,0	36,6
Sala 5	42,7	39,0	31,2	30,4	32,7	36,1
Sala 7	38,4	39,8	30,8	31,4	35,8	44,2
Sala 16	72,1	53,4	39,5	36,7	43,8	50,7

É necessário saber os coeficientes de absorção sonora das superfícies a intervir (Quadro 9.7) para que com a diferença entre os coeficientes da situação existente e da solução proposta, multiplicados pela área dessa superfície se consiga saber a nova absorção das salas e assim a previsão dos tempos de reverberação (Quadro 9.8 a 9.11 e Figs. 9.13 e 9.14).

Quadro 9.7 – Valores dos coeficientes de absorção sonora das superfícies a intervir e respetivas áreas

	Elemento	S (m ²)	α					
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz
Sala 2	Pavimento (madeira) [61]	116	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
Sala 5	Pavimento (madeira) [61]	123	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
	Teto (reboco) [3]	66	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
Sala 7	Teto (reboco) [3]	93	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
Sala 16	Pavimento (madeira) [61]	106	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22

Quadro 9.8 - Valores de absorção sonora A para cada banda de frequência e tempo de reverberação previsto na sala 2

Tipo	A (m ²)						TR _[500 - 1k] previsto (s)
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	
Alcatifa [61]	70	68	63	64	74	94	0,9

Quadro 9.9 – Valores de absorção sonora A para cada banda de frequência e tempo de reverberação previsto na sala 5

Tipo	Espessura		A (m ²)					TR _[500 - 1k] previsto (s)
	(mm)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	
K-13 Standard	19	50	65	91	95	96	89	0,9
	25	54	73	92	95	93	92	0,9
	38	54	81	95	95	96	96	0,9
	50	61	96	95	95	96	99	0,9
	76	73	103	95	95	96	99	0,9
K-13 Special	13	47	52	68	81	95	99	1,1
	16	47	60	84	87	96	99	0,9
	19	47	60	87	86	96	99	0,9
	25	50	73	91	95	96	99	0,9
	32	53	77	94	95	96	99	0,9
SonaSpray fc	12	51	48	60	86	96	99	1,1
	19	53	55	74	95	96	99	1,0
	25	55	62	87	95	96	99	0,9
BASWAphon Base	30	47	58	84	87	78	76	0,9
	50	53	91	93	86	80	76	0,9
	70	59	100	94	83	78	73	0,9
BASWAphon Fine	30	48	60	83	82	75	72	1,0
	50	53	88	92	86	82	79	0,9
	70	64	98	84	76	72	72	1,0
BASWAphon Classic	30	49	62	83	85	80	76	1,0
	50	52	89	84	77	72	70	1,0
	70	56	92	80	71	67	65	1,1
Sonacoustic	-	94	63	84	85	84	86	1,0
Alcatifa	-	62	65	71	76	91	120	1,1

