

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DA MEGAIGREJA DA SANTÍSSIMA TRINDADE - FÁTIMA

PACS: 43.55.Fw

António P. O. Carvalho; Pedro M. A. Silva

Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
Tel. +351-225081931
Fax +351-225081940
carvalho@fe.up.pt; pedro_a_silva@hotmail.com

ABSTRACT

This article is based on the study conducted at the Master's thesis "Caracterização acústica interior da nova Igreja da Santíssima Trindade em Fátima". The constructive solutions of the church designed to think about the acoustic comfort and the limits imposed on Project will be shown. Then presents the reports of testing and verifies if the acoustic requirements were accomplished. The only parameter that doesn't comply with the limits required by the NC was the noise caused by HVAC system.

Keywords: churches, reverberation time, background noise, NC, RASTI

RESUMO

Este artigo tem por base o estudo desenvolvido na tese de mestrado "Caracterização acústica do interior da nova Igreja da Santíssima Trindade em Fátima". Serão demonstradas as soluções construtivas do interior da igreja concebidas a pensar no conforto acústico e os exigentes limites impostos em projecto. De seguida apresentam-se os relatos dos ensaios realizados e a verificação do cumprimento ou não dos requisitos acústicos impostos. O único parâmetro que não cumpre com os limites exigidos foi o NC devido ao ruído provocado pelo sistema de AVAC.

Palavras-chave: Igrejas, tempo de reverberação, ruído de fundo, NC, RASTI

1. INTRODUÇÃO

A Igreja da Santíssima Trindade inaugurada em 2007 foi pioneira em Portugal em diversos aspectos pois trata-se da maior igreja em Portugal em número de lugares sentados e foi merecedora dum grande e exaustivo estudo acústico na fase de ante-projecto [1]. Esta prática não é habitual neste tipo de obras em Portugal. Agora que a igreja se encontra em funcionamento surgiu o interesse dum estudo do comportamento acústico interior da nova igreja para verificar o cumprimento dos objectivos propostos pelo dono-de-obra e caracterizar o conforto acústico deste espaço público.

O objectivo deste trabalho é a caracterização acústica interior da Igreja da Santíssima Trindade através de parâmetros objectivos. Para tal foram realizadas medições *in situ* a diversos parâmetros acústicos objectivos (NC, RASTI e Tempo de Reverberação (TR)). A partir da análise dos resultados obtidos nos ensaios faz-se a caracterização da sala e verificação do cumprimento dos limites impostos.

2. IGREJA DA SANTÍSSIMA TRINDADE

2.1. Introdução Histórica

Desde que a 13 de Maio de 1917 a Virgem Maria apareceu a três meninos pastores, Fátima tornou-se um centro de peregrinação conhecido mundialmente com o culto da Nossa Senhora de Fátima. Em 1919 iniciou-se a construção de uma pequena capela no local das aparições, a Capelinha das Aparições. Com o passar do tempo o culto foi ganhando cada vez mais seguidores e a grande afluência à Capela das Aparições veio exigir a construção de um novo espaço mais amplo. Começou assim em 1928 a construção da Basílica onde actualmente repousam os restos mortais dos três pastorinhos. Com o passar dos anos a Basílica começou a ser insuficiente para acolher os milhares de peregrinos (fig. 1). Então decidiu-se a construção de uma nova Igreja. A 12 de Outubro de 2007 foi inaugurada a Igreja da Santíssima Trindade (fig. 2).



Figuras 1 e 2 – Típica peregrinação, 13/5/1982 (à esq.) [2] e nova igreja da Santíssima Trindade (à dir.).

2.2. Caracterização Arquitectónica

A Igreja da Santíssima Trindade fica no topo Sudoeste do Santuário de Fátima com uma área de intervenção de $230 \times 155 \text{ m}^2$. Esta mega-igreja foi projectada por uma equipa liderada pelo arquitecto grego Alexandros Tombazis que elegeu a forma circular com 125 m de diâmetro, sustentada por uma grande viga que suporta toda a cobertura e dispensa pilares no interior. Tem um volume de 130.000 m^3 e capacidade para 8.633 pessoas sentadas com duas modalidades de utilização. Uma para 3.175 pessoas que é separada por uma divisória amovível do resto da nave que pode ser recolhida para usar os restantes lugares. No complexo existem ainda três igrejas mais pequenas em subterrâneo (de 120 a 600 lugares) e 64 confessionários. O projecto de estruturas foi da autoria do Eng. José Mota Freitas e foi merecedor do *Prémio Secil de Engenharia Civil* [3] de 2007 e destaca-se pela utilização do betão branco e pelas duas vigas de betão pré-esforçado que suportam toda a cobertura da nave central. As dimensões principais da Igreja da Santíssima Trindade (fig. 2) são as seguintes:

