

## A ACÚSTICA DAS CAPELAS SUBTERRÂNEAS DA NOVA IGREJA DA SANTÍSSIMA TRINDADE, FÁTIMA

PACS: 43.55.Fw

António P. O. Carvalho; Bruno F. O. Nascimento

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; nascenza@gmail.com

### ABSTRACT

This paper presents the interior acoustic characterization of the underground chapels of the new church of the *Santíssima Trindade* (Holy Trinity) in Fatima, Portugal. The results of the *in situ* measurements are presented regarding Reverberation Time, *RASTI* (with and without the use of electroacoustic reinforcement system), sound level of the HVAC equipment and airborne sound insulation indexes between chapels. The results are compared with Portuguese Catholic churches of similar volume and the subjective opinion of users of these chapels is analyzed.

Keywords: Churches, Reverberation Time, *RASTI*, Background Noise, Fatima.

### RESUMO

Apresenta-se neste trabalho a caracterização acústica interior das capelas subterrâneas da nova igreja da Santíssima Trindade em Fátima, Portugal. Apresentam-se os resultados dos ensaios *in situ* relativos ao tempo de reverberação, *RASTI* (com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico), nível sonoro de equipamentos AVAC e isolamento sonoro entre capelas. Os resultados são comparados com igrejas de idêntica volumetria e analisa-se a opinião subjectiva de utilizadores dessas capelas.

Palavras-chave: Igrejas, Tempo de Reverberação, *RASTI*, Ruído de Fundo, Fátima.

### 1. INTRODUÇÃO

As *Capelas da Reconciliação* são parte integrante do novo espaço de acolhimento dos peregrinos de Fátima designado por Igreja da Santíssima Trindade, inaugurado em 12 de Outubro de 2007. Este projecto, único em Portugal (e raro no Mundo), para além da sua grandiosidade (a maior igreja portuguesa em número de lugares sentados) foi alvo de um significativo estudo acústico na fase de ante-projecto e projecto, o que não é habitual neste tipo de obras em Portugal [1].

Na continuidade dos estudos já efectuados ao interior da Igreja da Santíssima Trindade [2, 8], o objectivo deste trabalho é a caracterização acústica interior das três capelas da Reconciliação através de parâmetros objectivos. Realizaram-se medições *in situ* aos parâmetros acústicos objectivos: Tempo de Reverberação, RASTI, Nível sonoro do Ruído de Fundo (e equipamentos AVAC) e Isolamento Sonoro a Ruídos Aéreos. Através da análise dos resultados obtidos faz-se a caracterização da sala e a comparação com os valores de outras igrejas católicas portuguesas de idêntico volume. Foi ainda analisada a opinião subjectiva dos utilizadores das novas capelas.

## 2. CAPELAS DA RECONCILIAÇÃO

### 2.1. Caracterização das Capelas

#### 2.1.1. Introdução

As três *Capelas da Reconciliação* situam-se numa zona subterrânea da nova igreja da Santíssima Trindade (fig. 1): Capela do Santíssimo Sacramento (capela 1), Capela da Ressurreição de Jesus (capela 2) e Capela da Morte de Jesus (capela 3+4) (fig. 2).



Figuras 1 e 2 – Nova igreja da Santíssima Trindade (à esq.) e a sua maqueta com a localização das três capelas da Reconciliação (à dir.) [3, 4].

#### 2.1.2. Capelas do Santíssimo Sacramento (C1) e da Ressurreição de Jesus (C2)

As características arquitectónicas das capelas 1 e 2 são semelhantes tanto ao nível geométrico como ao nível visual (fig. 3) e os valores dos parâmetros arquitectónicos mais relevantes são:

- Altura – 4,8 m
- Largura – 17 m
- Comprimento – 19 m
- Área – 323 m<sup>2</sup>
- Volume – 1550 m<sup>3</sup>
- Nº lugares sentados – 216

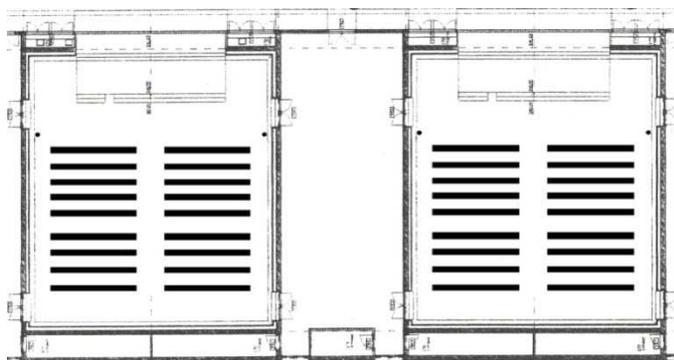


Figura 3 – Planta da capela 1 (à dir.) e da capela 2 (à esq.).

