



VI Congresso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A121

Acústica de igrejas barrocas, arquitetura que faz a diferença

Marcelo Carvalho Bottazzini ^(a), Stelamaris Rolla Bertoli ^(b)

(a) Centro Superior de Ensino e Pesquisa de Machado – CESEP. 37750-000, Machado, MG – Brasil.

(b) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP. 13083-970, Campinas, SP, Brasil.

Abstract

It is known that a civilisation writes its history, transmitting to future generations, by its immortalised symbols in plastic and architectural arts. In this way, it is possible to evaluate the historical importance from the Baroque churches in Minas Gerais. Today, with more people participating in mass, at the spoken rite liturgy, or at the singing rites, there are many complaints about the acoustic conditions. A research project was put in practice to characterise the acoustic conditions of these buildings. Some results are presented here. Discussions and analyses about acoustic parameters have been made for the churches Sé de Mariana, Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei, Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Ouro Preto e Matriz de Santo Antônio de Tiradentes, all of them with the same constructive characteristics. The architectural parameters analysed were volume, baroque details percentage, wood surfaces percentage, mortar surface percentage and lateral altar number. The acoustic parameters analysed were clarity, definition, reverberation time and early decay time. These parameters were determined through the impulse response technique, using the room evaluation program DIRAC. The results have shown that the architectural characteristics of churches have a great influence on the acoustical parameters

Resumo

Sabe-se que é por meio dos símbolos imortalizados pelas artes plásticas e arquitetônicas que um povo escreve sua história, transmitindo às gerações futuras seus conhecimentos. Deste modo, pode-se avaliar a importância histórica e arquitetônica das igrejas barrocas de Minas Gerais. Hoje, com a maior participação dos fiéis nas celebrações, seja na prática da oratória, sejam na prática do canto, muitas reclamações sobre as condições acústicas destes ambientes vem sendo relatadas. Tendo em vista as características arquitetônicas das igrejas barrocas mineiras, um amplo projeto de pesquisa foi colocado em prática com a finalidade de caracterizar a acústica destes edifícios. Parte dos resultados é apresentada neste trabalho, discutindo e analisando os parâmetros acústicos e arquitetônicos de quatro igrejas barrocas, a saber: Sé de Mariana, Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei, Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Ouro Preto e Matriz de Santo Antônio de Tiradentes, todas com as mesmas características construtivas. Os parâmetros arquitetônicos analisados são: volume, percentuais de talhas barrocas, percentuais de superfícies em madeira, percentuais de superfície em argamassas e número de altares colaterais. Os parâmetros acústicos analisados são: clareza, definição, tempo de reverberação e tempo de decaimento inicial. Esses parâmetros foram obtidos através da técnica impulsiva, utilizando o programa de avaliação de salas Dirac da Bruel&Kjaer. Os resultados mostram que as características arquitetônicas destas igrejas exercem uma grande influência sobre suas as qualidades acústicas.

1 Introdução

Sabe-se que é por meio dos símbolos imortalizados pelas artes plásticas e arquitetônicas que um povo escreve a sua história e transmite às gerações futuras seus conhecimentos, promovendo o desenvolvimento individual e coletivo. Nestas manifestações artísticas, ocorridas às margens das lavras e dos garimpos, resplandeceu o estilo que marcou o século XVIII em que a exploração do ouro atingiu seu ponto mais alto: o barroco-rococó trazido de Portugal e colocado em prática, principalmente na construção de igrejas, com pequenas adaptações próprias do local, na época, (MOURÃO, 1986). Deste modo pode-se avaliar a importância e o grande valor histórico, arquitetônico e cultural das igrejas barrocas construídas no Brasil.

As qualidades acústicas de um ambiente dependem da garantia de níveis de ruídos compatíveis com as condições humanas no desempenho de suas atividades. A qualidade sonora de uma sala de conferência é formada por uma série de atributos acústicos subjetivos que venham proporcionar uma adequada inteligibilidade da fala. Para que isso ocorra será preciso reduzir os níveis de ruído, além de fazer com que o ambiente não produza ecos, pois, sabe-se que a inteligibilidade da fala é deteriorada pelos ecos, para se evitar o mascaramento das palavras.

