

A ACÚSTICA DO MUSEU NACIONAL SOARES DOS REIS, PORTO

António P. O. Carvalho, Luísa M. M. Garcia

Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto
carvalho@fe.up.pt, ec06128@fe.up.pt

Resumo

O objectivo deste trabalho é caracterizar acusticamente o Museu Nacional de Soares dos Reis (MNSR) no Porto. Foi realizada uma análise acústica do museu recorrendo a parâmetros medidos no interior das suas maiores salas de exposição (RASTI, TR, L_{Aeq} ruído de fundo, NC/NR). Foram também feitos inquéritos a visitantes onde se avaliou a incomodidade a ruídos existentes, a perceptibilidade do guia durante as visitas guiadas e globalmente a acústica do museu. Foi desenvolvida e aplicada uma metodologia multicritério a partir de vários parâmetros acústicos objectivos (TR, RASTI, L_{Aeq} ruído de fundo com AVAC, $L'_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) em que o peso dos critérios foi baseado nos inquéritos realizados no museu. São também sugeridas algumas medidas de correcção acústica desses espaços do MNSR.

Palavras-chave: Museus, Acústica, RASTI, Tempo de reverberação, Curvas de incomodidade.

Abstract

The main objective of this study is to acoustically characterize the National Museum Soares dos Reis, in Oporto, Portugal. An acoustic analysis of the museum was held using objective parameters measured within the largest showrooms (RASTI, RT, background noise ($L_{A,eq}$) and NC/NR). A brief subjective analysis by surveys was made after people visited the museum, which evaluated the acoustic quality of the museum. It was developed and applied a multicriteria methodology from various acoustic parameters (RT, RASTI, L_{Aeq} background noise with HVAC, $L'_{nT,w}$, $D_{2m,nT,w}$) in which the weight of the criteria was based on surveys conducted in the museum. Some measures of acoustical correction in the museum's rooms are suggested.

Keywords: Museums, Acoustic, RASTI, Reverberation time, Porto.

PACS no. 43.55.Gx, 43.55.Fw

1 Introdução

Os Museus evoluíram desde a Antiguidade estando, sobretudo os de tipologia “tradicional”, instalados em edifícios que, pela sua história ou características arquitectónicas, são eles próprios verdadeiros documentos a serem preservados. Neste contexto de valorização do edifício remete-se, por vezes, para segundo plano certos aspectos do conforto do visitante ao museu, como por exemplo a acústica, que actualmente é abordada pela Engenharia através da Acústica de 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 objecto de estudo é a acústica do Museu Nacional Soares dos Reis, no Porto, instalado em edifício de interesse público. Os objectivos são: caracterizar acusticamente este museu recorrendo a parâmetros objectivos e com uma breve referência a parâmetros subjectivos; criar uma metodologia multicritério para quantificar a qualidade acústica de museus; sugerir medidas de melhoria acústica para que o museu estudado seja o mais confortável possível.

Para essa análise foram realizados ensaios *in situ* e um inquérito a uma amostra de visitantes.

A construção do Palácio dos Carrancas em 1800 (local onde o museu se encontra) insere-se no movimento neoclássico sendo atribuído a Joaquim da Costa Lima Sampaio. Em 1934 iniciam-se as obras de adaptação para a nova função do edifício, o museu. Em 1992 o Palácio é novamente remodelado com projecto do arquitecto Fernando Távora.

2 Valores ideais

Embora não haja muita publicação de trabalhos de estudos acústicos em museus, nem legislação que defina quais os valores dos parâmetros acústicos um museu deva 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. Na Tabela 1 encontram-se os valores considerados ideais para cada parâmetro acústico.

Tabela 1 – Valores considerados ideais dos parâmetros acústicos representados [1,2,3]

