



## **CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DA CATEDRAL METROPOLITANA DE CAMPINAS, BRAZIL**

**Magda Carvalho (1); Roberta Smidrlle (2); Stelamaris Bertoli (3); Daniel Aelenei (4)**

(1) (4) Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2829-516 Caparica, Portugal  
([magdaaccarvalho@gmail.com](mailto:magdaaccarvalho@gmail.com), [aelenei@fct.unl.pt](mailto:aelenei@fct.unl.pt))

(2) (3) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Caixa Postal 6021, Campinas - SP, 13083-852 ([ro.smiderle@gmail.com](mailto:ro.smiderle@gmail.com), [rolla@fec.unicamp.br](mailto:rolla@fec.unicamp.br))

### **RESUMO**

O presente trabalho apresenta os resultados e a análise da caracterização acústica da Catedral Metropolitana de Campinas, situada na cidade de Campinas, estado de São Paulo, Brasil. Trata-se de um estudo desenvolvido em parceria, por investigadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, no âmbito do programa de estágios internacional IAESTE.

A Catedral é um edifício religioso muito importante da cidade, tanto pelo seu valor histórico como arquitetónico. É uma das seis igrejas estudadas no âmbito do projeto “A acústica das igrejas católicas de Campinas: desde a fundação da cidade, aos dias atuais” financiado pela FAPESP, desenvolvido por R. Smiderle e coordenado pela Prof<sup>a</sup> Dra. S. Bertoli. A caracterização acústica do espaço resultou da análise de tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), clareza (C80) e definição (D50), parâmetros acústicos objetivos, que foram caracterizados em função de frequência, para várias combinações fonte/recetor, representativas das condições reais de uso da igreja.

Relativamente ao TR (3,5 s) e EDT (3,6 s), na perspetiva da perceção da palavra considera-se que a igreja apresenta um comportamento muito insatisfatório, enquanto que para a música o seu comportamento é razoável. Da avaliação STI (0,43) e D50 (0,23), pode concluir-se que a Catedral tem uma inteligibilidade pobre, aproximando-se, no entanto, do patamar da inteligibilidade razoável/satisfatória. Quanto ao parâmetro C80 (-4,9 dB), este encontra-se próximo do intervalo como sendo o aceitável para boa propagação sonora da música. O ruído médio de fundo apresenta um bom resultado (34,3 dB), o que favorece a qualidade acústica do ambiente interior. Analisando o panorama de resultados, pode classificar-se a Catedral Metropolitana de Campinas como tendo um comportamento acústico razoável/suficiente.

**Palavras-chave: acústica de igrejas, qualidade acústica, medições acústicas.**

### **ABSTRACT**

This communication presents the results of an empirical analysis conducted to characterize the acoustic behavior of the Metropolitan Cathedral of Campinas, located in Campinas, São Paulo, Brazil. It is a study conducted jointly by researchers from the Faculty of Science and Technology of Universidade Nova de Lisboa and the School of Civil Engineering, Architecture and Urbanism of the University of Campinas, promoted by IAESTE, an international internship program. The Metropolitan Cathedral of Campinas is one of the prominent landmarks of the city, both for its historical and architectural value. The acoustic behavior of the space has been made on the basis of the analysis the reverberation time (RT), early decay time (EDT), clarity (C80) and definition (D50), parameters that have been described as a function of frequency for various source/receiver combinations, representative of actual conditions of use of the church. Regarding the RT (3.5 s) and EDT (3.6 s), in the perspective of the perception of the word the church has behaved very poorly, while for the music it behavior is reasonable. Assessment of STI (0.43) and D50 (0.23), it can be concluded that the Cathedral has a poor intelligibility, approaching, however, the level of intelligibility reasonable/satisfactory. As to the parameter C80 (-4.9 dB), this is close to the range considered as acceptable to good music sound propagation. The average background noise presents a good result (34.3 dB), which favors the acoustic quality of the indoor environment. Analyzing all results, Metropolitan Cathedral of Campinas can be classified as having an acoustic behaviour considered reasonable/satisfactory.

**Keywords: church acoustics, acoustic quality, acoustic measurements**

## 1. INTRODUÇÃO

As igrejas são edifícios de interesse histórico, grande importância social e estilo arquitetônico muito particular. Do ponto de vista acústico, são caracterizadas por requisitos específicos para a qualidade do discurso e da música, em simultâneo. Por serem edificações desenhadas e pensadas para um objetivo muito específico, o seu projeto era influenciado por vários fatores, com destaque para a beleza arquitetônica adaptada às várias funções da igreja, os rituais religiosos e, não menos importante, a tradição.

Até ao século XIX os projetos acústicos dos ambientes destinados à audição da música ou da palavra tinham como base critérios provenientes da comparação com ambientes existentes e reconhecidos como tendo uma boa qualidade acústica. O problema surgia quando se inovava ou se criavam novas formas porque a qualidade acústica só se podia avaliar após a conclusão da obra, o que, em muitos casos, não correspondia à expectativa .

## 2. OBJETIVO

Os principais objetivos deste estudo são a caracterização acústica da Catedral Metropolitana de Campinas, tendo em conta não só a configuração de uso atual mas também aquela que se praticava antes do Concílio do Vaticano II, e a comparação com qualidade acústica de outras igrejas já estudadas com forma geométrica semelhante e volumetria da mesma ordem de grandeza.

## 3. CASO DE ESTUDO: CATEDRAL METROPOLITANA DE CAMPINAS

A Catedral Nossa Senhora da Conceição de Campinas, é um dos monumentos históricos mais importantes da cidade, pois sua história ajuda na configuração da história de desenvolvimento de Campinas. O processo de construção da igreja começou em 1807, tendo durado mais de seis décadas. A técnica de construção é a da taipa de pilão e a fachada, em estilo neoclássico, conta com uma torre ao centro. O interior, em estilo barroco, é caracterizado por um requintado trabalho em talha de madeira de cedro (Leite, 2004).