A reverberação pode ser entendida como uma série de ecos discretos distribuídos ao longo do tempo. Os ambientes destinados a conferências devem ter o seu tempo de reverberação reduzido. Entretanto, em um ambiente destinado a práticas musicais é aceitável que se tenha uma certa reverberação, que possa proporcionar uma sonoridade que venha a contribuir com a música que está sendo executada. Desta forma, pode-se observar que cada tipo de ambiente exige características distintas para atender a sua finalidade.

Com as mudanças promovidas pela igreja católica nas últimas décadas, como o abandono do uso da língua latina, e a crescente participação dos fiéis, as celebrações, passaram por várias modificações, tanto no que se refere à execução de músicas como na prática da oratória, que alteraram os costumes e conseqüentemente o uso destes ambientes. Com o surgimento de novos materiais construtivos e a necessária evolução dos projetos arquitetônicos com o objetivo de atender a esta nova realidade, as igrejas passaram a requerer atenção especial com relação as suas qualidades acústicas. Inúmeras reclamações têm sido relatadas por padre e fiéis sobre as condições de audibilidade destes espaços. Pois a maior dificuldade que se depara é que as igrejas são ambientes destinados à prática tanto da palavra falada quanto da música.

As igrejas e capelas mineiras eram construídas de taipa, inicialmente cobertas de sapé, em forma de quadrado ou retângulo, cumeeira duas águas. Não tinha torre nem janelas. A obra iniciava pela construção de uma capela. Logo a seguir, ampliava-se a capela acrescentando o altar mor ao fundo e uma torre lateral ou central. Na seqüência, a edificação evoluía ganhando mais três partes, que são características fundamentais de tais construções: a nave, com o aumento de grandes paredes laterais, a capela mor e a sacristia, atrás do altar mor. Surgiam então, os dois corredores laterais que levam à sacristia ou ao consistório. Finalmente retirava-se a primeira cobertura e construía-se uma nova parede frontal, surgia aí o nártex e o coro, cobria-se com um novo e grande telhado definitivo.

Tendo em vista as características arquitetônicas e a importância histórica representada pelas igrejas barrocas mineiras, somadas aos problemas acústicos relatados por padres e fiéis, um amplo projeto de pesquisa foi desenvolvido com o propósito de caracterizar a acústica destes edifícios. Parte dos resultados deste projeto é apresentada neste trabalho, analisando e discutindo as características acústicas e arquitetônicas de quatro igrejas barrocas construídas no século XVIII, em quatro cidades históricas de Minas Gerais, a saber: Sé de Mariana

(1713), Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei (1721), Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Ouro Preto (1729) e Matriz de Santo Antônio de Tiradentes (1733).

Os parâmetros arquitetônicos analisados são: volume, percentuais de talhas barrocas, percentuais de superfícies em madeira, percentuais de superfícies em argamassa e número de altares colaterais. Os parâmetros acústicos analisados são: clareza (C80), definição (D50), tempo de reverberação (TR) e tempo de decaimento inicial (EDT) (Early Decay Time). Todos obtidos por meio da técnica impulsiva, utilizando-se o programa de computador para avaliação de salas Dirac da Bruel&Kjaer. As definições de resposta impulsiva e destes parâmetros são apresentadas a seguir.

1.1 Resposta Impulsiva

A maior parte dos índices objetivos pode ser obtida tendo como ponto de partida a resposta impulsiva do ambiente. O conceito de resposta impulsiva pode ser dado como sendo a resposta da pressão sonora que é registrada na posição de interesse do ouvinte quando um impacto que produz um sinal de excitação muito intenso de curta duração é produzido por uma fonte sonora em uma posição específica. Estas excitações podem ser produzidas por tiros de pistolas ou por pulsos elétricos enviados por alto-falantes. A resposta impulsiva é particularmente atrativa, porque ela oferece uma completa descrição da transmissão entre dois pontos, já que não se preocupa com a direção. Todas as medidas não levam em consideração a direção, exceto a fração de energia lateral primária (early lateral energy fraction), pois são medidas omnidirecionais e são também calculadas da resposta impulsiva, (Barron, 1998).