- Volume – 130.000 m³;
- Área – 8.700 m²;
- Altura máxima – 20 m;
- Altura média – 15 m;
- Altura mínima – 9 m;
- Comprimento máximo – 95 m;
- Comprimento médio – 85 m;
- Largura máxima – 115 m;
- Largura média – 105 m;

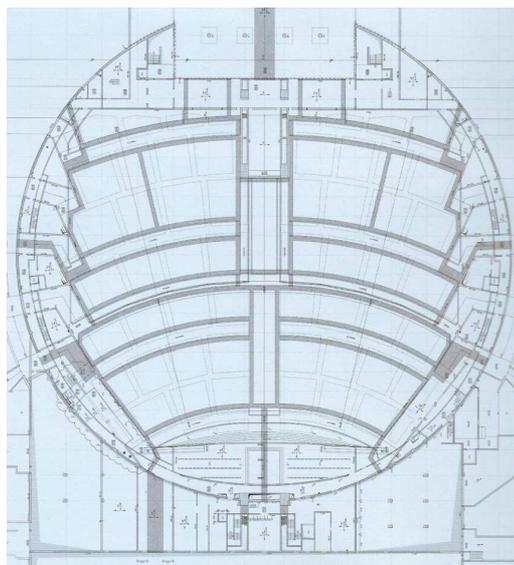


Figura 2 – Planta da Igreja da Santíssima Trindade [3]

2.3. Limites impostos para os parâmetros acústicos

O objectivo principal da Acústica desta igreja é garantir a percepção da palavra em todo o espaço e tornar o ambiente musical tão bom quanto a inteligibilidade da palavra o permita. Como tal foram previamente estabelecidos pelo dono-de-obra requisitos acústicos a cumprir em posterior fase de projecto [1]. Relativamente ao tempo de reverberação (TR) os limites impostos reflectem a preocupação do dono-de-obra em privilegiar a inteligibilidade da palavra sem descuidar o conforto mínimo musical (Quadro 1). Quanto ao Ruído de Fundo avaliado com o parâmetro NC nota-se a preocupação em manter um ambiente propício à meditação e oração individual (Quadro 1). No que diz respeito ao parâmetro RASTI nota-se a preocupação de haver boa percepção da palavra por toda a igreja (Quadro 2). Foram ainda previstos em fase final de projecto, para a igreja ocupada, requisitos para os parâmetros Tempo Central (TS), Definição (D_{50}), Claridade (C_{80}) e factor de força (G) conforme o Quadro 3.

Quadro 1 – Condições limite estabelecidas pelo Dono-de-Obra. [1]

Parâmetros	Objectivos de projecto	Condições limite aceitáveis
<i>Igreja no modo de 9.000 lugares</i>		
TR(500-1k Hz) 100% ocupada	≤ 1,6 s	≤ 2,0 s
TR(250 Hz) 100% ocupada	≤ 2,4 s	≤ 2,8 s
TR(500-1k Hz) desocupada	≤ 2,1 s	≤ 2,6 s
TR(250 Hz) desocupada	≤ 2,8 s	≤ 3,4 s
NC	≤ 25 dB	≤ 30 dB *
<i>Igreja no modo de 3.000 lugares</i>		
TR(500-1k Hz) 100% ocupada	≤ 1,5 s	≤ 2,0 s
TR(250 Hz) 100% ocupada	≤ 2,4 s	≤ 2,7 s
TR(500-1k Hz) desocupada	≤ 2,0 s	≤ 2,6 s
TR(250 Hz) desocupada	≤ 2,8 s	≤ 3,1 s
NC	≤ 20 dB	≤ 30 dB *

* em pelo menos 95% dos lugares

Quadro 2 – Condições limite estabelecidas pelo Dono-de-Obra para sistema electroacústico. [1]

Parâmetros	Objectivos de projecto	Condições limite aceitáveis
RASTI*	$\geq 0,50$	$\geq 0,45^{**}$
ΔL (45-11,2k Hz) entre quaisquer dois lugares*	≤ 4 dB	≤ 6 dB
ΔL máximo em 1/3 oitava (141 - 5.620 Hz) entre quaisquer dois lugares *	≤ 6 dB	≤ 8 dB

* sistema de som ligado; ** em pelo menos 95% dos lugares

Quadro 3 – Valores previstos de alguns parâmetros acústicos (para igreja ocupada) [1]