Inaugurada em 8 de Setembro de 1883, data dedicada à Padroeira de Campinas, a Matriz torna-se a sede da Paróquia de Nossa Senhora da Imaculada Conceição. A 1 de Novembro de 1908, após a criação da Diocese de Campinas, a Matriz recebe o título de Catedral de Campinas (Leite, 2004).

Segundo Leite (2004), a Catedral manteve-se inalterada até 1923, ano em que se deu a grande reforma e foram efetuadas alterações importantes na fachada, no altar-Mor e na cúpula. Quase três décadas se passaram até que, em 1954, o 1º Arcebispo Metropolitano de Campinas tomou a iniciativa de realizar mais uma reforma na Catedral. Desta feita foram restauradas as paredes internas, os pisos de mármore e de madeira, remodelados os telhados e substituídas as janelas. Nos anos que se seguiram foram sendo realizadas pequenas obras de manutenção mas, em 2004, a Matriz já apresentava sinais visíveis de degradação e foi iniciado o processo de restauro que se esperava ter terminado em 2007, data comemorativa dos 200 anos do lançamento da pedra fundamental do edifício. Por diversos motivos tal não aconteceu e está previsto que o mesmo esteja concluído em 2014. As vistas da fachada, do interior, planta e corte da Catedral são apresentadas nas figuras seguintes (Fig.: 1 a Fig.: 4).



Fig.: 1 - Fachada da Catedral



Fig.: 2 – Interior da Catedral

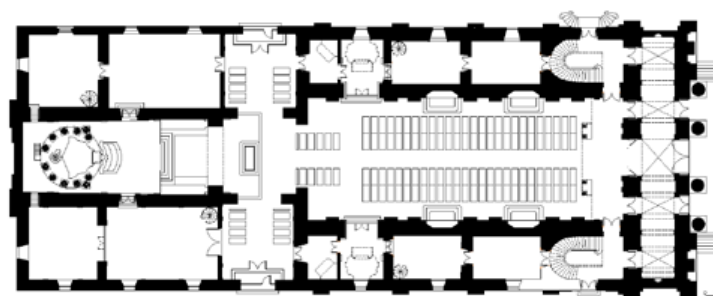


Fig.: 3 - Planta

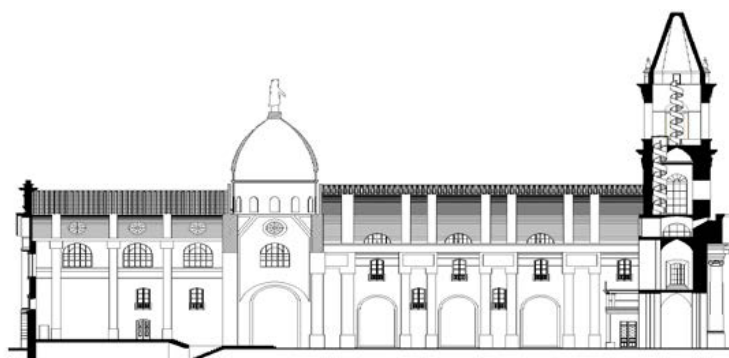


Fig.: 4 - Corte

### 3. MÉTODO

Para a caracterização acústica da Catedral Metropolitana de Campinas, adotaram-se os parâmetros acústicos: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT – Early Decay Time), clareza (C80), definição (D50) e índice de transmissão da fala (STI – Speech Transmission Index). Com exceção do parâmetro STI, todos os parâmetros foram medidos em função de frequência em bandas de 1/1 oitava entre 125Hz e 8000Hz. Para as medidas utilizou-se o programa de avaliação acústica de salas DIRAC da Bruel & Kjaer e os equipamentos: fonte sonora omnidirecional BK 4296, amplificador, medidor de nível de pressão sonora BK 2238 (Mediator), todos os equipamentos são da marca Bruel & Kjaer.

Quadro 1 – Dimensões do caso de estudo

Característica	Dimensão
Volume total	17 156,0 m <sup>3</sup>
Volume da nave	7 761,0 m <sup>3</sup>
Área total	1 216,0 m <sup>2</sup>
Área da nave	408,0 m <sup>2</sup>
Comprimento máximo	67,9 m
Comprimento da nave	36,0 m
Largura máxima	27,0 m
Largura da nave	13,5 m
Altura máxima	34,0 m
Altura da nave	19,0 m

Antes de se dar início às medições na igreja selecionada, foi feito o ajuste do sistema de medição e verificação das características arquitetônicas da Catedral, resumidas no Quadro 1.

A escolha da disposição dos pontos da fonte sonora, para a avaliação do comportamento acústico, foi feita atendendo às principais atividades desenvolvidas na Catedral, música e fala. Foram posicionados receptores ao logo da nave central e também nas naves laterais, bem como no altar principal para analisar a resposta sonora que chega ao padre. Para o posicionamento da fonte sonora foram escolhidos oito pontos distribuídos da seguinte forma: cinco posições no altar, sendo (F01) a representação do altar-Mor, (F02) como o centro do ato litúrgico; púlpito (F03); e coro (F04) e o local utilizado aquando de apresentações musicais (F05). Na região da congregação foram escolhidas duas posições (F06) e (F07) devido ao comprimento da nave; o segundo coro (F08) que é a locação original do coro, mas que apenas é usado em celebrações especiais. Considerando as dimensões da Catedral foram escolhidos 14 posições de receptores. Como a Catedral é simétrica em relação ao eixo longitudinal da nave principal, os receptores situados nos pontos (R05), (R07), (R08), (R10), (R11) e (R13) foram dispostos a fim de atender aos bancos na área da congregação. Para

avaliar o comportamento sonoro devido à simetria, os pontos (R06), (R09), (R12) e (R14) foram dispostos de forma espelhada em relação ao eixo. A análise do comportamento nas naves laterais, foram estimadas pelos receptores posicionados em (R03) e (R04). Tomando o sacerdote como ouvinte, avaliou-se as posições (R01) para a posição próxima ao altar e (R02) para a cadeira do sacerdote. No Quadro 2 e na figura seguinte (Fig.: 5) encontra-se o arranjo final dos dispositivos (fontes e recetores sonoros) usados na campanha de medições.