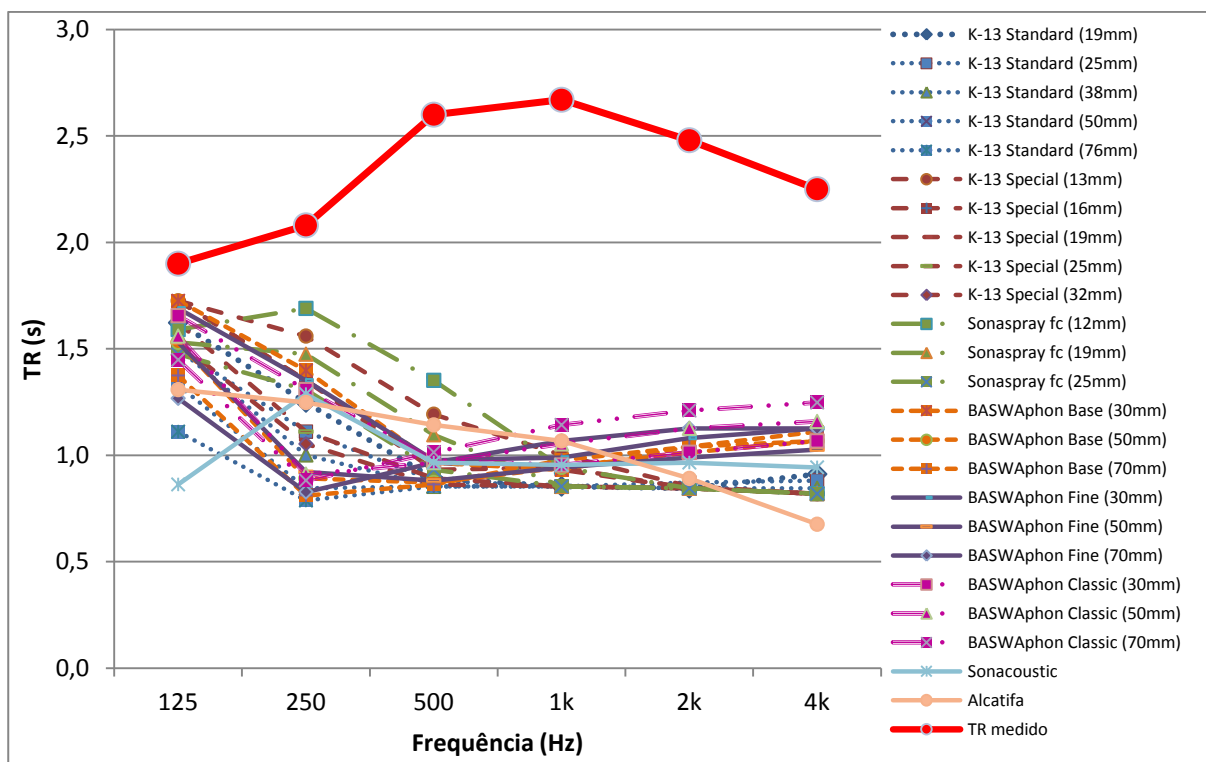


Fig. 9.13 – Valores de TR previsto para diferentes materiais aplicados na sala 5 com respetivo TR medido