As soluções mais relevantes adoptadas no tratamento acústico do interior destas duas capelas (fig. 4 e 5) são as filas de bancos em madeira e almofadadas (fig. 6) que contribuem essencialmente para a absorção sonora nas altas frequências e painéis de revestimento de parede aplicados com uma inclinação na vertical aproximadamente de 5 graus (fig. 7) fazendo variar a espessura da caixa-de-ar evitando assim o paralelismo entre paredes com vista a minimizar os efeitos desfavoráveis das reflexões múltiplas.

O pavimento de ambas as capelas é em mármore e existe um lambrim de 1,5 m de altura em toda a extensão das paredes interiores, em contraplacado de madeira. No restante revestimento das paredes assim como no revestimento do tecto é onde existe a grande diferença entre estas duas capelas. Na capela 1 este revestimento é efectuado com painéis de *Akustaplan* [5], com elevados valores de coeficiente de absorção sonora, enquanto na capela 2 tal é efectuado com painéis de gesso cartonado lisos bastante reflectores. Esta diferença, que se reflecte no comportamento acústico bem distinto entre as duas capelas, foi proposta pelo dono de obra de forma a obter na capela 1 um ambiente que potenciará a transmissão da palavra e na capela 2 um ambiente mais favorável à música.

Ambas as capelas estão equipadas com um sistema de reforço electroacústico de dois altifalantes *Bose* (amplificação *Crown*, processamento *BSS* e microfones *AKG*) posicionados lateralmente (fig. 8), que são responsáveis pela difusão da palavra captada no altar.



Figuras 4 e 5 – Interior da capela 1 (à esquerda) e da capela 2 (à direita).



Figuras 6, 7 e 8 – Pormenor dos bancos almofadados (à esquerda), da inclinação da parede para minimizar as reflexões múltiplas (ao centro) e altifalante da marca *Bose* (à direita).

### 2.1.3. Capela da Morte de Jesus (C3+4)

As características arquitectónicas da capela 3+4 (fig. 9) são um pouco diferentes das capelas apresentadas anteriormente e são:

- Altura – 4,8 m
- Largura – 19 m
- Comprimento – 35 m
- Área – 665 m<sup>2</sup>
- Volume – 3190 m<sup>3</sup>
- Nº de lugares sentados – 588

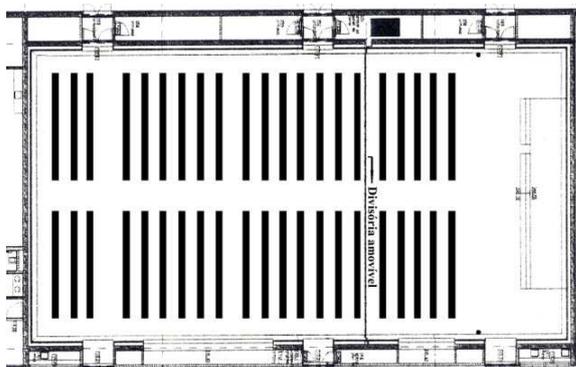


Figura 9 – Planta da capela 3+4.

Os revestimentos interiores da capela 3+4 (fig. 10) são semelhantes aos da capela 1. Os bancos são em madeira e almofadados, actuando principalmente nas altas frequências e as paredes têm uma inclinação com a vertical de cerca de 5 graus para evitar igualmente o paralelismo com vista a minimizar os efeitos desfavoráveis das reflexões múltiplas. O pavimento é também em mármore e o lambrim com 1,5 m de altura é de contraplacado de madeira. No restante revestimento de parede e tecto utiliza-se o mesmo *Akustaplan* [5] com coeficientes de absorção elevados. O sistema de reforço electroacústico é ligeiramente diferente, devido às diferentes dimensões da capela 3+4 quando comparado com a capela 1, sendo constituído por quatro altifalantes da *BOSE*, dois de cada um dos lados da capela (fig. 11) e com diferentes orientações estando um altifalante de cada lado orientado para abranger uma zona mais perto do altar e os outros dois orientados para abranger uma zona mais afastada do altar. O sistema de reforço electroacústico é ainda constituído por amplificação *Crown*, processamento *BSS* e microfones *AKG*.