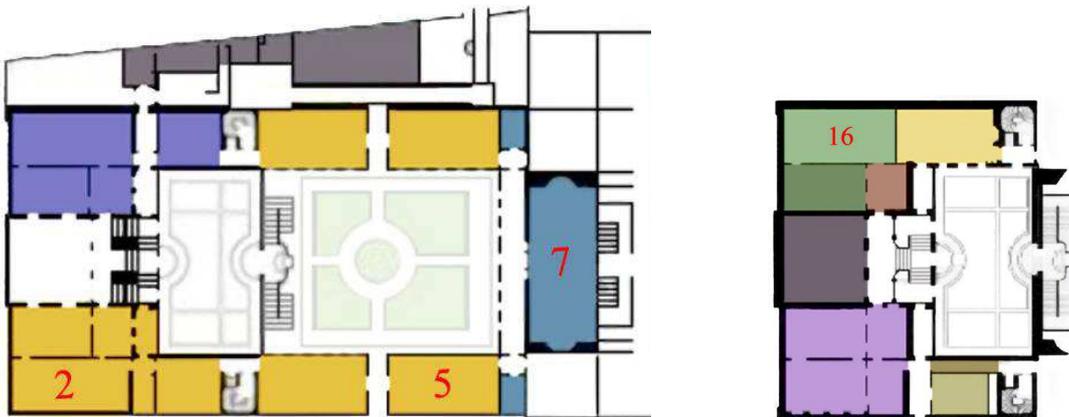
	TR (s)	RASTI	$L_{A\ eq}$ - ruído de fundo com AVAC (dB)	NC	NR
Valores Ideais	[0,8 ; 1,6]	[0,45 ; 0,75[≤ 45	≤ 40	≤ 35

3 Ensaio

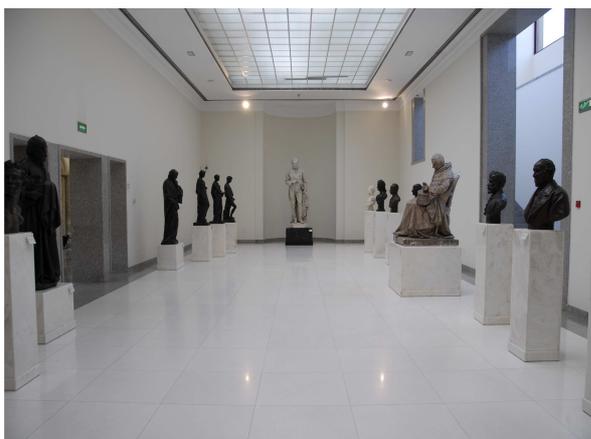
A caracterização acústica do museu foi feita (em Abril de 2012) com base numa análise objectiva através de ensaios acústicos realizados nas salas 2, 5, 7 e 16 do Museu (Figuras 1 a 6) para avaliar os parâmetros:

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

As dimensões das salas estão representadas na Tabela 2.



Figuras 1 e 2 - Plantas dos pisos 1 (esq.) e 2 (dir.) com as salas ensaiadas representadas (nº 2, 5, 7 e 16) [adaptado de 4]



Figuras 3 a 6 – Salas ensaiadas (nºs 2, 5, 7 e 16) do MNSR [6]

Tabela 2 – Dimensões das salas ensaiadas no Museu

Sala	Comprimento (m)	Largura (m)	Pé-direito máximo (m)	Pé-direito mínimo (m)
2	16,0	7,25	3,00	-
5	15,0	8,20	4,85	3,40
7	21,7	8,20	5,35	-
16	14,6	7,25	6,70	-

3.1 Ruído de fundo

Os valores obtidos dos níveis de pressão sonora (filtrado A) das salas do Museu encontram-se representados na Tabela 3. Verifica-se que as salas 2 e 16 têm os maiores valores de níveis sonoros, com 42 dB(A), enquanto as salas 5 e 7 ficam com níveis sonoros de 29 dB(A). Esse resultado mais elevado deve-se ao facto destas salas se encontrarem na fachada frontal do edifício, face à R. D. Manuel II, por onde circula muito tráfego. Este tráfego faz aumentar os níveis sonoros das salas a ela expostas em 13 dB(A).

Tabela 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 (ruído de fundo) (dB)										L _{A eq,global} (dB)
	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	
Sala 2	17,0	31,7	32,4	31,3	32,3	36,9	35,1	28,5	15,3	6,1	41,5
Sala 5	2,6	12,7	16,4	18,1	19,7	23,6	24,0	20,0	14,1	6,1	29,1
Sala 7	4,4	16,3	17,1	19,3	24,2	22,1	18,9	17,2	13,2	5,8	28,5
Sala 16	15,4	30,7	34,2	30,9	34,4	37,5	34,8	27,7	15,8	6,0	42,0

3.2 Ruído dos equipamentos de climatização

Os resultados obtidos dos níveis de pressão sonora (filtrado A) com o uso dos equipamentos de climatização (AVAC) das salas do Museu encontram-se representados na Tabela 4 (a sala 16 não dispunha de AVAC operacional). Verifica-se uma quase “homogeneização” entre salas nos resultados dos níveis de pressão sonora, em relação ao ensaio anterior.