Parâmetros	Gama de valores previstos
TS	100 a 120 ms
D_{50}	0,5 a 0,6
C_{80}	+1 a +4 dB
G	-5 a -10 dB

2.4. Soluções adoptadas

Numa igreja desta dimensão e com os revestimentos escolhidos, nomeadamente o mármore no pavimento, podia prever-se um desastre acústico. No entanto, foram adoptadas medidas construtivas para contrariar as desfavoráveis características “arquitectónicas” da igreja. Segue-se uma breve lista desses sistemas que visam proporcionar ao espaço o conforto acústico exigido pelo dono-de-obra:

- As fileiras de bancos são em madeira e almofadadas, logo absorventes essencialmente para as altas frequências (fig. 3);
- As faces interiores das 12 portas de entrada têm um aglomerado de madeira perfurado que funciona com um sistema de ressoadores agrupados para actuar essencialmente nas médias frequências (fig. 4);
- As paredes de fundo do espaço dedicado ao coro, assim como a parede da retaguarda da assembleia foram tratadas com difusores acústicos (fig.s 5 e 7);
- A parede do presbitério tem uma ligeira inclinação;
- As paredes laterais são revestidas de material “*Akustaplan*” (com coeficientes de absorção elevados) (fig. 8);
- A todos estes elementos junta-se o sistema de reforço electroacústico instalado com altifalantes da marca *Bose* e processamento *BSS*. De realçar as duas colunas com cinco altifalantes suspensas ao centro do altar (fig. 9), responsáveis pela difusão da palavra captada no altar. Do lado direito do altar existem 6 colunas e 4 de graves responsáveis pela amplificação do órgão e 6 *wave cannons* para extensão da linha de difusão do órgão (fig. 10).



Figura 3 – Pormenor das cadeiras almofadadas.

Figura 4 – Pormenor do painel perfurado



Figuras 5 e 6 – Parede da retaguarda do coro e vista geral da sala



Figuras 7 e 8 – Difusores acústicos da parede de retaguarda da assembleia (à esq.) e parede revestida com Akustaplan (parte branca da parede da foto à dir.)



Figuras 9 e 10 – Colunas suspensas (à esq.) e colunas responsáveis pela amplificação do órgão e Wave Cannons (à dir.)

3. MEDIÇÕES

3.1. Introdução

Os ensaios *in situ* foram realizados em Março de 2009 com a modalidade de 9.000 lugares e desocupada. Os parâmetros ensaiados foram os seguintes:

- L (níveis de pressão sonora do Ruído de Fundo) com e sem o funcionamento dos dispositivos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC);
- RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) com e sem funcionamento do sistema de reforço electroacústico;
- TR (Tempo de Reverberação) por bandas de oitava.

O equipamento utilizado em todos os ensaios é da marca *Brüel & Kjaer* a saber: sonómetro 2260, calibrador 4231, microfone 13 mm 4189, fonte sonora 4224, módulos BZ7204 e 10, Tripé UA0049, Analisador RASTI 3361 (emissor 4225 e receptor 4419).

3.2. Discussão

3.2.1. Ruído de fundo

Os resultados obtidos para o ensaio dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo estão presentes no Quadro 4. Daí se conclui que o Ruído de Fundo proveniente dos dispositivos de AVAC fez aumentar o nível sonoro (L_A) entre 13 e 19 dB e o nível de pressão sonora (L) entre 17 e 22 dB. Relativamente ao parâmetro NC, todos os pontos têm NC c/ AVAC acima dos 30 dB que era o limite aceitável para a igreja. Os valores deste parâmetro são muito maiores que os de NC s/ AVAC o que demonstra que não há outra significativa fonte de ruído no interior da igreja, que não seja o dos dispositivos de AVAC.

Quadro 4 – Valores médios dos níveis de pressão sonora (L) e dos níveis sonoros (L_A) do Ruído de Fundo com e sem AVAC em funcionamento e valores de NC correspondentes para cada ponto

Ponto	L (dB)		L_A (dB)		ΔL (dB)	ΔL_A (dB)	NC (dB)		ΔNC (dB)
	c/ AVAC	s/ AVAC	c/ AVAC	s/ AVAC			c/ AVAC	s/ AVAC	
1	51,5	35,0	38,3	24,2	16,5	14,1	32	18	14
2	51,4	34,7	37,3	24,0	16,7	13,3	30	17	13
3	52,2	34,4	38,0	23,8	17,8	14,2	31	18	13
4	52,7	30,9	41,0	23,5	21,8	17,5	35	17	18
5	52,8	30,6	40,6	21,7	22,2	18,9	35	16	19
Média	52,1	33,1	39,0	23,4	19,0	15,6	33	17	15

3.2.2. RASTI

Os resultados obtidos nos ensaios do RASTI para os oito pontos escolhidos estão representados na fig. 11. Aí verifica-se o cumprimento dos valores exigidos em ante-projecto para o RASTI. Relacionando estes valores com a escala subjectiva de inteligibilidade da palavra normalizada [4] conclui-se que a igreja tem uma *Boa* Inteligibilidade da Palavra.