Segundo Farina (2000), o estado da arte relacionado com as medições de áudio é representado por duas diferentes espécies de medidas: caracterização da função de transferência linear de um sistema, medido por meio de sua resposta impulsiva, e análises da não linearidade medida por meio da distorção de harmônicos em várias ordens. Estas medidas são bem distintas: para a medida da resposta impulsiva as técnicas que têm sido mais usadas são MLS (Maximum Length Sequence) e TDS (Time-Delay Spectrometry).

Hoje há uma grande tendência em se usar a técnica da deconvolução que usa varreduras de senos como sinal de excitação, tendo em vista que apresentam uma excelente distribuição de energia em seu espectro o que as torna bastante resistente a não linearidades, ao contrário de uma MLS que, quando usada, não-linearidades do sistema podem ser notadas na resposta impulsiva como rugosidade do sinal, repetições do sinal deslocadas no tempo e com menor amplitude, sendo que com a varredura é possível isolar completamente resposta impulsiva desejada das componentes presentes, porque as harmônicas geradas por não-linearidade do sistema aparecem em tempos negativos da resposta impulsiva (Masiero; Iazzetta, 2004).

Na prática o sinal de excitação emitido no ambiente de interesse pode ser gravado com um microfone conectado a um microcomputador através de uma placa digitalizadora de som. Por meio de um programa de computador específico, pode-se obter a curva de decaimento do som e o tempo de reverberação. Outros parâmetros também podem ser calculados segundo a norma ISO 3382 - Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters (1993).

Nos itens a seguir são definidos os parâmetros acústicos extraídos da resposta impulsiva que são utilizados neste trabalho.

1.2 Clareza C80 (Clarity)

Este índice está relacionado com o equilíbrio entre a clareza percebida e reverberação, a qual pode ser particularmente delicada para audição de música. Assim pode-se definir a clareza como o tempo de integração para a energia útil chegando ao ouvido com 80 ms do som direto dividido pela energia tardia total que chega após os 80 ms do som direto (BARROM, 1998).

Quando a clareza estiver relacionada com a percepção musical, o intervalo de tempo é limitado em 80 ms, quando estiver relacionado com a fala, o intervalo de tempo é limitado em 50 ms (FARINA, 2000).

1.3 Definição D50 (Definition)

Definição é um parâmetro acústico baseado na característica da audição na qual as reflexões que atinjam o receptor até 50 ms, depois da chegada do som direto. São usualmente consideradas reflexões benéficas, pois dão suporte ao som direto, contribuindo para a audibilidade do som sem apresentar prejuízos em sua qualidade. As técnicas de gravação e visualização digital têm permitido integrar a energia sonora recebida em intervalos de tempo arbitrário, e desta possibilidade é extraída a individualização de relação entre a energia recebida imediatamente depois da onda e a sucessiva energia reverberante. A Definição é a razão entre a energia da resposta impulsiva entre 0 e 50 ms e a energia total da resposta impulsiva. Este parâmetro Definição está correlacionado com a inteligibilidade da fala, comparando a energia do som direto somada à energia das reflexões úteis com a energia total da resposta de impulso, (Barron, 1998).

1.4 Tempo de Reverberação (Reverberation Time)

É definido como sendo o tempo necessário para que o Nível de Pressão Sonora (NPS) seja atenuado em 60 dB, após a interrupção da emissão do som pela fonte, e está relacionado com a inteligibilidade da fala.

1.5 Tempo de Decaimento Inicial (EDT) (Early Decay Time)

A percepção subjetiva da reverberação está correlacionada mais fortemente com o decaimento inicial do que com o restante do campo reverberante, como foi demonstrado por Jordan (1981), e está diretamente ligada com a impressão subjetiva de como o sinal transmitido parece ser transformado pela reverberação do ambiente. O cálculo do EDT é feito no limite do decaimento entre 0 e -10 dB na curva integrada de Schoroder, em segundos, multiplicado por um fator 6, uma vez que 10 dB ocorre em um período de tempo brusco equivalente a um sexto do tempo requerido para 60 dB de decaimento, definido como tempo de reverberação (Beranek, 1996).

2 Metodologia

Os parâmetros acústicos obtidos a partir da resposta impulsiva foram os seguintes: Definição (D50), parâmetro relacionado à percepção das articulações das palavras; Clareza (C80) parâmetros acústicos relacionado à inteligibilidade musical; Tempo de Reverberação (TR) e Tempo de Decaimento Inicial (EDT). As igrejas e o método de medição são descritos e detalhados a seguir.