As salas 2 e 7 têm valores de níveis sonoros mais elevados e 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).

Perante os resultados obtidos pode-se fazer uma comparação dos valores de nível de pressão sonora com o AVAC ligado e desligado. Calculou-se a diferença entre os dois conjuntos de valores (Tabela 5). 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 2 kHz, em relação ao ruído existente com o sistema de climatização desligado. O sistema AVAC neste compartimento destaca-se nas altas frequências, embora apresente um registo significativo nas baixas frequências.

Em resumo, o AVAC aumenta o ruído de 5 a 17 dB(A).

Tabela 4 - Valores dos níveis de pressão sonora filtrados A do ruído de AVAC nas salas do Museu ensaiadas (sem visitantes)

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

Tabela 5 – Diferença de valores de níveis sonoros das situações de AVAC ligado e AVAC desligado, (sem visitantes)

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

Recorrendo às curvas de incomodidade *NC* e *NR* (com o AVAC nas salas) determinaram-se os valores de *NC-42 / -33 / -40* e *NR-43 / -34 / -42* respectivamente nas salas 2, 5 e 7. Assim a sala 2 não respeita a condição aconselhada de *NC-40*, e quanto ao *NR* as salas 2 e 7 têm valores superiores ao desejável indicando um possível incómodo pelo funcionamento do AVAC.

3.3 Ruído dos visitantes

Na Tabela 6 encontram-se os resultados obtidos de níveis sonoros médios no interior das salas do Museu devido ao ruído dos utentes com vistas guiadas. Esses valores 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. A variação dos níveis sonoros foi de $59,5 \pm 2,7$ dB(A).

Estes resultados de 58 a 62 dB(A) são superiores de 13 a 23 dB(A) em relação aos resultados do ruído de fundo com os equipamentos de climatização (Tabela 7), o que significa que o ruído dos visitantes mascara o ruído do AVAC, tornando-o quase imperceptível. 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 imperceptível qualquer ruído proveniente do exterior.

Tabela 6 – Valores dos níveis sonoros do ruído ambiente com visitantes nas salas do Museu ensaiadas

	Sala 2	Sala 5	Sala 7	Sala 16
$L_{A\text{ eq,global}}$ (visitantes) (dB)	60,2	62,2	58,1	57,6

Tabela 7 – Valores dos níveis sonoros do ruído de fundo sem visitantes (rf), com visitantes (visitantes) e com o sistema de AVAC ligado (AVAC), bem como as respectivas diferenças

Sala	L _A (rf) (dB)	L _A (AVAC) (dB)	L _A (visitantes) (dB)	ΔL _{A1} (=visitantes-AVAC) (dB)	ΔL _{A2} (=visitantes - rf) (dB)
2	41,5	46,9	60,2	13,3	18,7
5	29,1	39,7	62,2	22,5	33,1
7	28,5	45,3	58,1	12,8	29,6
16	42,0	-	57,6	-	15,6

3.4 Tempo de reverberação

Os resultados obtidos para o TR encontram-se representados na Figura 7 e Tabela 8. Comparando o tempo de reverberação médio relativo às bandas de frequência de 500 a 2k Hz entre as várias salas, 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.