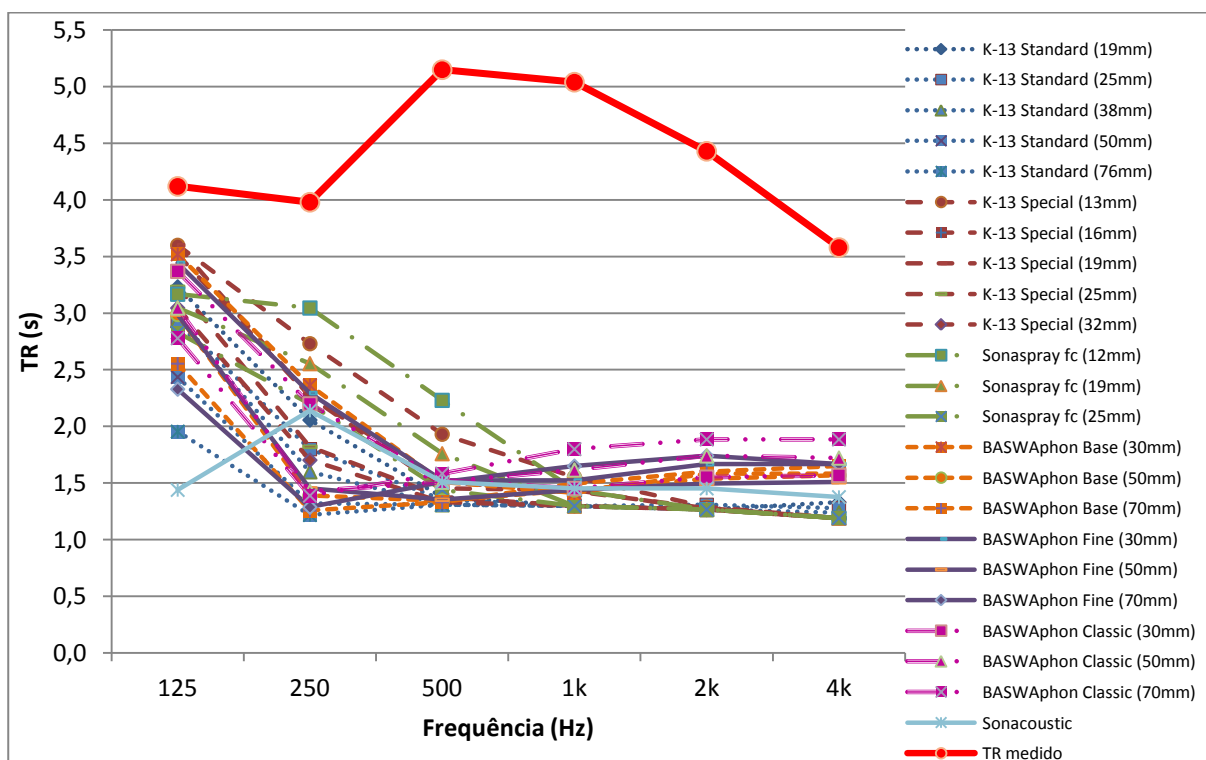


Fig. 9.14 - Valores de TR previsto para diferentes materiais aplicados na sala 7 com respetivo TR medido

Quadro 9.10 - Valores de absorção sonora A para cada banda de frequência e tempo de reverberação previsto na sala 7

Tipo	Espessura (mm)	A (m ²)						TR _[500 - 1k] previsto (s)
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	
K-13 Standard	19	49	77	115	122	125	119	1,3
	25	54	88	117	122	121	124	1,3
	38	54	99	121	122	125	128	1,3
	50	65	120	121	122	125	133	1,3
	76	81	130	121	122	125	133	1,3
K-13 Special	13	44	58	82	102	123	133	1,7
	16	45	70	105	111	124	133	1,5
	19	44	70	109	110	125	133	1,4
	25	49	87	115	122	125	133	1,3
	32	52	93	119	122	125	133	1,3
SonaSpray fc	12	50	52	71	110	125	133	1,8
	19	52	62	90	122	125	133	1,5
	25	56	72	110	122	125	133	1,4
BASWaphon Base	30	45	67	105	112	100	100	1,5
	50	53	114	118	110	103	101	1,4
	70	62	126	119	106	99	96	1,4
BASWaphon Fine	30	46	69	104	104	95	95	1,5
	50	53	109	117	110	106	105	1,4
	70	68	123	105	96	91	95	1,6
BASWaphon Classic	30	47	72	104	109	102	101	1,5
	50	52	111	105	98	91	92	1,6
	70	57	114	100	88	84	84	1,7
Sonacoustic	-	110	74	105	109	109	115	1,5

Quadro 9.11 - Valores de absorção sonora A para cada banda de frequência e tempo de reverberação previsto na sala 16

Tipo	A (m ²)						TR _[500 - 1k] previsto (s)
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	
Alcatifa [61]	89	79	73	72	90	106	1,6

Nos quadros 9.8 a 9.11 os valores a vermelho indicam as soluções em que o tempo de reverberação é inferior ou superior ao intervalo recomendável de 0,8 a 1,6 s.

Na sala 2, a introdução da alcatifa com o objetivo de reduzir a sonoridade dos passos, o tempo de reverberação baixa para 0,9 s.

As melhores soluções nas salas 5 e 7 são as que utilizam o *K-13 Standard* de 38 e 50 mm. No entanto na sala 7 como o material é para ficar visível é melhor utilizar um material mais liso. Na sala 16 a alcatifa atinge os 1,6 s de referência.

9.2.4. ANÁLISE ECONÓMICA DAS PROPOSTAS

Segue-se agora uma breve análise do custo das propostas acima referidas.

No Quadro 9.9 segue-se o custo dos materiais por m², por unidade ou m, o custo total da intervenção e a relação custo / variação do tempo de reverberação.

Quadro 9.12 – Valores do custo dos materiais por m², por unidade ou m, o custo total da intervenção e a relação custo tempo de reverberação das várias propostas