2.1 As igrejas avaliadas

As igrejas avaliadas foram edificadas no século XVIII. Todas no estilo barroco-rococó com as mesmas características. As alvenarias das igrejas foram executadas em taipa, seus

tetos em madeira, bem como seus pavimentos. As igrejas possuem entre seis e dez altares colaterais dentro da nave, ornamentados com talhas barrocas. Ao fundo da capela-mor de cada igreja, os altares são também ornamentados com talhas barrocas. Cada uma das igrejas possuiu detalhes e medidas particulares que as distingue umas das outras, e são apresentadas a seguir.

Sé de Mariana (SÉ-MA): Igreja classificada como pertencente à segunda fase do barroco jesuítico brasileiro. Possui um formato retangular, diferenciando das demais por possuir um espaço nas laterais, ao invés de um corredor, separado da nave por quatro grandes pilares. Os espaços entre os pilares formam grandes umbrais em forma de arco onde abrigam os altares co-laterais. O teto da nave é semi-arqueado, partindo de uma altura de 10,21 m até 13,13 m na parte central. O teto da capela-mor é totalmente arqueado com um raio de 3,25 m.

Igreja Matriz de Nossa Senhora do Pilar de São João Del Rei (MNSP-SJDR): Classificada como pertencente à terceira fase do barroco jesuítico brasileiro. Possui um formato retangular, com cômodos laterais à nave, ao invés de corredor. O teto da nave é arqueado, partindo de uma altura de 9,20 m até 11,20 m na parte central. O teto da capela-mor é também arqueado com um raio de 3,65 m.

Igreja Matriz de Nossa Senhora da Conceição de Ouro Preto (MNSC-OP): Igreja classificada como pertencente à terceira fase do barroco jesuítico brasileiro. Possui um formato retangular, com o corredor lateral separado da nave. O teto da nave é semi-arqueado, partindo de uma altura de 11,00 m até 15,00 m na parte central. O teto da capela-mor é totalmente arqueado com raio de 3,37 m.

Igreja Matriz de Santo Antônio de Tiradentes (MSA-TI): Igreja também classificada como pertencente à terceira fase do barroco jesuítico brasileiro. Como as igrejas anteriores, foram edificadas em formato retangular, tendo a nave guarnecida de corredores. O teto da nave, na largura, é dividido em três partes iguais. Sendo a parte central plana e as laterais formando um ângulo de 25°. A altura míni da nave é de 10,40 m e a altura máxima é de 12,00 m. O teto da capela-mor é arqueado com um raio de 3,78 m.

As talhas barrocas contidas nos retábulos destas igrejas são constituídas de esculturas feitas em madeiras de motivos fitomorfos e zoomorfos de cor dourada. Estes adereços e os materiais utilizados, bem como sua forma, podem influenciar no seu desempenho acústico. Deste modo foram levantados alguns parâmetros arquitetônicos e apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros arquitetônicos das igrejas barrocas de Minas Gerais.

Igreja/Cidade	SÉ-MA	MNSP-SJDR	MNSC-OP	MSA-TI
Dimensões				
Volume (m ³)	5298	4587	4930	4710
Capacidade	210	410	330	200
% de talhas barrocas	14,3	11,7	9,2	10,6
% de áreas em madeira	60,4	53,5	67,4	53,7
% de áreas em argamassa	39,6	46,50	32,6	46,3
Número de altares co-laterais	10	6	8	6

2.2 Método de medição

Os parâmetros acústicos das igrejas foram obtidos a partir da resposta impulsiva do ambiente. O sinal sonoro de excitação, varredura de senos, foi emitido pela fonte sonora omnidirecional tipo 4296, amplificado pelo amplificador de potência tipo 2716, ambos da

Brüel & Kjaer, colocada dentro da capela-mor, próximo ao altar, onde o padre realiza as práticas religiosas. O sinal sonoro foi gravado pelo microfone do medidor do nível de pressão sonora tipo 2260 também da Brüel & Kjaer, conectado a um microcomputador através da placa digitalizadora de som VXpocket v2, da Digigram. Para processamento dos sinais foi utilizado o programa de computador para avaliação de salas Dirac (Bruel&Kjaer). Os parâmetros acústicos foram calculados segundo a norma ISO – 3382 (1993). As medições foram realizadas em seis posições, de modo intercalado, desde a capela-mor até a entrada da igreja, fornecendo suficientes informações a respeito da acústica do ambiente, como exemplificado em uma das igrejas, figura 1.