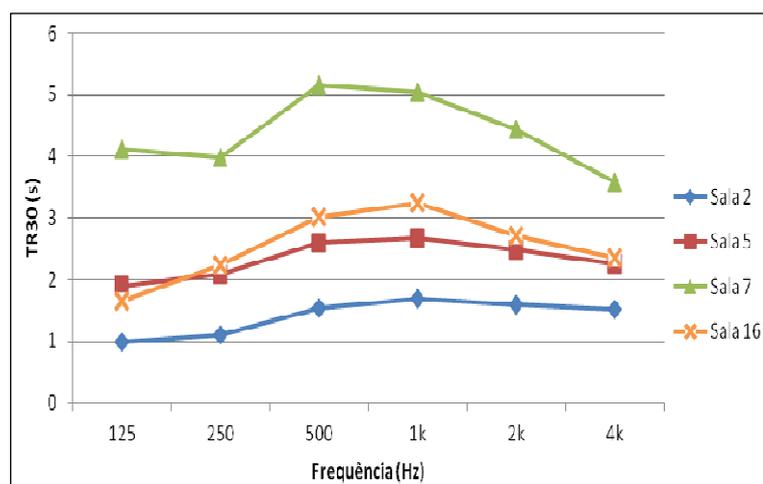


Tabela 8 – Tempo de Reverberação médios nas quatro salas do Museu

Sala	TR [500-2k Hz]
2	1,6
5	2,6
7	4,9
16	3,0

Figura 7 – Valores de TR30 nas quatro salas ensaiadas do MNSR

3.5 Rapid Speech Transmission Index, RASTI

Na Tabela 9 encontram-se os valores médios de RASTI obtidos nas quatro salas do museu ensaiadas. A variação dos valores de RASTI nessas quatro salas é de $0,47 \pm 0,06$. Analisando os valores médios de RASTI com o valor mínimo ideal (0,45) verifica-se que só a sala 7 (com 0,41) é que não cumpre esse requisito mínimo.

Tabela 9 – Valores médios obtidos de RASTI nas quatro salas ensaiadas do Museu

Sala do museu	2	5	7	16
RASTI médio	0,53	0,47	0,41	0,47

4 Inquéritos

A elaboração do inquérito (em Maio de 2012) teve por base a norma NP 4476:2008 (*Acústica. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos*) nas instalações do Museu Nacional Soares dos Reis no Porto. O seu principal objectivo era quantificar a incomodidade sentida subjectivamente 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.

As questões colocadas são as seguintes:

- Género e 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 preenchidos cinquenta e seis inquéritos. As principais fontes de ruído encontradas no museu são as pessoas (quer o andar ou a conversação entre elas), o ruído do tráfego da R. D. Manuel II e o sistema AVAC.

Na Figura 8 encontram-se as estatísticas das respostas ao inquérito realizado. Verifica-se que no museu, o ruído que mais incomoda os visitantes, é o de percussão (passos, saltos, bater de portas, etc.), seguido do ruído proveniente do exterior, do ruído das conversações na própria sala, do ruído proveniente de outras salas e finalmente do ruído do AVAC. Em relação às questões sobre a perceptibilidade do guia e da avaliação acústica global do museu, os inquiridos atribuem cotações positivas.

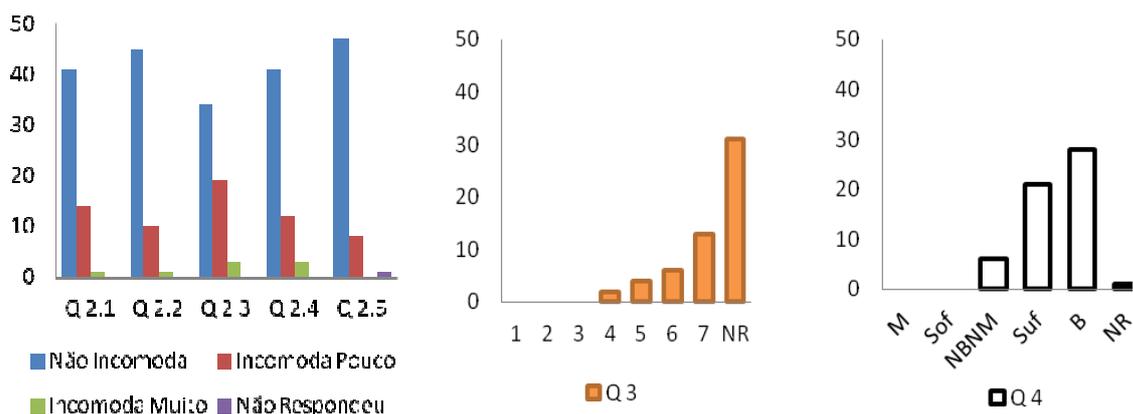


Figura 8 – Resultados obtidos nos inquéritos nas perguntas Q. 2 (esq.), Q. 3 (centro) e Q. 4 [M – Mau, Sof – Sofrível, NBNM – Nem Bom Nem Mau, Suf – Suficiente, B – Bom] (dir.); eixo vertical (%)

5 Método Multicritério

O método multicritério utilizado para classificar acusticamente o Museu é um método aditivo que se enquadra no ramo do discreto e determinístico [5]. Os parâmetros acústicos que são 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.