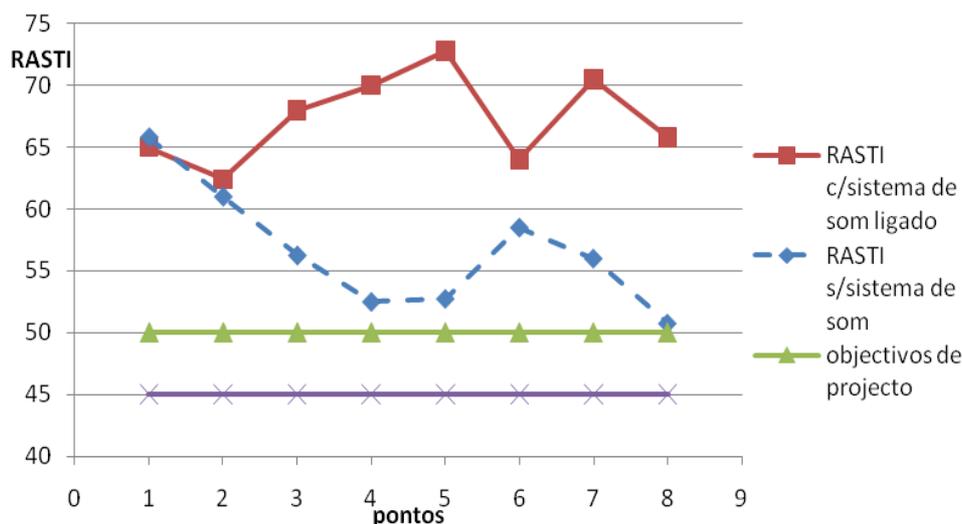


Figura 11 – Comparação de RASTI com os valores objectivo e limite aceitável impostos para projecto.

3.2.3. Tempo de reverberação

Para o TR foram escolhidos nove pontos da igreja para análise. Os resultados obtidos estão visíveis na fig. 12 e resumidos no Quadro 5. Os valores de TR cumprem com os requisitos exigidos para cada ponto da igreja para os dois índices estudados, embora os valores de TR(500-1k Hz) não respeitem os objectivos de projecto para todos os pontos, ficam sempre abaixo do “valor limite aceitável”.

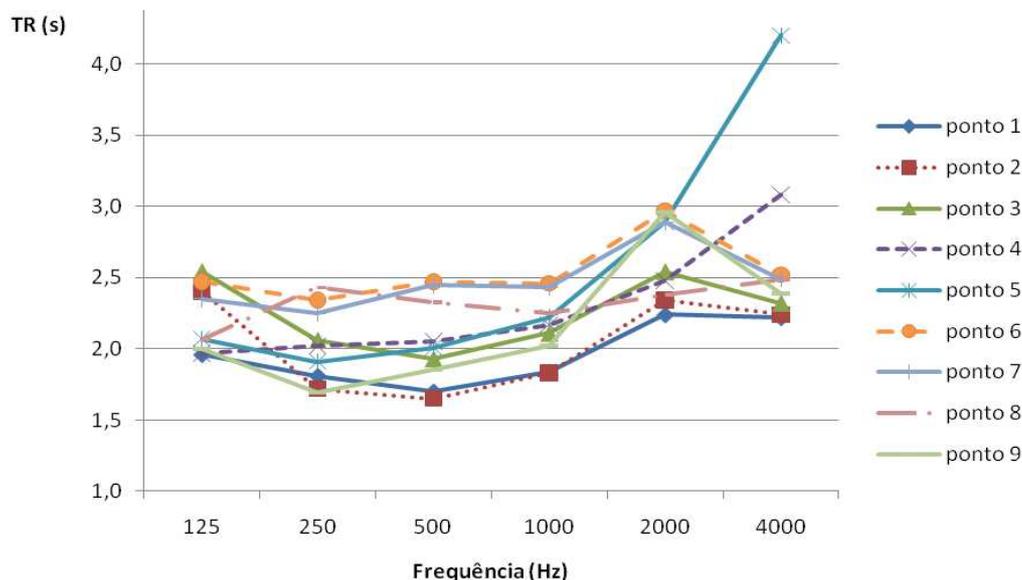


Figura 12 – Comparação dos valores de TR nos diversos pontos [o valor de 4,2 s nos 4 kHz do pt 5 está, por lapso, errado e devia ser 2,9 s]