Tipo	Esp. (mm)	€ /m2 (aprox.)	Custo total (€)				Relação Custo/ Δ TR (€/s)		
			Sala 2	Sala 5	Sala 7	Sala 16	Sala 5	Sala 7	Sala 16
K-13 Standard	19	23	-	1520	2150	-	881	572	-
	25	26	-	1720	2430	-	994	644	-
K-13 Special	19	25	-	1660	2330	-	951	614	-
	25	28	-	1850	2610	-	1059	687	-
SonaSpray fc	19	35	-	2320	3270	-	1329	861	-
	25	38	-	2520	3550	-	1673	1050	-
BASWAphon Base	30	105	-	6950	9800	-	4212	2697	-
	50	115	-	7610	10730	-	4581	2937	-
	70	135	-	8940	12600	-	5183	3350	-
BASWAphon Fine	30	105	-	6950	9800	-	3994	2588	-
	50	115	-	7610	10730	-	5121	3206	-
	70	135	-	8940	12600	-	5467	3492	-
BASWAphon Classic	30	105	-	6950	9800	-	4067	2624	-
	50	115	-	7610	10730	-	4601	2947	-
	70	135	-	8940	12600	-	5272	3394	-
Sonacoustic	-	120	-	7940	11200	-	4710	3031	-
Alcatifa	-	30/45	2520/ 3780	2850/ 3780	-	3180/ 4770	1910	-	2151
Janela Dupla	-	300/450 (/un.)	600/ 900	-	-	1800/ 2700 (/un.)	-	-	-
Pavimento flutuante	-	60/80	7540/ 9280	8000/ 9840	-	-	-	-	-
Passadeira	-	20 (/m)	700	820	1000	-	-	-	-

Analisando o Quadro 9.12 verifica-se que na sala 2, o custo de colocar caixilharia pelo interior é de 600 a 900 €, aproximadamente. A opção com a melhor relação eficácia/custo para reduzir a sonoridade dos passos é a colocação de uma passadeira a rodear a sala, ficando a intervenção por 700 aproximadamente. No total, a intervenção nesta sala custaria 1300 a 1600 €.

Na sala 5 a melhor solução de relação eficácia/ custo é a combinação da colocação de *K-13 Standard* com 19 mm de espessura, que tem o custo mais baixo, de 1520 €, com a colocação de uma passadeira a rodear a sala, com o custo aproximado de 820 €. No total o custo da intervenção seria aproximadamente 2340 €.

Para a sala 7 a melhor solução seria o *K-13 Standard* com 19 mm de espessura. Porém este material é muito rugoso e não ficaria bem na sala, optando-se então pela solução tipo *SonaSpray* de 19 mm de espessura, perfazendo aproximadamente 3270 €. A colocação da passadeira a circundar a sala custaria cerca de 1000 €. O custo total da intervenção na sala seria 4270 €.

Na sala 16 a solução de colocar caixilharia pelo interior da janela iria custar 1800 a 2700 €. O valor do custo da colocação da alcatifa no pavimento para reduzir o tempo de reverberação varia entre 3180 a 4770 €. No total a intervenção custaria entre 4980 a 7470 €. A intervenção nesta sala é a mais cara. Contudo com a restrição de não poder alterar paredes nem teto e o posicionamento da exposição, as soluções para esta sala tornam-se limitadas.

10

CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

10.1. CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho era caracterizar acusticamente os museus de tipologia “tradicional” tendo como caso de estudo o Museu Nacional Soares dos Reis, no Porto e, posteriormente, criar uma metodologia multicritério para quantificar a qualidade acústica de museus; comparar com museus de tipologia “moderna” bem como sugerir medidas de melhoria acústicas para que o museu estudado seja o mais confortável possível

Para tal recorreu-se à realização de ensaios *in situ* em salas previamente definidas para avaliar três parâmetros: o tempo de reverberação, o RASTI e o nível sonoro de ruído de fundo (que se dividiu em sem AVAC nem visitantes, com AVAC mas sem visitantes e com AVAV e visitantes). Também foi analisada a incomodidade do ruído de fundo através dos métodos *Noise Criteria* e *Noise Rating*.

No Quadro 10.1 apresentam-se os valores obtidos nos ensaios realizados nas salas comparadas do museu.