Quadro 2 – Localização dos equipamentos de medição

Fontes sonoras		Recetores	
F01	Altar-Mor	R01	Na proximidade da fonte de referência
F02	Altar / Fonte de referência	R02	Capela-Mor
F03	Coro e órgão	R03 e R04	Transepto
F04	Púlpito	R05 a R14	Congregação
F05	Sob a cúpula		
F06 e F07	Congregação		
F08	Coro		

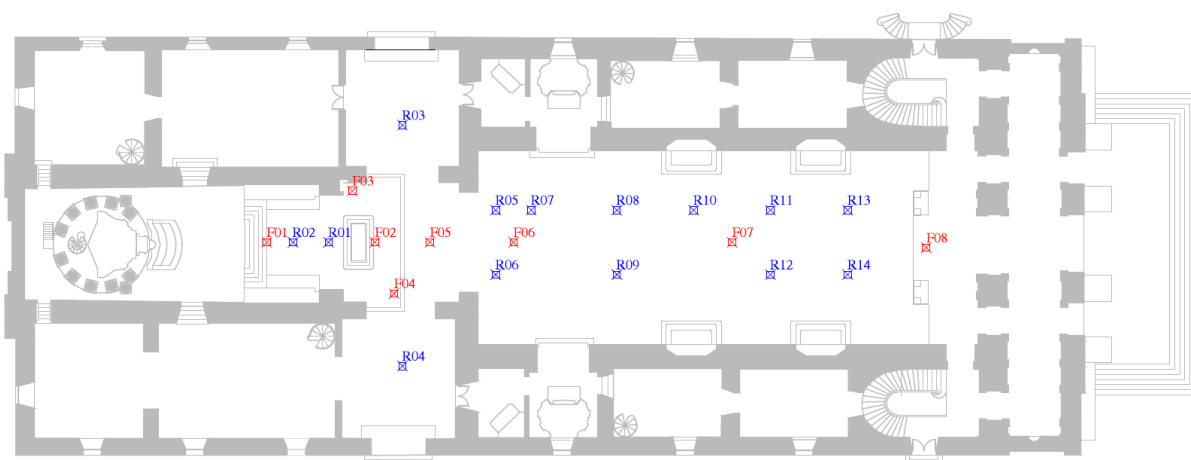


Fig.: 5 – Planta de localização das fontes e recetores

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Tempo de Reverberação, TR

Com os valores do tempo de reverberação (TR) medidos em função de frequência entre 125Hz e 4000Hz calculou-se a média dos resultados, por banda de frequência, considerando os 8 pontos de fonte sonora e os 14 pontos de receptores. Os resultados dos valores médios de TR e o grau de dispersão dos valores, por banda de frequência, são apresentados na Fig.: 6. O valor médio de TR obtido nas médias frequências (500-1k Hz) foi de 3,5s. O grau de dispersão dos valores de TR por banda de frequência é reduzido, existindo certa uniformização dos valores obtidos entre as várias posições.

Os valores de TR obtidos são mais influenciados pelo grande volume e pela existência da cúpula do que pelos materiais que revestem as superfícies interiores. Os valores de TR considerados adequados variam em função do volume e do uso. Considerando a música, como uma das finalidades do uso da Catedral e seu volume (17.156 m<sup>3</sup>), segundo Beranek (1993) o valor de TR recomendado estaria próximo de 3,1s. Verifica-se que o TR medido é 11% maior que valor recomendado pelo autor. No caso da inteligibilidade da fala, o valor recomendado de TR fica em torno de 1s o que indica a deficiência desse ambiente para fala.

Com o tempo de reverberação médio encontrado (3,5s), calculou-se a distância crítica, a qual indica se o receptor se encontra no campo sonoro direto. O valor da distância crítica correspondente a esse tempo de reverberação encontrado foi de 3,8m. Essa distância é superior a qualquer combinação de fonte-receptor e, portanto não houve necessidade de excluir receptores, tendo os restantes parâmetros acústicos sido calculados considerando todas as combinações fonte-receptor.

#### 3.2. Tempo de Decaimento Inicial, EDT

O tempo de decaimento inicial (EDT), fornecido em segundos, considera o decaimento sonoro para os primeiros 10dB (normalizado para 60dB para comparação com TR) e está relacionado mais com a percepção do ouvinte sobre a reverberação do que com as propriedades físicas da sala, por isso, no aspecto subjetivo é

considerado um parâmetro acústico importante.

Cirillo e Martellotta (2006) afirmam que num espaço difuso ideal, onde o decaimento é linear, o EDT e o TR podem ser iguais na prática, porém, a primeira parte do decaimento é fortemente influenciada pelas reflexões iniciais e, conseqüentemente, o EDT é muito mais sensível às posições relativas entre fontes e ouvintes.

Bottazzini (2007) na sua pesquisa sobre as características arquitetônicas e a qualidade acústica das igrejas barrocas mineiras mostra que quando o EDT possui um valor menor que o TR, a sensação de reverberação é diminuída, e a situação contrária, ou seja, quando o EDT é maior que o TR, aumenta a sensação de reverberação. Essas características influenciam no conceito de qualidade acústica do ambiente. A maior presença de superfícies refletoras aumenta o EDT, e por conseqüência, aumenta a sensação de reverberação sentida pelo ouvinte.