Depois de definidos os critérios atribuiu-se um peso relativo a cada um (Tabela 9). 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. As cotações atribuídas a cada intervalo de valores dos critérios encontram-se representadas nas Tabelas 12 a 16.

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 expressão (1) e a escala de conversão do valor do resultado obtido do *IQAM* vem representada na Tabela 11.

$$IQAM = 0,4x C_{TR} + 0,2x C_{RASTI} + 0,1x C_{LAeq(AVAC)} + 0,2x L'_{nT,w} + 0,1x C_{D2m,nT,w} \quad (1)$$

Tabela 10 – Peso de cada critério do algoritmo do MMC

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

Tabela 11 – Escala subjectiva de conversão dos valores do IQAM obtidos pelo método multicritério

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

Tabela 12 - Escala de valores para o critério nível sonoro de ruído de fundo com AVAC

$L_{Aeq}(AVAC)$ (dB)	≤ 25	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	47	48	49	≥ 50
		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a					
Cotação C_{LAeq}	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	8	6	4	2	0

Aplicando o método multicritério às salas ensaiadas do Museu Nacional Soares dos Reis obtém-se os resultados representados na Tabela 17.

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 $C_{L'nT,w}$ 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 dos elementos 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. O tempo de reverberação

utilizado foi o $TR_{[500-1k]}$, para assim se adaptar a outras análises que não sigam o método do actual regulamento português.

Tabelas 13 e 14 – Escala de valores para o critério $TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$ (esq.) e RASTI (dir.)

$TR_{[500-1k\text{ Hz}]}$ (s)	Cotação C_{TR}	RASTI médio	Cotação C_{RASTI}
[0,0 ; 0,2[	0	[0,00 ; 0,10[	0
[0,2 ; 0,4[	4	[0,10 ; 0,15[	2
[0,4 ; 0,6[	8	[0,15 ; 0,20[	3
[0,6 ; 0,8[	12	[0,20 ; 0,25[	4
[0,8 ; 1,0[	16	[0,25 ; 0,30[	5
[1,0 ; 1,2[	20	[0,30 ; 0,35[	6
[1,2 ; 1,4[	19	[0,35 ; 0,40[	7
[1,4 ; 1,6[	18	[0,40 ; 0,45[	8
[1,6 ; 1,8[	17	[0,45 ; 0,50[	10
[1,8 ; 2,0[	16	[0,50 ; 0,55[	13
[2,0 ; 2,2[	14	[0,55 ; 0,60[	17
[2,2 ; 2,4[	12	[0,60 ; 0,65[	20
[2,4 ; 2,6[	10	[0,65 ; 0,70[	15
[2,6 ; 2,8[	8	[0,70 ; 0,75[	10
[2,8 ; 3,0[	6	[0,75 ; 0,80[	9
[3,0 ; 3,2[	4	[0,80 ; 0,85[	8
[3,2 ; 3,4[	2	[0,85 ; 0,90[	7
[3,4 ; 3,8[	1	[0,90 ; 1,00]	6
$\geq 3,8$	0		

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 colecções 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 aspecto é que o inquérito foi realizado avaliando globalmente todas as salas do MNSR, enquanto o método multicritério foi apenas aqui realizado para as quatro salas maiores do museu e individualmente, e assim mais propícias de terem piores resultados acústicos. Numa média pesada pelas áreas destas quatro salas obtém-se um IQAM global do museu de 9,0 a que corresponde um valor ainda de *medíocre* mas já próximo do *Suficiente*.

Tabelas 15 e 16 - Escalas de valores para os critérios índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão e índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea dos elementos exteriores [5]

$L'_{nT,w}$	Cotação $C_{L'_{nT,w}}$	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Cotação $C_{D_{2m,nT,w}}$
≤ 45	20	≥ 43	20
46	19	42	19
47	18	41	18
48	17	40	17
49	16	39	16
50	15	38	15
51	14	37	14
52	13	36	13
53	12	35	12
54	11	34	11
55	10	33	10
56	9	32	9
57	8	31	8
58	7	30	7
59	6	29	6
60	5	28	5
61	4	27	4
62	3	26	3
63	2	25	2
64	1	24	1
≥ 65	0	≤ 23	0

Tabela 17 – Valores dos critérios e classificação IQAM das salas ensaiadas do MNSR