Quadro 10.1 – Valores obtidos nos ensaios realizados nas salas comparadas no MNSR com respetivos valores ideais

	TR _[500, 1k Hz] (s)	RASTI	L _{A eq} (rf) (dB)	L _{A eq} (AVAC) (dB)	L _{A eq} (vis) (dB)	NC	NR
Sala 2	1,6	0,53	42	47	60	42	43
Sala 5	2,6	0,47	29	40	62	33	34
Sala 7	5,1	0,41	29	45	58	40	42
Sala 16	3,1	0,47	42	-	58	-	-
Valores Ideais	[0,8 ; 1,6]	[0,45 ; 0,75]	-	≤ 45	-	≤ 40	≤ 35

Relativamente ao tempo de reverberação, só a sala 2 cumpriu o valor máximo recomendado para museus de 1,6 s. No RASTI a sala 7 é a única cujo valor (0,41) está abaixo do mínimo desejável de 0,45. Em relação ao nível sonoro de ruído de fundo das salas sem visitantes e AVAC desligado, as salas 2 e 16, junto à Rua D. Manuel II, têm os valores mais elevados, 42 dB(A). As sala 5 e 7 têm o

valor igual a 29 dB(A). No nível sonoro de ruído de fundo das salas sem visitantes e com AVAC ligado só a sala 2 não cumpriu o máximo desejável de 45 dB(A). Relativamente ao nível sonoro de ruído de fundo das salas com visitantes e com AVAC ligado os valores variam entre 58 e 62 dB(A). Com estes valores, o ruído de fundo do AVAC das salas fica mascarado. No parâmetro NC só a sala 2 é que não cumpriu (NC-42) o máximo recomendável de NC-40. Em relação ao NR só a sala 5 é que cumpriu (NR 34) o valor máximo recomendado de NR 35.

Foram realizados inquéritos às pessoas que se encontravam no museu para saber a sua opinião sobre a acústica no seu interior. O resumo dos resultados obtidos nas perguntas relacionadas com a acústica encontra-se na Fig. 10.1. Verificou-se de uma forma geral que as pessoas atribuíram uma nota positiva à avaliação global da acústica do museu, ressaltando as queixas do ruído dos passos das pessoas.

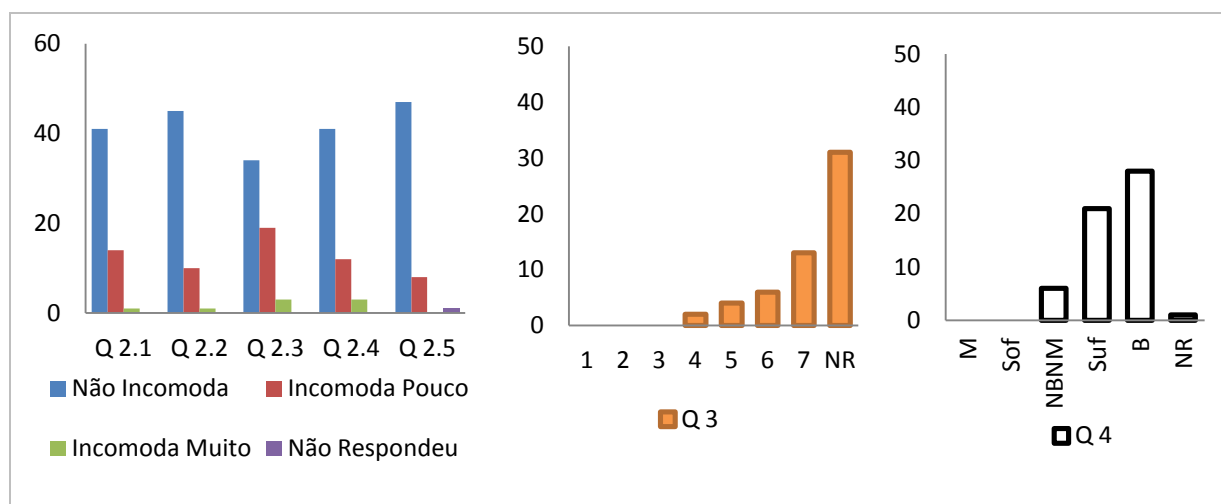


Fig. 10.1 – Resumo dos resultados obtidos nos inquéritos nas perguntas Q. 2 (esq.), Q. 3 (centro) e Q. 4 (dir.)

Desenvolveu-se e aplicou-se uma metodologia multicritério para avaliar a qualidade acústica do museu, o Índice de Qualidade Acústica do Museu (IQAM). Depois de aplicado o método concluiu-se que a sala 2 e a 5 tiveram valores positivos na avaliação com *Bom* e *Suficiente*, respetivamente. As salas 7 e 16 tiveram valores negativos, obtendo *Mau* e *Medíocre* respetivamente. O museu, no geral, obtém uma nota positiva.