O tempo de decaimento inicial foi medido em função de frequência nas posições de fonte e receptores usados nas medidas de TR e da mesma forma foram calculadas as médias. Os resultados dos valores médios de EDT e o grau de dispersão dos valores, por banda de frequência, são apresentados na Fig.: 7. O valor médio de EDT obtido nas médias frequências (500-1k Hz) foi de 3,6s. O grau de dispersão dos valores, por banda de frequência, é relativamente baixo, existindo maior dispersão para a banda de frequência de 500Hz ( $\sigma=0,22s$ ) do que para a de 1kHz ( $\sigma=0,14s$ ). Nota-se que o desvio-padrão diminui com o aumento da frequência. Os valores de EDT para baixas e médias frequências são superiores aos valores de TR para as mesmas, indicando que a sensação de reverberância é maior nessas faixas de frequência.

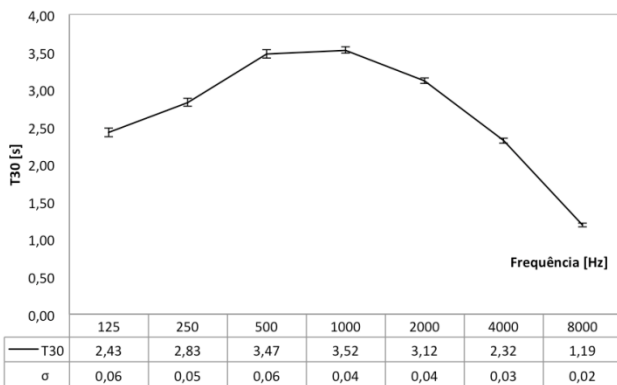


Fig.: 6 - TR médio para cada banda de frequência e respectivo desvio padrão

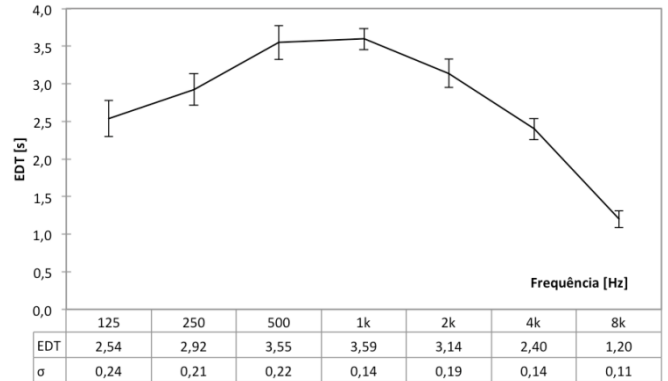


Fig.: 7- EDT médio para cada banda de frequência e respectivo desvio padrão

### 3.3. Clareza, C80

A Clareza é um parâmetro associado à inteligibilidade da música no ambiente e indica o equilíbrio entre a clareza percebida e a reverberação, o qual é particularmente importante para a audição de música. Este critério é de extrema importância para caracterizar acusticamente espaços onde se realizem espetáculos musicais e também se processe a emissão de palavra. Segundo Bottazzini (2007), a Clareza é mais fortemente influenciada pela forma e pelos materiais da envolvente do que pelo volume do espaço. A distância fonte/receptor é também um fator de suma importância na determinação da Clareza. Na Fig.: 7 são apresentados os valores médios e a dispersão dos valores de Clareza em função da frequência. Considerando o comportamento da média espacial de C80 por fonte, a Figura 8 mostra a variação deste comportamento.

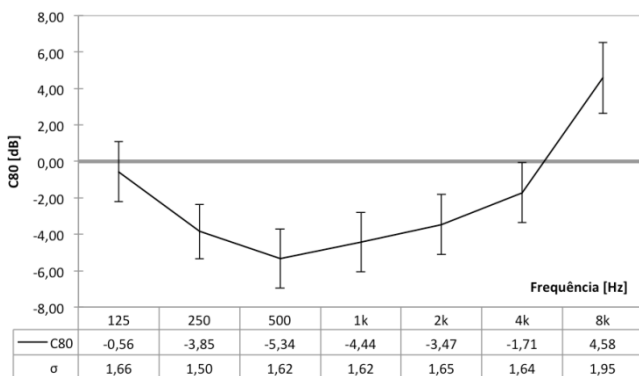


Fig.: 8 - C80 médio e respectivo desvio padrão para cada banda de oitava

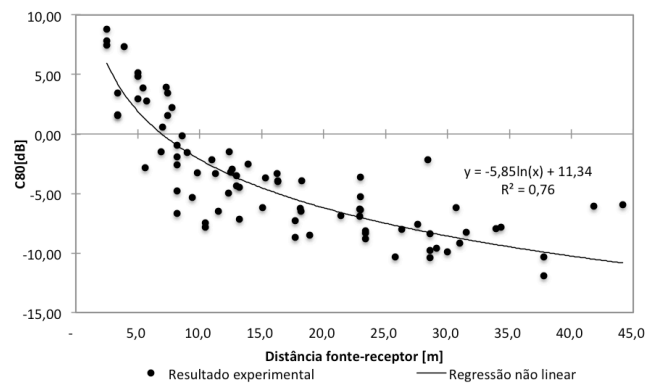


Fig.: 9 - Relação entre C80 e distância fonte/recetor

Ainda não há um estudo preciso que defina o melhor valor que o parâmetro acústico C80 deve satisfazer. Sabe-se porém, que cada estilo musical admite variações neste índice, mediante as articulações das notas musicais pertinentes a cada um. Beranek (2004) define uma faixa de valores ótimos para o parâmetro Clareza entre -2dB e 2dB. Sendo estes valores perfeitamente aceitáveis entre -4 dB e 4 dB. A média dos valores de C80 medidos para a banda de frequências de 1kHz é 4,4 dB ( $\sigma=1,62$  dB), encontrando-se fora do intervalo considerado adequado, mas relativamente próximo do limite inferior do mesmo.