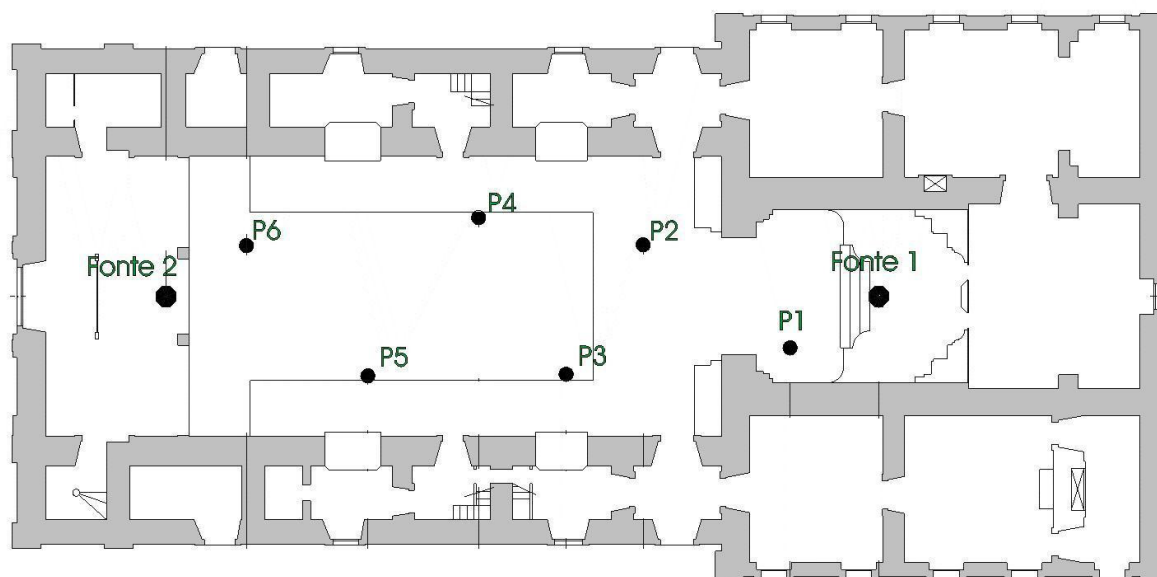


Figura 1. Matriz de Santo Antônio de Tiradentes com as posições de medição e fonte sonora.

3 Resultados e Discussão

3.1 Clareza (C80)

Fabbri et al., (1998) define uma faixa de valores ótimos do parâmetro acústico Clareza entre -2dB e 2 dB. Sendo perfeitamente aceitáveis entre -4 dB e 4 dB. Deste modo, os valores de C80, apresentados na Figura 2 mostram que todas as igrejas atendem as boas condições para execução de músicas, ou seja, possuem condições favoráveis à boa inteligibilidade das notas musicais. As igrejas SÉ-MA e MNSC-OP estão dentro da faixa de valores ótimos. Na igreja MSA-TI o C80 em baixa frequência tem seus valores dentro da faixa aceitável. O mesmo ocorrendo em médias frequências com a igreja MNPS-SJDR. Valores que pouco ou quase nenhum prejuízo trás à suas qualidades acústicas.

Pode-se observar que as igrejas com o maior equilíbrio de C80 nas diversas frequências, SÉ-MA e MNSC-OP, possuem o maior percentual de madeira. Deixando clara a grande influência deste material em seus valores.

Ao se comparar os volumes das igrejas, percebe-se que este parâmetro arquitetônico exerce pouca influência sobre a clareza, pois a que apresentou o melhor resultado SÉ-MA possui um volume 15 % maior que a de resultado aceitável, MNPS-SJDR.