Quadro 5 – TR dos valores médios dos ensaios vs TR do projecto

Parâmetro	Valores medidos em todos os pontos	Média dos valores medidos	Objectivos de projecto *	Valor limite aceitável *
TR(500-1k Hz) (s)	1,74 a 2,47	2,10	≤ 2,1	≤ 2,6
TR(250 Hz) (s)	1,72 a 2,43	2,03	≤ 2,8	≤ 3,4

* Para cada ponto na igreja

4. CONCLUSÕES

No Quadro 6 apresenta-se o resumo dos ensaios efectuados e verificações efectuadas.

A ventilação mecânica da igreja faz com que o nível sonoro da sala aumente em cerca de 16 dB(A), criando um ambiente de cerca de 39 dB(A) o que não é exagerado. Analisando a classificação NC de cada ponto, verifica-se que em apenas um deles se obtém classificação $NC \leq 30$ dB. O valor obtido para este ponto é de 30 dB. Para os restantes pontos a curva NC correspondente varia entre 30 e 35 dB, excedendo portanto, o valor limite aceitável de 30 dB. No entanto, para minimizar estes valores de forma a cumprir os objectivos para o parâmetro NC, sugere-se pelo menos, a reparação de alguns ventiladores que emitem ruído anormal.

A avaliação do RASTI conclui que estão cumpridos os requisitos impostos, tendo sido obtido valores que superam os valores ideais mínimos de projecto. Estes resultados reflectem o bom trabalho que foi feito no espaço e no dimensionamento e instalação do sistema de som, permitindo haver boa percepção da palavra em toda a audiência.

Relativamente ao parâmetro TR, os valores obtidos nos pontos ensaiados evidenciam que estão cumpridos os “valores limites aceitáveis” em todos os pontos. Contudo, para os pontos 4 a 8 (56% dos pontos estudados) o exigente “valor ideal” de projecto é excedido, e portanto desrespeitado. Quanto ao TR(250 Hz) cumpriu, tanto os valores ideais como os de limite aceitável. Da análise do TR conclui-se que os materiais e sistemas usados foram suficientes para contrariar as iniciais características arquitectónicas muito desfavoráveis a um bom desempenho acústico deste espaço.

No geral pode-se concluir que relativamente aos exigentes valores para os parâmetros acústicos impostos pelo dono-de-obra, o NC foi o único, dos analisados, a não ser cumprido. No entanto, uma simples reparação dos ventiladores do espaço poderá ser o suficiente para baixar os valores de NC até aos limites exigidos.

Quadro 6 – Resumo dos valores medidos e comparações com exigências

Parâmetros	Valores Obtidos	Exigências para projecto		OK/ko	
		Ideais	Aceitáveis	Ideais	Aceitáveis
NC (dB)	30 a 35	≤ 25	≤ 30	ko	ko
RASTI c/ sistema de som	0,62 a 0,73	$\geq 0,50$	$\geq 0,45$	OK	OK
TR (500-1k Hz) (s)	1,7 a 2,5	$\leq 2,1$	$\leq 2,6$	Ko	OK
TR (250 Hz) (s)	1,7 a 2,4	$\leq 2,8$	$\leq 3,4$	OK	OK

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] António P. O. Carvalho e Diamantino Freitas, *The new megachurch for the Sanctuary of Fátima*, 10th ICSV Int. Cong. on Sound and Vibration, Estocolmo, Suécia. 2003.
- [2] www.santuario-fatima.pt/portal/index.php?id=1126, acedido em Abril de 2009.
- [3] *Prémio Secil 2007 - Engenharia Civil*, Ordem dos Engenheiros e Secil, Lisboa, 2008.
- [4] Peter Mapp, *Practical Limitations of Objective Speech Intelligibility Measurements of Sound Reinforcement Systems*, 102nd Conv. Audio Engineering Soc., Munique, Alemanha, 1997.
- [5] Margarida Lencastre, *A Inteligibilidade da Palavra em Igrejas Católicas, através de análises de carácter Objectivo e Subjectivo*. Dissertação M.Sc., FEUP, 1998.