O grau de dispersão dos valores de C80 por banda de frequência (Fig.: 8) é relativamente alto, verificando-se uma certa heterogeneidade nos resultados obtidos para as várias combinações fonte/receptor. Esta variação de resultados pode ser explicada pelo fato de cada combinação fonte/receptor ser caracterizada pela distância entre estes dois pontos, e esse mesmo intervalo variar de forma não linear para as diferentes combinações. Quando se analisa a correlação entre o parâmetro C80 e a distância entre o receptor e a fonte, é notória a diminuição do mesmo com o aumento da distância, sendo que a relação entre eles pode ser adequadamente descrita por uma função logarítmica (Fig.: 9).

Quando se faz uma comparação entre os valores médios de C80 obtidos para as várias posições representativas da emissão de música, observa-se que os pontos representados por F05 (sob a cúpula) e F06 (congregação) são aqueles que apresentam valores mais adequados de C80, embora os resultados obtidos na posição destinada ao órgão e coro (F03) se aproxime do intervalo considerado adequado.

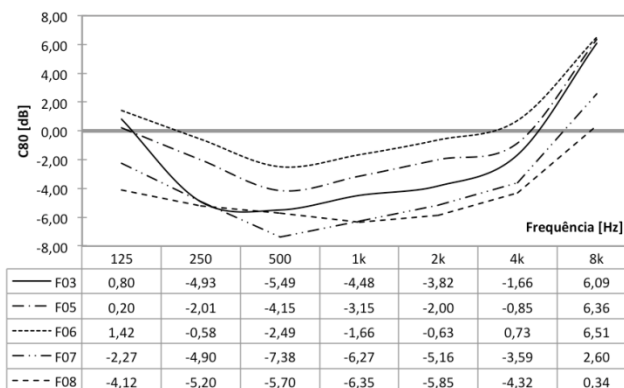


Fig.: 10 - Comparação entre os valores médios de C80 obtidos para as posições de emissão de música

### 3.4. Definição, D50

A definição é um parâmetro baseado na quantificação da energia das reflexões que atinjam o receptor até 50ms, depois da chegada do som direto (Patrício, 2010). Normalmente, estas são consideradas como reflexões benéficas porque dão suporte ao som direto e contribuem para a audibilidade do som sem apresentar prejuízos para a sua qualidade<sup>[7]</sup> (Granado Junior, 2002). A definição é calculada a partir da resposta impulsiva e o seu resultado toma valores entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo é da unidade, melhor é a definição de um discurso em determinado ambiente (Barbo, 2009), o que, sem dúvida, melhora a compreensão das palavras. Os resultados dos valores médios de D50 considerando todas as fontes e receptores obtidos em função da frequência são apresentados na Fig.: 11. A média dos valores medidos de D50 para a banda de frequências de 500Hz é 0,22 ( $\sigma=0,06$ ). O grau de dispersão dos valores por banda de frequência é relativamente alto, verificando-se uma certa heterogeneidade nos resultados obtidos para as várias combinações fonte/receptor. Estes resultados devem-se ao fato de existir uma correlação entre o parâmetro D50 e a distância entre o receptor e a fonte, e é notória a diminuição do mesmo com o aumento da distância, sendo que a relação entre eles pode ser adequadamente descrita por uma função logarítmica (Fig.: 12).

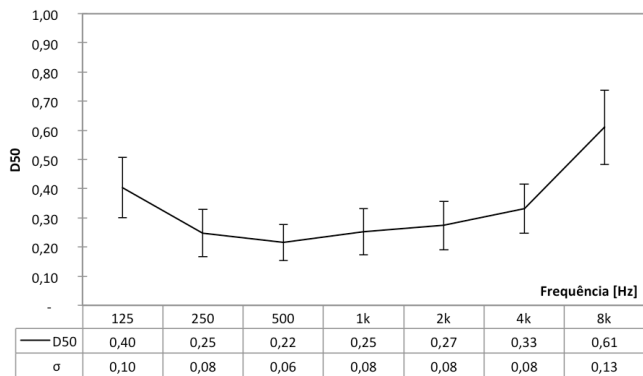


Fig.: 11 - D50 médio e respetivo desvio padrão para cada banda de oitava

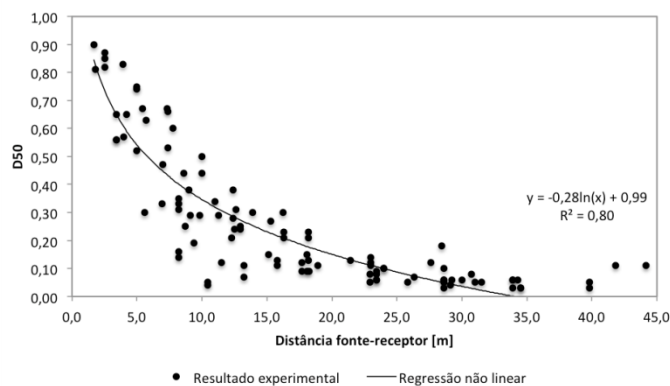


Fig.: 12 - Relação entre o parâmetro  $D_{50}$  e a distância fonte/recetor

Quando se faz uma comparação entre os valores médios de  $D_{50}$  obtidos para as várias posições representativas da emissão de discurso (Fig.: 13), observa-se que os pontos representados por F04 (púlpito) e F06 (congregação) são aqueles que apresentam melhores valores de Definição.