Comparou-se os resultados do Museu Nacional Soares dos Reis, museu de tipologia “tradicional”, com dois de tipologia “moderna”, o Museu de Serralves e o Museu Nacional da Islândia. Depois de comparados os valores e aplicado o método multicritério desenvolvido, chegou-se à conclusão que o museu detentor das melhores salas avaliadas era o Museu Nacional da Islândia, seguido do Museu Nacional Soares dos Reis e em último o Museu de Serralves.

Sugeriram-se medidas de melhoria acústica nas salas estudadas do museu. Para a sala 2 determinou-se que se colocaria caixilharias no interior da janela, para reduzir o ruído de fundo proveniente do exterior, e uma passadeira a circundar a sala para evitar o ruído dos passos das pessoas. Esta intervenção teria um custo aproximado de 1300 a 1600 €. Na sala 5 concluiu-se que se colocaria um sistema *K-13 Standard* de 19 mm de espessura na parte superior do teto saliente, e uma passadeira a circundar a sala. O custo desta solução seria cerca de 2340 €. Para sala 7 conclui-se que se colocaria um sistema *SonaSpray* de 19 mm no teto rebocado e uma passadeira a rodear a sala. A intervenção custaria cerca de 4270 €. Na sala 16 a solução passaria por colocar uma alcatifa e caixilharia interior nas janelas. A solução custaria entre 4980 a 7470 €.

10.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para complementar este estudo, poderiam ser ensaiados no futuro outros parâmetros como o índice de isolamento sonoro aos ruídos de percussão, $L'_{nT, w}$ e o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores, $D_{2m, nT, w}$, para assim melhorar a metodologia multicritério desenvolvida. Poderiam ser realizados ensaios acústicos a todas as salas do museu para se verificar a aplicabilidade do aperfeiçoamento desenvolvido no método multicritério.

De modo a obter uma amostra mais significativa poder-se-ia aplicar mais inquéritos sobre a opinião das pessoas sobre a acústica do museu.

Poder-se-ia também fazer um guia de boas práticas sobre os valores ideais dos parâmetros acústicos nos museus.

Finalmente seria importante fazer estudos, semelhantes ao desta dissertação, em outros museus de Portugal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pierce, Allan D.. *Acoustics an Introduction to its Physical Principles and Applications*, American Institute of Physics, 1989.
- [2] Brüel & Kjaer. *Environmental Noise*, Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, 2001.
- [3] Carvalho, A.P. Oliveira de. *Acústica Ambiental e de Edifícios.*, Vol 8.1, FEUP, Porto, 2011.
- [4] Como as sondas sonoras funciona: <http://www.mediacollege.com/audio/01/sound-waves.html>, acessado em 10 de Março de 2012.
- [5] MP3 (Artigo Completo): http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/MP3_%28Artigo_Completo%29, acessado em 10 de Março de 2012.
- [6] Blog Chr Acoustica: http://chracustica.zip.net/arch2008-09-07_2008-09-13.html, acessado em 10 de Março de 2012.
- [7] Andrade, J.M. Figueiredo Mota de. *Caracterização do Conforto Acústico em Escolas*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2009.
- [8] Som ao vivo: <http://www.somaovivo.mus.br/artigos.php?id=181>, acessado em 11 de Março de 2012.
- [9] NC – Noise Criterion: http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html, acessado em 11 de Março de 2012.
- [10] NR – Noise Rating: http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html, acessado em 11 de Março de 2012.
- [11] O ressonador de Helmholtz: <http://www.fisica.ufs.br/egsantana/ondas/acustica/resonador/resonador.htm>, acessado em 11 de Março de 2012.
- [12] Soluções acústicas: http://www.imperialum.com/default.asp?s=193&sparent=85&sroot=79&cm_id=291, acessado em 11 de Março de 2012.
- [13] Definição de Museu: <http://icom.museum/who-we-are/the-vision/museum-definition.html>, acessado em 12 de Março de 2012.
- [14] ICOM. *Como Gerir um Museu - Manual Prático*, Maison de l' UNESCO, França, 2004.
- [15] *Enciclopédia Luso-Brasileira da Cultura*, Verbo, Lisboa, 2001
- [16] Royal Society Building London: <http://wildlifeencounters.photoshelter.com/image/I0000wnQzMURsRgI>, acessado em 12 de Março de 2012.