Existe ainda nesta capela uma divisória amovível (fig. 12) que com o seu fecho possibilita a criação de dois locais independentes, aqui chamados de capela 3 (a maior à esq.) e capela 4 (a mais pequena à dir.) (fig. 9). A ideia original seria a divisão da capela 3+4 em duas mais pequenas para possibilitar a celebração de duas cerimónias distintas em simultâneo.



Figuras 10, 11 e 12 – Interior capela 3+4 (à esquerda), altifalante da marca “Bose” (ao centro) e divisória amovível (à direita).

## 2.2. Objectivos para os Parâmetros Acústicos

O principal objectivo da acústica numa igreja é conseguir, independentemente da localização do ouvinte, a boa percepção da palavra, obtendo ainda assim um ambiente musical tão bom quanto a inteligibilidade da palavra o permita. Os valores para o ruído de fundo devem revelar a grande preocupação com o silêncio pois a igreja é um espaço de oração e recolhimento pessoal. Para o parâmetro RASTI este deve ter valores elevados para haver boa percepção da palavra por todo o espaço dado que a palavra é um veículo fundamental nas celebrações eucarísticas. Para isso os valores aconselháveis para esses parâmetros são [1]:

- $L_{Aeq} \leq 30$  dB
- $NC \leq 25$  dB
- $RASTI \geq 0,50$
- $TR_{médio} (500, 1k \text{ Hz}) \approx 1$  s p/ palavra
- $TR_{médio} (500, 1k \text{ Hz}) \approx 2$  a  $4$  s p/ música/cânticos

Quanto ao Tempo de Reverberação (TR) adoptaram-se valores ideais distintos para as capelas 1 e 2 para deliberadamente criar dois espaços, embora geométrica e visualmente idênticos, mas com um comportamento acústico bem distinto.

## 3. MEDIÇÕES

### 3.1. Introdução

Os ensaios *in situ* foram realizados em Março de 2010 com as capelas desocupadas exceptuando a capela 1 onde estiveram sempre presentes duas ou três pessoas em silenciosa

oração. A capela 3+4 para além de ter sido ensaiada na sua modalidade de 588 lugares sentados, também se ensaiou as capelas 3 e 4 separadas que surgem do uso da divisória amovível existente entre elas. Os parâmetros ensaiados foram os seguintes:

- Tempo de reverberação (TR) por bandas de oitava, em todas as capelas;
- TR por banda de terço de oitava, nas capelas 1 e 3;
- RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) nas capelas 1, 2 e 3+4 com e sem recurso ao sistema de reforço electroacústico existente;
- L (nível de pressão sonora do ruído de fundo) com e sem o funcionamento dos equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) nas capelas 1, 2 e 3+4;
- D (isolamento sonoro bruto) entre a capela 1 e a capela 2, entre a capela 2 e o átrio de acesso e da divisória amovível da capela 3+4 (entre capelas 3 e 4 separadas).

Equipamento utilizado: sonómetro 2260, fonte sonora 4224 e Analisador RASTI 3361, da B&K.

### 3.2. Resultados e Discussão

#### 3.2.1. Tempo de reverberação

Para o TR foram escolhidos três pontos em cada capela que serviram através de uma média aritmética para caracterizar a reverberação de cada uma das capelas. Os resultados obtidos estão visíveis na fig. 13 e resumidos no Quadro 1.

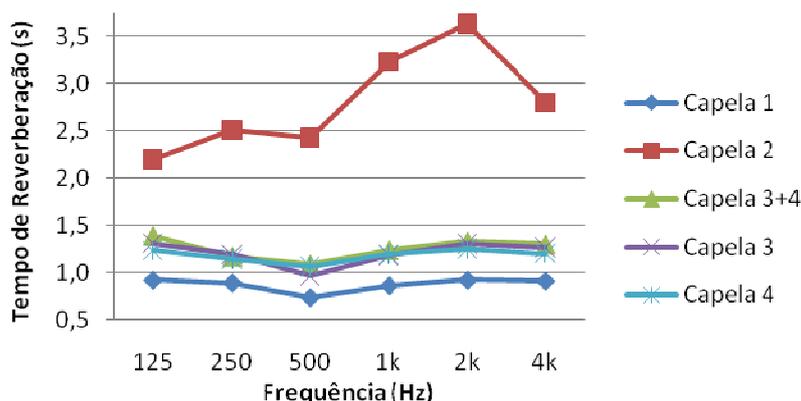


Figura 13 – Comparação dos valores de TR médio das diferentes capelas.