Sala	TR		RASTI		$L_{A,eq(AVAC)}$		$L'_{nT,w}$		$D_{2m,nT,w}$		IQAM	Resultado
	(s)	c		c	(dB)	c	(dB)	c	(dB)	c		
2	1,6	17	0,53	13	47	6	na	12	na	8	13,2	<i>Bom</i>
5	2,6	8	0,47	10	40	12	na	12	na	12	10,0	<i>Suficiente</i>
7	5,1	0	0,41	8	45	10	na	12	na	12	6,2	<i>Mau</i>
16	3,1	4	0,47	10	42*	11	na	12	na	8	7,9	<i>Medíocre</i>

na – não avaliado * não medido com AVAC, valor arbitrado

6 Sugestões para melhoria acústica

A Tabela 18 identifica os principais problemas encontrados e a Tabela 19 apresenta-se propostas para as suas possíveis resoluções.

Tabela 18 – Identificação dos problemas acústicos nas salas estudadas do MNSR

Sala	TR	RASTI	Ruído AVAC	Ruído Exterior	Sonoridade passos
2			X	X	X
5	X				X
7	X	X	X		X
16	X			X	X

Tabela 19 – Propostas de intervenção para os problemas acústicos verificados nas salas estudadas

Problemas Acústicos	Propostas de intervenção
TR e RASTI Ruído AVAC Ruído Exterior Sonoridade de passos	Colocar materiais absorventes (por ex. nos tectos) Substituir equipamento AVAC e/ou isolar acusticamente condutas Alteração da caixilharia e/ou colocar sistema de janela dupla Colocar subpavimentos e/ou alcatifa/passadeiras

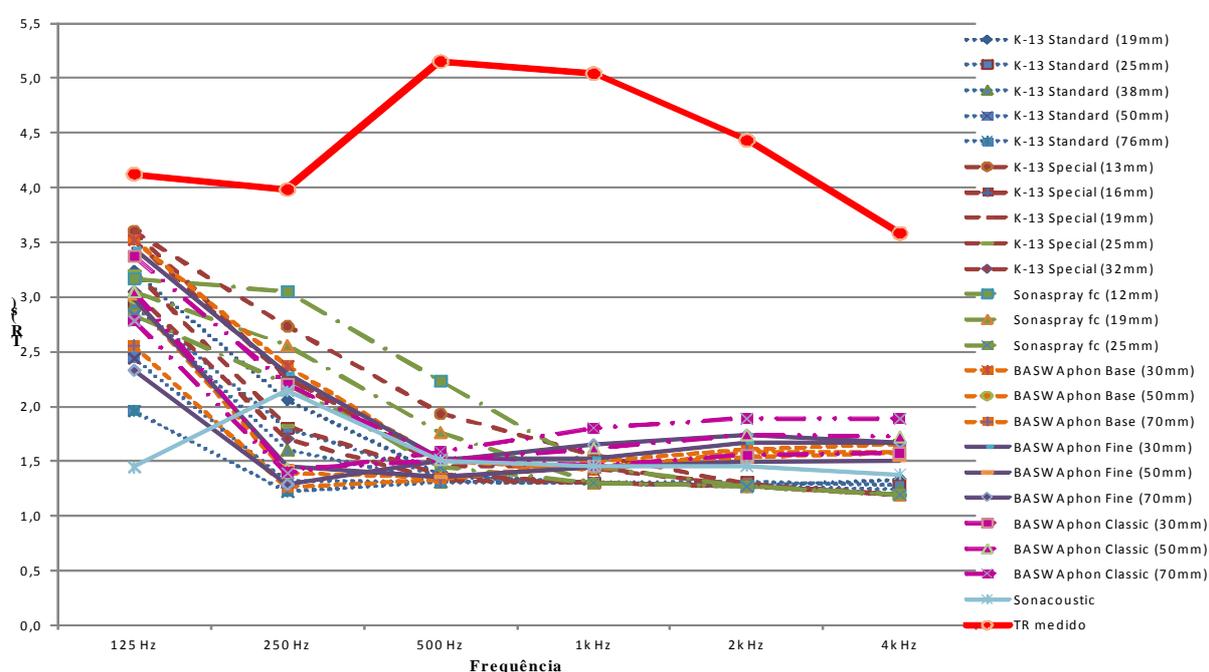


Figura 9 – Valores do Tempo de Reverberação na Sala 7, medidos (linha superior a vermelho) e previstos com aplicação no tecto de 23 hipóteses de sistemas projectados

Analisando as propostas de intervenção verifica-se que na sala 2 o custo de colocar caixilharia pelo interior é de 600 a 900 €. A opção com a melhor relação eficácia/custo para reduzir a sonoridade dos passos seria a colocação de uma passadeira a rodear a sala (\approx 700 €). No total, a intervenção nesta sala custaria 1.300 a 1.600 €.