- [17] Académie des Sciences: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Acad%C3%A9mie_des_Sciences_1671.jpg, acedido em 12 de Março de 2012.
- [18] Ashmolean: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Ashmolean.jpg>, acedido em 12 de Março de 2012.
- [19] British Museum: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:British_Museum_from_NE_2.JPG, acedido em 12 de Março de 2012.
- [20] Revista Museu: <http://www.revistamuseu.com.br/emfoco/emfoco.asp?id=17273>, acedido em 13 de Março de 2012.
- [21] Vaticano – Cortile della Pigna: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Vaticano_-_Cortile_della_Pigna_1163-5.JPG, acedido em 13 de Março de 2012.
- [22] Nemzeti Múzeum: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Nemzeti_M%C3%BAzeum.jpg, acedido em 13 de Março de 2012.
- [23] Metropolitan Museum of Art: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Metropolitan_museum_of_art_2.jpg, acedido em 13 de Março de 2012.
- [24] MoMA NY USA: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MoMa_NY_USA_1.jpg, acedido em 13 de Março de 2012.
- [25] Guggenheim Museum Exterior: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Guggenheim_museum_exterior.jpg, acedido em 9 de Abril de 2012.
- [26] Iluminação natural e aberturas integram os espaços do exterior: <http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/alvaro-siza-vieira-museu-serralves-02-01-2002.html>, acedido em 13 de Março de 2012.
- [27] Stocker, Michael. *Museum Acoustics*, 1998, <http://www.msa-design.com/Article-musacous.html>, acedido em 10 de Março de 2012.
- [28] Rebber, Mark. *Base-building architectural and engineering acoustic concerns unique to museums and exhibit environments*, Conferência da ASA - Acoustical Society of America, 2003, Nashville.
- [29] Antonio, Peter D'. *Shape optimization: Good looks and acoustics too!*, Conferência da ASA - Acoustical Society of America, 2003, Nashville.
- [30] Antonio, Peter D'. *A new seamless, smooth, interior, absorptive finishing system*, Conferência da ASA - Acoustical Society of America, 2003, Nashville.
- [31] Haas, Steve. *Acoustic and electro-acoustic design of the Country Music Hall of Fame and Museum in Nashville*, Conferência da ASA - Acoustical Society of America, 2003, Nashville.
- [32] Jónsdóttir, Guðrún. *Museum Acoustics*, Dissertação de Mestrado, Technical University of Denmark, 2006.
- [33] The Danish National Gallery: <http://www.copenhagenet.dk/cph-map/cph-gallery.asp>, acedido em 14 de Março de 2012.
- [34] Museum The Louvre, Paris: <http://www.duran-audio.com/?page=louvre-paris>, acedido em 14 de Março de 2012.
- [35] Museums: <http://www.pindropacoustics.com/experience-2/museums/>, acedido em 14 de Março de 2012.