Quadro 1 – Valores médios medidos e limites aconselháveis para o TR

Capela	TR(500, 1k Hz) (s)		
	Média Medida	Ideal para a <i>palavra</i>	Ideal para a <i>música</i>
1	0,8	≈ 1,0	2 a 4
2	2,8		
3+4	1,2		
3	1,1		
4	1,1		

#### 3.2.2. RASTI

Os resultados médios de RASTI obtidos através do ensaio a seis pontos em cada capela estão presentes no Quadro 2 assim como a respectiva presumida inteligibilidade da palavra e os limites ideais. Tanto a capela 1 como a capela 3+4 cumprem os limites obtendo uma *Boa* inteligibilidade da palavra. A capela 2 fica abaixo do adequado obtendo apenas um *Medíocre* na conversão para a escala subjectiva de inteligibilidade da palavra.

Quadro 2 – Valores de RASTI médios, respectiva inteligibilidade da palavra e limite ideal.

Situação		RASTI médio	Inteligibilidade da palavra	Valores ideais
Capela 1	sem reforço electroacústico	0,68	<i>Boa</i>	≥ 0,50
	com reforço electroacústico	0,69		
Capela 2	sem reforço electroacústico	0,42	<i>Medíocre</i>	
	com reforço electroacústico	0,42		
Capela 3+4	sem reforço electroacústico	0,63	<i>Boa</i>	
	com reforço electroacústico	0,67		

### 3.2.3. Ruído de fundo

Os resultados obtidos para os níveis de pressão sonora do ruído de fundo estão presentes no Quadro 3. Daí conclui-se que o Ruído de Fundo proveniente dos dispositivos de AVAC fez aumentar o nível sonoro contínuo equivalente ( $L_{Aeq}$ ) entre 1 e 14 dB consoante a capela. As capelas 1 e 3+4 cumprem os valores ideais para o  $L_{Aeq}$  e para o NC. A capela 2 não satisfaz esses limites.

Quadro 3 – Valores dos níveis sonoros contínuos equivalentes ( $L_{Aeq}$ ) do ruído de fundo com e sem AVAC em funcionamento, valores de NC correspondentes a cada capela e limites propostos.

Capela	$L_{Aeq}$ (dB)		$\Delta L_{Aeq}$ (dB)	NC (dB)	Valores ideais	
	com AVAC	sem AVAC			$L_{Aeq}$ (dB)	NC (dB)
1	24	24	1	18	≤ 30	≤ 25
2	37	23	14	29		
3+4	27	23	4	20		

### 3.2.4. Isolamento sonoro

Os resultados obtidos para o isolamento sonoro a ruídos aéreos entre as Capelas 2 e 1 (C2–C1), entre a Capela 2 e o átrio de acesso (C2–A) e da divisória amovível da Capela 3+4 (C4–C3) estão resumidos no Quadro 4 e Fig. 14. O isolamento entre as Capelas 2 e 1 é bastante elevado (59 dB) conferindo uma grande privacidade se existirem celebrações em simultâneo nestas duas capelas. Isto deve-se à existência de um átrio com 8,6 m de largura a separá-las. Como seria de esperar o isolamento entre a Capela 2 e o átrio de acesso é menor dada a existência de só um elemento separador mas com um espectro bastante semelhante. A divisória amovível é a que proporciona o menor isolamento sonoro que embora não permitindo que uma conversa seja nitidamente compreendida, não permite que celebrações simultâneas nas capelas 3 e 4 sejam acusticamente possíveis com qualidade.

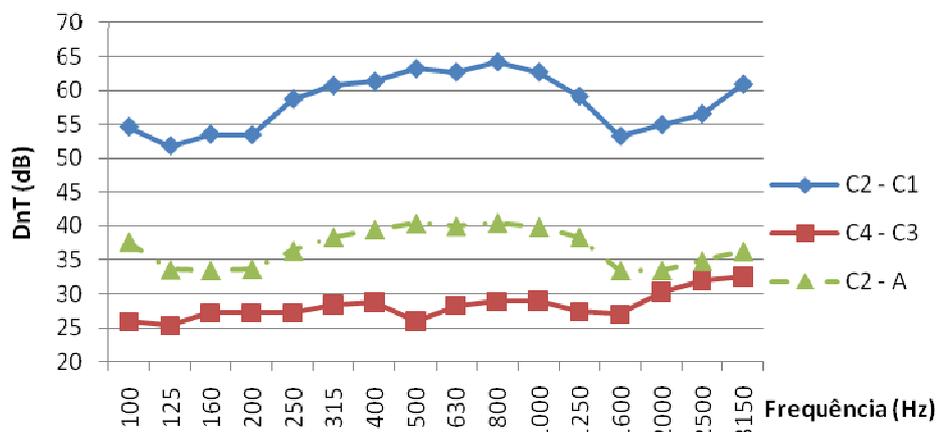


Figura 14 – Valores do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea padronizado ( $DnT$ ) entre as Capelas 2 e 1 (C2–C1), entre a Capela 2 e o átrio (C2–A) e da divisória amovível da Capela 3+4 (C4–C3).