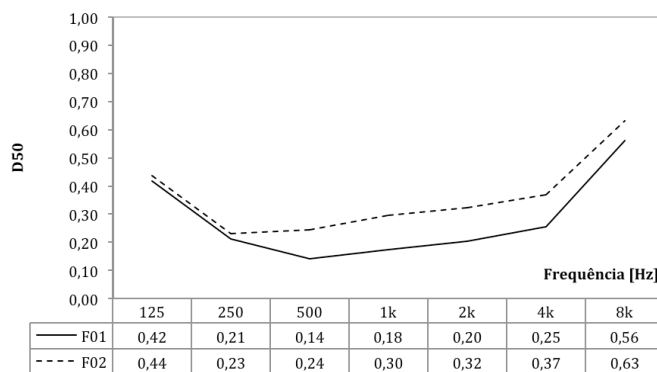
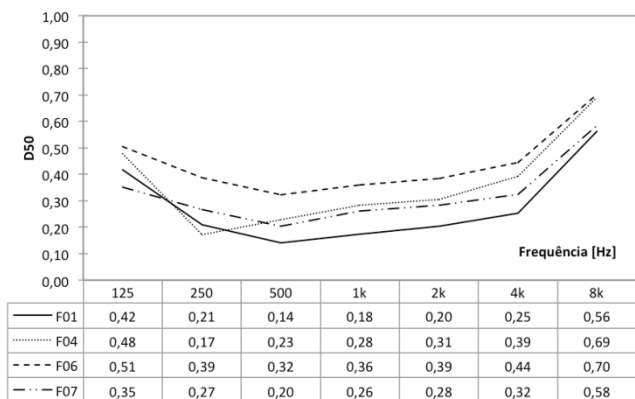


Fig.: 13 - Comparação entre os valores médios de  $D_{50}$  medidos nas posições de emissão de discurso

Fig.: 14 - Comparação entre os valores médios de  $D_{50}$  medidos nas posições do sacerdote (antiga e atual)

Quando o parâmetro  $D_{50}$  é analisado comparando os valores obtidos quando a fonte se encontra na posição do Sacerdote antes (F01) e posteriormente às modificações decorrentes do Concílio do Vaticano II (1964) (F02), verifica-se, para todas as bandas de frequência compreendidas entre 125 e 8k Hz, uma clara melhoria dos valores de *definição*, e portanto um incremento da qualidade sonora sentida pelos ouvintes (Fig.: 14).

### 3.5. Índice de Inteligibilidade, STI

O índice de transmissão da fala (STI) é o critério utilizado para caracterizar a percepção da palavra, sendo que a mesma, para ser inteligível, deve ser entendida com o mínimo de deformação possível.

O termo STI foi mencionado pela primeira vez por Houtgast and Steeneken (1971) mas só foi aceite pela Acoustical Society of América em 1980, com a publicação do artigo *A physical method for measuring speech-transmission quality*, dos mesmos autores. O STI é um parâmetro adimensional que toma valores ente 0 e 1, e quanto mais próximo o seu valor é da unidade, melhor é a inteligibilidade da palavra falada.

No Quadro 3 encontram-se os resultados de STI obtidos para cada combinação fonte/recetor, classificados segundo uma escala de cor, tanto mais escura quanto melhor é o resultado.

Da avaliação do índice de transmissão da fala, resulta o valor médio de 0,43, podendo então classificar-se, segundo a escala subjetiva de inteligibilidade normalizada da palavra, como inteligibilidade pobre, aproximando-se, no entanto, do intervalo considerado como representativo da inteligibilidade razoável/suficiente.

O índice de inteligibilidade é inversamente proporcional ao aumento da distância existente entre a fonte e o recetor, sendo que esta relação é adequadamente descrita por uma função logarítmica, tal como se pode observar no gráfico da Fig.: 15, o grau de dispersão dos valores de STI em relação à curva logarítmica é baixo, verificando-se um coeficiente de correlação de 0,83, o que significa que a função logarítmica é

representativa das condições existentes na igreja e que é aceitável a estimação do índice de transmissão do discurso para qualquer ponto da mesma.

Quadro 3- STI para todas as combinações fonte/recetor

STI	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08
R01	0,56	0,87	0,74	0,59	0,50	0,43	0,36	0,37
R02	0,75	0,61	0,69	0,59	0,41	0,36	0,29	0,35
R03	0,36	0,44	0,44	0,40	0,50	0,39	0,26	0,30
R04	0,40	0,48	0,46	0,53	0,51	0,39	0,26	0,29
R05	0,37	0,50	0,44	0,54	0,67	0,76	0,40	0,38
R06	0,35	0,49	0,44	0,53	0,66	0,82	0,38	0,37
R07	0,37	0,46	0,41	0,52	0,56	0,76	0,43	0,39
R08	0,34	0,40	0,37	0,46	0,45	0,54	0,43	0,39
R09	0,29	0,40	0,36	0,40	0,44	0,60	0,46	0,36
R10	0,30	0,33	0,32	0,39	0,39	0,46	0,74	0,40
R11	0,30	0,29	0,30	0,34	0,36	0,35	0,53	0,39
R12	0,27	0,32	0,30	0,32	0,36	0,38	0,51	0,38
R13	0,30	0,31	0,33	0,34	0,34	0,36	0,38	0,42
R14	0,28	0,33	0,32	0,32	0,35	0,36	0,43	0,40