Na sala 5 a melhor solução de relação eficácia/custo é a combinação da colocação no tecto de *K-13 Standard* com 19 mm de espessura (\approx 1.500 €) com a colocação de uma passadeira a rodear a sala (\approx 800 €). No total o custo da intervenção seria cercade 2.300 €.

Para a sala 7 a melhor solução é, aplicar no tecto, um sistema tipo *SonaSpray* de 19 mm de espessura (ver na Figura 9 com redução no TR em cerca de 3 s) (\approx 3.300 €). A colocação da passadeira a circundar a sala custaria cerca de 1.000 €. O custototal da intervenção na sala seria cerca de 4.300 €.

Na sala 16 a solução de colocar caixilharia pelo interior da janela poderia custar 1.800 a 2.700 €. O custo da colocação da alcatifa no pavimento para reduzir o tempo de reverberação varia entre 3.200 a 4.800 €. No total a intervenção custaria entre 5.000 a 7.500 €. Contudo com a restrição de não poder

alterar paredes nem tecto e o posicionamento da exposição, as soluções para esta sala tornam-se limitadas.

7 Conclusões

Na Tabela 20 apresentam-se os valores obtidos nos ensaios realizados nas salas do museu Nacional Soares dos Reis comparados com os valores desejáveis.

Tabela 20 – Valores obtidos nos ensaios realizados nas salas comparadas no MNSR com respectivos valores ideais (\checkmark *cumpre*; \times *não cumpre*)

	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 \checkmark	0,53 \checkmark	42	47 \times	60	42 \times	43 \times
Sala 5	2,6 \times	0,47 \checkmark	29	40 \checkmark	62	33 \checkmark	34 \checkmark
Sala 7	5,1 \times	0,41 \times	29	45 \checkmark	58	40 \checkmark	42 \times
Sala 16	3,1 \times	0,47 \checkmark	42	-	58	-	-
Valores ideais	[0,8 ; 1,6]	[0,45 ; 0,75[	-	≤ 45	-	≤ 40	≤ 35

Nas perguntas do inquérito relacionadas com a acústica verificou-se que as pessoas atribuíram uma nota positiva à avaliação global da acústica do museu, ressaltando as queixas do ruído dos passos das pessoas.

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

Sugeriram-se medidas de melhoria acústica nas salas estudadas do museu. Para a sala 2 determinou-se que se colocaria caixilharias no interior das janelas, para reduzir o ruído de fundo proveniente do exterior, e uma passadeira a circundar a sala para evitar o ruído dos passos das pessoas (custo de 1.300 a 1.600 €). Na sala 5 concluiu-se que se colocaria um sistema *K-13 Standard* de 19 mm de espessura na parte superior do tecto saliente, e uma passadeira a circundar a sala (\approx 2.300 €). Para sala 7 concluiu-se que se colocaria um sistema *SonaSpray* de 19 mm no tecto rebocado e uma passadeira a rodear a sala (\approx 4.300 €). Na sala 16 a solução passaria por colocar uma alcatifa e caixilharia interior nas janelas (5.000 a 7.500 €).

Referências

- [1] Jónsdóttir, G., *Museum Acoustics*, Dissertação de Mestrado, DTU, Dinamarca, 2006.
- [2] López, M. R., *Acústica Arquitectónica Aplicada*, Paraninfo, Madrid, 1999.
- [3] NR - Noise Rating: http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html, acessado em 11 de Março de 2012.
- [4] Plantas do MNSR: http://mnsr.imc-ip.pt/pt-PT/museu/menu_visita_geral, acessado em Abril 2012.
- [5] Maganinho, J., *Aplicação da Metodologia Multi-critério à Qualidade Acústica de Bibliotecas Públicas*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, 2008.
- [6] Garcia, L. M., *A Acústica de Museus Tradicionais - Caso de Estudo o Museu Nacional de Soares dos Reis (Porto)*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, 2012.