Quadro 4 – Valor do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea padronizado ( $DnT,w$ ) entre as Capelas 2 e 1 (C2–C1), entre a Capela 2 e o átrio (C2–A) e da divisória amovível da Capela 3+4 (C4–C3).

Divisória	Capela 2 – Capela 1	Capela 2 - Átrio	Capela 4 – Capela 3
$DnT,w$ (dB)	59	37	29

### 3.2.5. Comparação das Capelas 1 e 2 com igrejas de volumetria semelhante

Efectuou-se a comparação dos resultados obtidos nas Capelas 1 e 2 com igrejas tradicionais portuguesas de similar volume [4, 5] para o TR (fig. 15) e RASTI (fig. 16). Verifica-se que a Capela 1 que obteve um tratamento acústico adequado para que os seus valores de TR e RASTI fossem ideais para a transmissão da palavra, tem resultados visivelmente melhores do que as igrejas portuguesas com volume semelhante. A Capela 2, que propositadamente teve um tratamento acústico para que tivesse um ambiente mais reverberante, tem valores de TR e RASTI em linha com os encontrados nas igrejas tradicionais portuguesas.

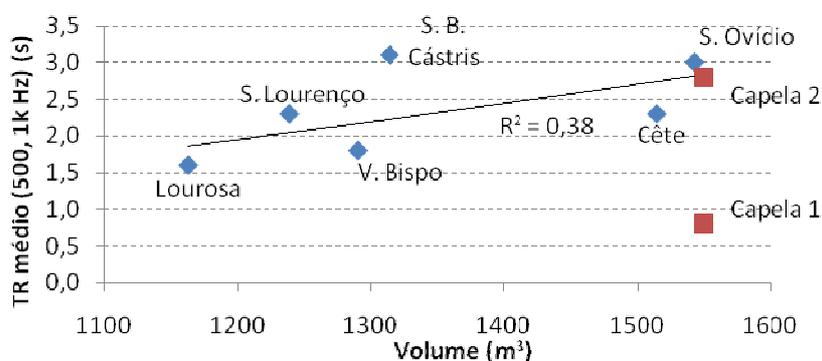


Figura 15 – Relação entre o volume e o TR médio (500, 1k Hz) das Capelas 1 e 2 e igrejas portuguesas de idêntica volumetria.

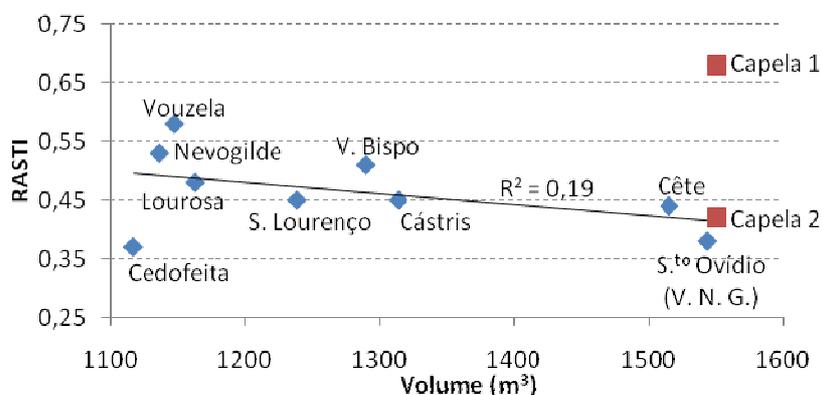


Figura 16 – Relação entre o volume e os valores médios de RASTI das Capelas 1 e 2 e igrejas portuguesas de idêntica volumetria.