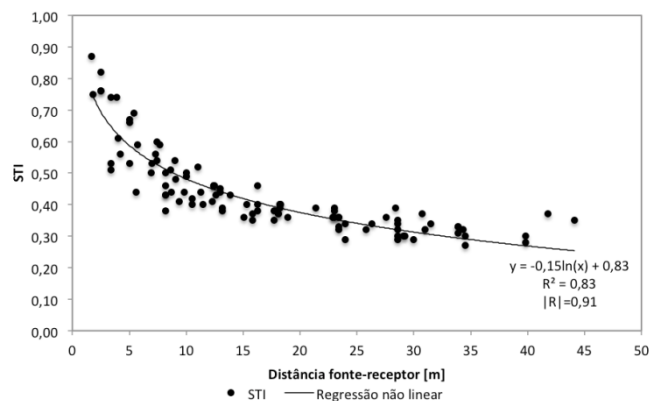


Fig.: 15 - Relação entre STI e distância fonte/recetor

#### 4. COMPARAÇÃO COM OUTRAS IGREJAS COM GEOMETRIA SEMELHANTE E VOLUMETRIA DA MESMA ORDEM DE GRANDEZA

Considerando os parâmetros acústicos TR, EDT, C80 e D50 foi realizada uma comparação entre o desempenho da Catedral e o de outras igrejas portuguesas, com geometria semelhante e volumetria da mesma ordem de grandeza. Os resultados da comparação estão na Tabela 1As igrejas escolhidas como termo de comparação são caracterizadas por nave retangular, transeptos, e capelas laterais de menores dimensões., tendo sido estudadas por Carvalho (1994).

O facto de se terem escolhido igrejas portuguesas como termo de comparação prende-se com o facto de a arquitetura ser muito semelhante e também por não existirem, ainda, número suficiente de templos estudados no Brazil com características semelhantes às da Catedral Metropolitana de Campinas.

Quadro 4 – Comparação entre estudos de várias igrejas

Igreja	Volume [m3]	TR [s]	EDT [s]	C80 [dB]	D50
Lapa (Porto)	11 423	5,7	5,6	-7,6	0,12
Serra do Pilar (V.N.Gaia)	11 566	7,8	7,7	-8,2	0,10
S. Francisco (Porto)	12 045	1,8	1,8	-1,0	0,27
Sé (Lamego)	13 424	4,6	4,0	-5,4	0,15
S. Roque (Lisboa)	14 207	3,8	3,7	-4,6	0,15
Sé (porto)	15 260	3,6	3,5	-6,9	0,08
Catedral (Campinas)	17 156	3,5	3,6	-4,9	0,23
S. Francisco (Évora)	18 631	5,0	4,9	-6,5	0,17
Basílica da Estrela (Lisboa)	18 674	8,1	8,1	-10,0	0,09



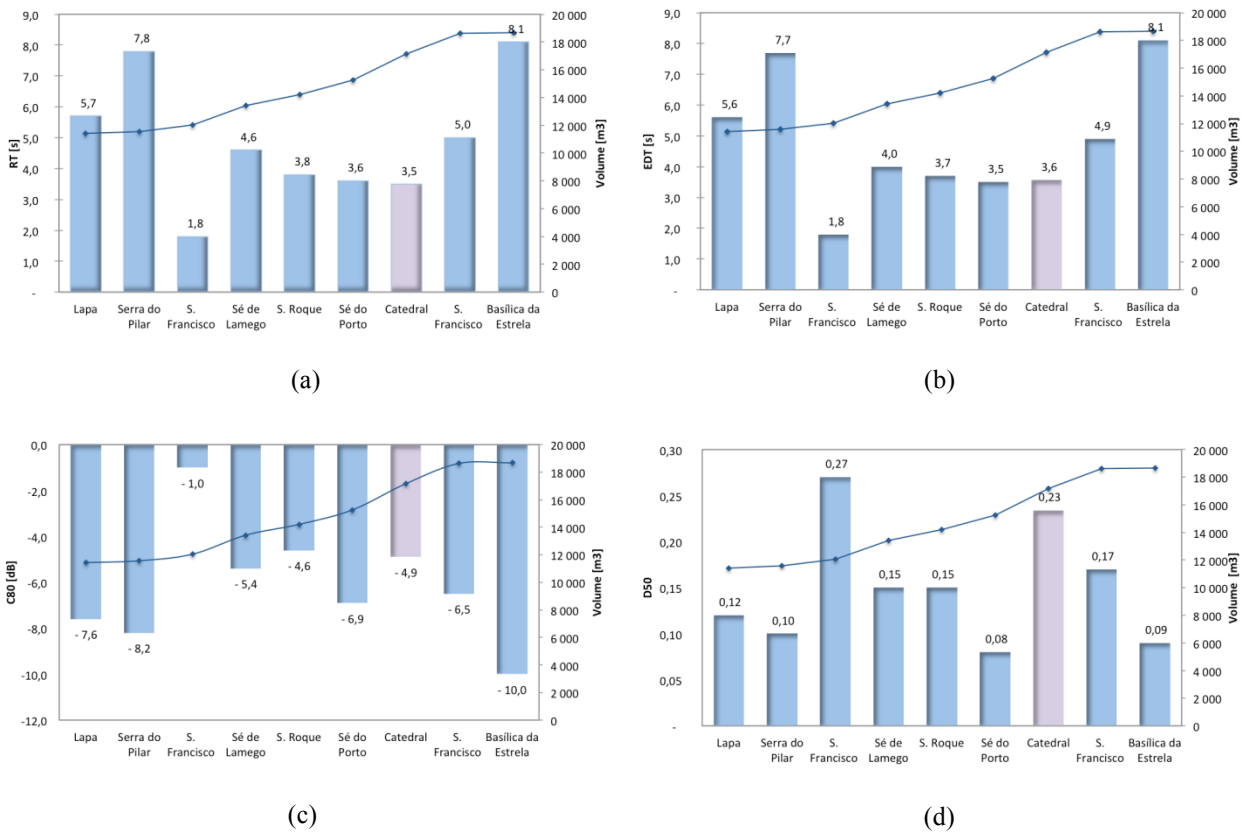


Fig.: 16 – Comparação entre igrejas considerando o volume, TR (a), EDT (b), C80 (c) e D50 (d)

Em relação ao tempo de reverberação (Fig.: 16 (a)) e tempo de atraso inicial (Fig.: 16 (b)), só a Igreja de S. Francisco no Porto é que tem comportamento mais favorável à prática de discurso (TR=1;8s), aproximando-se do valor ideal mencionado por Beranek and Vér (2006). No entanto, para a prática de música e segundo as curvas de Beranek (1993), a Catedral é aquela cujo tempo de reverberação se apresenta mais favorável e mais próximo do ideal.