- [36] Playing at the museum: <http://www.basf.com/group/pressrelease/P-11-332>, acedido em 14 de Março de 2012.
- [37] CEI IEC 268-16 Rapport de la Commission Electrotechnique Internationale. Equipments pour systems électroacoustiques – seizième partie: Evolution objective de l'intelligibilité de la parole dans les salles de conference par le method RASTI, 1998.
- [38] López, Manuel Recuero. *Acústica Arquitectónica* Aplicada, Paraninfo, Madrid, 1999.
- [39] História do Museu Nacional Soares dos Reis: http://mnsr.imc-ip.pt/pt-PT/menu_historia/HighlightList.aspx, acedido em 17 de Março de 2012.
- [40] Biblioteca Municipal Porto: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Biblioteca_Municipal_Porto-01.jpg, acedido em 17 de Março de 2012.
- [41] Cruz, Maria João., Reimão, Rute. *Museu Portuense*, 2000, http://biblioteca.fba.up.pt/biblioteca-digital/Museu_Portuense_Historia.pdf, acedido em 17 de Março de 2012.
- [42] Soares dos Reis: http://www.vidaslusofonas.pt/soares_dos_reis.htm, acedido em 18 de Março de 2012.
- [43] Antigos Estudantes Ilustres da Universidade do Porto: https://sigarra.up.pt/up/web_base.gera_pagina?P_pagina=1000875, acedido em 18 de Março de 2012.
- [44] António Soares dos Reis: https://sigarra.up.pt/up/web_base.gera_pagina?P_pagina=1000877, acedido em 18 de Março de 2012.
- [45] Viana, Teresa. Os Carrancas e o seu Palácio, Museu Nacional Soares dos Reis, 1984.
- [46] Planta do 1º Piso do MNSR: http://mnsr.imc-ip.pt/pt-PT/museu/menu_visita_geral/Planta_Piso_01/ContentList.aspx, acedido em 2 de Abril de 2012.
- [47] Planta do 2º Piso do MNSR: http://mnsr.imc-ip.pt/pt-PT/museu/menu_visita_geral/Planta_Piso_02/ContentList.aspx, acedido em 2 de Abril de 2012.
- [48] NP 4476. Acústica. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos, 2008.
- [49] Vidal, Diana. *Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em salas de audiência de tribunais*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.
- [50] Loureiro, José. *Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em igrejas*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.
- [51] Maganinho, João. *Aplicação da Metodologia Multi-critério à Qualidade Acústica de Bibliotecas Públicas*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.
- [52] Golçalves, Hélder José Silveira. *A Acústica de museus modernos - Estudo de caso, o Museu de Serralves*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.
- [53] Catálogo comercial do produto Subpavimentos Naturais Sustentáveis empresa AcoustiCORK, 2011.
- [54] Graham Windows, Sistema de janelas acústicas: http://www.reedconstructiondata.com/documents/FS/catalogs/Graham_CA_Acoustical%20Window%20Systems.pdf, acedido em 20 de Junho de 2012.

- [55] Smithsonian National Air and Space Museum National Mall Building: <http://airandspace.si.edu/imageDetail.cfm?imageID=2140>, acedido em 20 de Junho de 2012.
- [56] Correspondência por correio electrónico com o Museu Nacional do Espaço e do Ar do Instituto Smithsonian, a 22 de Junho de 2012.
- [57] Freitas, Vasco Peixoto de. et al. *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. Ordem dos Engenheiros da Região Norte, 2012.
- [58]. Catálogo comercial do produto SonaSpray empresa STIER, 2011.
- [59] Catálogo comercial do produto BASWaphon empresa STIER, 2011.
- [60] Catálogo comercial do produto Sonacoustic empresa STIER, 2011.
- [61] Beranek, Leo L., *Acoustic*, Cambridge: Acoustical Society of America, 1996.

ANEXO

INQUÉRITO SÓCIO-ACÚSTICO Tese de Mestrado Integrado de Engenharia Civil: A Acústica de museus tradicionais – Estudo de caso, o Museu Nacional de Soares dos Reis (Porto) Com o apoio do Museu Nacional de Soares dos Reis	
---	---

Data: ____ / ____ / ____

Hora: _____

Género: Masculino ☐
 (assinale com X) Feminino ☐

Idade: (assinale com X)	Menos de 18 anos	18 a 30 anos	31 a 45 anos	46 a 65 anos	Mais de 65 anos
	☐	☐	☐	☐	☐

1. Qual a razão que o (a) leva a se encontrar no Museu: (assinale com X)

Lazer	Visita de Estudo	Trabalhar no Museu	Outra: (indique a razão)
☐	☐	☐	☐

2. Avalie os seguintes ruídos: (assinale com X)

	Não incomoda	Incomoda pouco	Incomoda muito
Ruído de conversação dentro da própria sala	☐	☐	☐
Ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos	☐	☐	☐
Ruído de percussão (passos, saltos, bater de portas, etc.)	☐	☐	☐
Ruído exterior (tráfego, etc.)	☐	☐	☐
Ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento	☐	☐	☐

3. Consegue ouvir e perceber bem o (a) guia durante a visita? (Responder apenas se estiver numa visita guiada) (assinale com X)

Absolutamente nada					Extremamente bem	
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

4. Indique como avalia em termos acústicos (ruído) este Museu: (assinale com X)

Mau	Sofrível	Nem mau Nem bom	Suficiente	Bom
☐	☐	☐	☐	☐