Os utilizadores quando inquiridos sobre qual destas duas capelas preferem para a transmissão da *palavra* escolhem unanimemente a Capela 2, com um ambiente bastante reverberante que é acusticamente desfavorável para a transmissão da *palavra*. Esta reacção por parte dos utilizadores de preferirem a capela que é objectivamente “pior”, pode-se dever ao hábito, por parte destes, de já terem assistido ou realizado inúmeras celebrações em igrejas tradicionais portuguesas, que são, geralmente, muito mais reverberantes e por isso mais semelhantes à Capela 2 do que à Capela 1, mais apropriada para a transmissão da *palavra*. A expectativa, por parte dos utilizadores, supera a qualidade objectiva do local.

#### 4. CONCLUSÕES

No Quadro 5 apresenta-se o resumo dos ensaios efectuados e dos valores ideais.

Relativamente ao parâmetro TR, conclui-se que o diferente tratamento acústico aplicado nas superfícies interiores das capelas tem bastante influência nos valores medidos. As capelas 1 e 3+4, que foram parcialmente revestidas pelo material *Akustaplan*, têm valores de TR bastante inferiores (0,8 e 1,2 s respectivamente) ao valor registado na capela 2 (2,8 s), onde não se aplicou este material muito absorvente. Assim as capelas 1 e 3+4 tornam-se mais apropriadas para a transmissão da *palavra* enquanto a capela 2 é mais adequada para a *música*.

Da avaliação do RASTI verifica-se que as capelas que obtiveram um melhor resultado neste parâmetro foram novamente as capelas 1 e 3+4. A capela 2, por sua vez, obteve um valor médio de RASTI bastante inferior às outras capelas devido principalmente ao seu tempo de reverberação bastante mais elevado. De reparar que um sistema de som por melhor que seja, se a capela for executada para não potenciar o seu desempenho na transmissão da palavra, não conseguirá ter resultados excelentes.

Quanto ao Ruído de Fundo conclui-se que tanto os valores médios de  $L_{Aeq}$  como de *NC* das três capelas são bastante reduzidos aumentando com o funcionamento do AVAC não deixando de proporcionar um ambiente bastante calmo adequado à finalidade a que as capelas são destinadas que é a prática de oração e transmissão da palavra.

O isolamento sonoro entre a capela 2 e 1 e entre a capela 2 e o átrio é suficiente para que as celebrações nestas capelas decorram normalmente em simultâneo sem haver perturbações. Já o isolamento sonoro proporcionado pela divisória amovível (C4-C3) não permite que o mesmo aconteça pois apesar de não permitir que uma conversa seja nitidamente compreendida, o nível de privacidade existente é reduzido.

Quadro 5 – Resumo dos valores médios medidos e dos valores ideais (C – Capela; A – Átrio)

Parâmetro	Capela 1	Capela 2	Capela 3+4	Valores ideais
TR (500, 1k Hz) (s)	0,8	2,8	1,2	$\approx 1$ s <i>palavra</i> / $\approx 3$ s <i>música</i>
RASTI com sistema de som	0,69	0,42	0,67	$\geq 0,50$
Inteligibilidade da palavra	<i>Boa</i>	<i>Medíocre</i>	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>
$L_{Aeq}$ (dB) com AVAC	24	37	27	$\leq 30$
NC (dB)	18	29	20	$\leq 25$
Separação	C2-C1	C2-A	C4-C3	-
DnT,w (dB)	59	37	29	$\geq 37$

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Carvalho e D. Freitas, *The new megachurch for the Sanctuary of Fátima*, 10th ICSV Int. Cong. on Sound and Vibration, Estocolmo, Suécia, 2003.
- [2] P. Silva, *Caracterização Acústica Interior da Nova Igreja da Santíssima Trindade em Fátima*. M.Sc. FEUP, 2009.
- [3] [www.dacoustie.com/images/stories/documents/ftakustaplan.pdf](http://www.dacoustie.com/images/stories/documents/ftakustaplan.pdf), acedido em Julho de 2010.
- [4] [www.pbase.com/diasdosreis/fatima\\_nova\\_igreja](http://www.pbase.com/diasdosreis/fatima_nova_igreja), acedido em Julho de 2010.
- [5] [www.santuario-fatima.pt](http://www.santuario-fatima.pt), acedido em Julho de 2010.
- [6] T. Silva, *Guião da Acústica de Igrejas em Portugal*. Dissertação M.Sc. FEUP, 2008.
- [7] C. Martins, *Caracterização Acústica das duas Igrejas de Santo Ovídeo, Mafamude*. Dissertação M.Sc. FEUP, 2010.
- [8] A. Carvalho e P. Silva, "Sound, noise and speech at the 9000-seat Holy Trinity Church in Fatima, Portugal", *Archives of Acoustics*, 35(2) 145/156, 2010.