Quanto ao parâmetro Clareza (Fig.: 16 (c)) tanto a Igreja de S. Francisco como a Igreja de S. Roque são mais adequadas para a prática de ações relacionadas com as práticas musicais tendo, respetivamente, C80= -1;0 dB e C80= -4; 6 dB, valores mais próximos do que é recomendado por Beranek (2004), mas apenas a Igreja de S. Francisco se encontra dentro do intervalo considerado como ideal (-2,0 dB a 2,0 dB).

Relativamente à definição do discurso (Fig.: 16 (d)), e como seria de esperar devido ao facto de apresentar TR=1;8s, a Igreja de S. Francisco continua a apresentar um melhor comportamento (D50 = 0; 27).

Em comparação com outras igrejas portuguesas de volume semelhante, a Catedral apresenta resultados satisfatórios.

## 5. CONCLUSÕES

Os parâmetros acústicos escolhidos para análise no presente trabalho foram o tempo de reverberação,  $T_r$ , o tempo de decaimento inicial,  $EDT$ , a definição,  $D_{50}$ , clareza,  $C_{80}$  e índice de transmissão da fala,  $STI$ . Foi também medido o ruído de fundo. Além da caracterização, o estudo teve também como objectivo a comparação dos resultados obtidos com os de outros estudos relativos a igrejas de volumetria semelhante. Os resultados obtidos encontram-se sintetizados no Quadro 5, que serve como resumo dos ensaios efectuados ao longo desta pesquisa. Os resultados obtidos podem ser interpretados de forma subjectiva, como se apresenta no Quadro 6.

Relativamente ao parâmetro tempo de reverberação, TR, obteve-se o valor de 3; 5 s. Na perspectiva da percepção da palavra, considera-se que a igreja apresenta um comportamento muito insatisfatório, enquanto que para a música o seu comportamento é razoável. Da avaliação do índice de transmissão da fala resultou o valor de 0; 43, podendo então classificar-se, segundo a escala subjectiva de inteligibilidade da palavra normalizada, como inteligibilidade pobre

Quadro 5 – Quadro resumo dos resultados

<b>Parâmetro acústico</b>	<b>Valor</b>	
TR	3,5	[s]
EDT	3,6	[s]
C80	-4,9	[dB]
D50	0,23	
STI	0,43	
Ruído de fundo medido no interior devido a ambiente exterior (média 500-1 k Hz)	34,3	[dB]
Temperatura média	23,0	[°C]

Quadro 6 – Avaliação subjetiva dos resultados

<b>Parâmetro acústico</b>	<b>Qualidade acústica subjetiva</b>
Tempo de Reverberação:	
Para o discurso	Mau
Para a fala	Suficiente
Clareza para a prática de música	Suficiente
Inteligibilidade da palavra	Pobre
Ruído de fundo medido no interior devido a ambiente exterior (média 500-1 k Hz)	Bom

Relativamente ao ruído de fundo, a Catedral Metropolitana de Campinas apresenta bons resultados, que favorecem a boa qualidade acústica do edifício. Analisando o panorama de resultados, pode classificar-se a Catedral de Campinas como tendo um comportamento acústico razoável/suficiente.

Em comparação com outras igrejas portuguesas de volume semelhante (secção 6.3), a Catedral apresenta resultados bastante favoráveis. Em relação ao tempo de reverberação e tempo de atraso inicial, só a Igreja de S. Francisco no Porto é que tem comportamento mais favorável (1; 8 s). Quanto ao parâmetro clareza, tanto a Igreja de S. Francisco como a Igreja de S. Roque são mais adequadas para a prática de ações relacionadas com as práticas musicais tendo, respectivamente, C80 = -1,0 dB e C80 = -4,6 dB. Relativamente à definição do discurso, e como seria de esperar, a Igreja de S. Francisco continua a apresentar um melhor comportamento (D50 = 0,27).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beranek, L. L. (1993). *Acoustics*. Acoustical Society of America, New York, N.Y.
- Beranek, L. L. (2004). *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture*. Verlag Dashofer, New York, N.Y., 2 edition.
- Beranek, L. L. and Vér, I. L., editors (2006). *Noise and Vibration Control Engineering - Principals and applications*. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, second edition.
- Bottazzini, M. C. (2007). *Igrejas setecentistas mineiras: a influência das características arquitetônicas na qualidade acústica*. PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas- Faculdade de Engenharia Civil, Campinas - SP.
- Cirillo, E. and Martellotta, F. (2006). *Worship, acoustics, and architecture*. Multi-Science Publishing Co.
- COMPENDIO DO VATICANO II: constituições, decretos, declarações / introdução e índice analítico de Frei Boaventura Kloppenburg; coordenação geral de Frei Frederico Vier 17ª Ed. Petrópolis: Vozes, 1984.
- Houtgast, T. and Steeneken, H. J. M. (1971). Evaluation of speech transmission channels by using artificial signals. *Acustica*, 25:355–367.
- Houtgast, T. and Steeneken, H. J. M. (1980). A physical method for measuring speech-transmission quality. *Journal of the Acoustical Society of America*, 67:318–326.
- Leite, R. (2004). *Catedral Metropolitana de Campinas, Um templo e sua história*. Komedi.