Ao se analisar C80 em função da posição, nota-se que a posição 1, mais próxima da fonte sonora, tende ao desequilíbrio mostrando a forte influência do som direto e das

superfícies mais reflexivas, tendo em vista que as piores situações foram encontradas nas igrejas com tais características, MNSP-SJDR e MSA-TI. Nota-se também, que o número de altares colaterais e sua distribuição ao longo da igreja possivelmente também contribuíram com a melhoria na qualidade de C80, uma vez que as igrejas com melhor equilíbrio em toda sua extensão são providas de maior número de altares. Finalmente pode-se dizer que, embora contribuindo com seu equilíbrio, a presença das talhas barrocas tem pouca influencia sobre este parâmetro acústico, tendo em vista que a igreja MNSC-OP, com o menor percentual de talhas apresentou uma boa clareza.

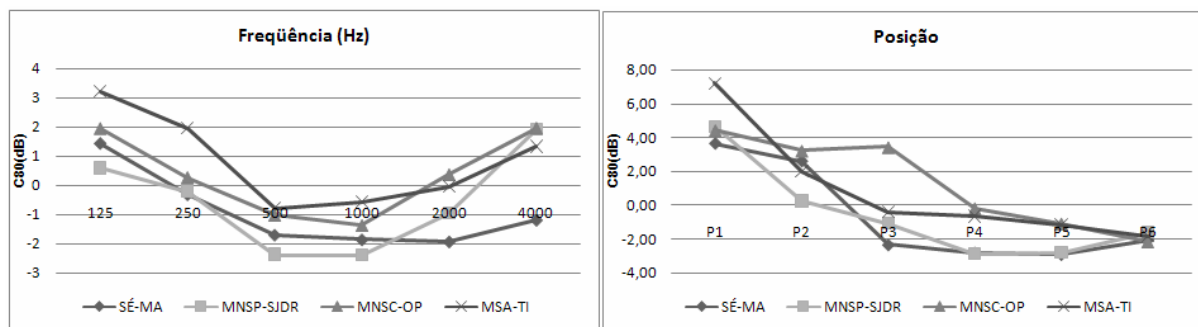


Figura 2. Clareza (C80) média por frequência e por posição de medição.

Pode-se observar que as igrejas com o maior equilíbrio de C80 nas diversas frequências, SÉ-MA e MNSC-OP, possuem o maior percentual de madeira. Deixando clara a grande influência deste material em seus valores.

Ao se comparar os volumes das igrejas, percebe-se que este parâmetro arquitetônico exerce pouca influência sobre a clareza, pois a que apresentou o melhor resultado SÉ-MA possui um volume 15 % maior que a de resultado aceitável, MNSP-SJDR.

Ao se analisar C80 em função da posição, nota-se que a posição 1, mais próxima da fonte sonora, tende ao desequilíbrio mostrando a forte influência do som direto e das superfícies mais reflexivas, tendo em vista que as piores situações foram encontradas nas igrejas com tais características, MNSP-SJDR e MSA-TI. Nota-se também, que o número de altares colaterais e sua distribuição ao longo da igreja possivelmente também contribuíram com a melhoria na qualidade de C80, uma vez que as igrejas com melhor equilíbrio em toda sua extensão são providas de maior número de altares. Finalmente pode-se dizer que, embora contribuindo com seu equilíbrio, a presença das talhas barrocas tem pouca influencia sobre este parâmetro acústico, tendo em vista que a igreja MNSC-OP, com o menor percentual de talhas apresentou uma boa clareza.

3.2 Definição (D50)

O parâmetro acústico Definição está relacionado à capacidade de se perceber melhor as articulações das palavras. Mesmo não havendo nenhum estudo a cerca dos valores ideais, pode-se afirmar: quanto mais próximo do valor "um", melhor será a Definição.

As igrejas MSA-TI, MNSC-OP e MNSP-SJDR apresentaram valores de D50 bastante próximos. Embora os resultados tenham ficado aquém do esperado, a que possui a melhor definição é a MSA-TI, com valores superiores em praticamente todas as frequências. Ao se comparar os valores da tabela 1 com os resultados da figura 3, nota-se que a qualidade deste parâmetro é influenciada pelos ambientes que possuem maior quantidade de superfícies lisas, independente do material empregado, MSA-TI e MNSC-OP.

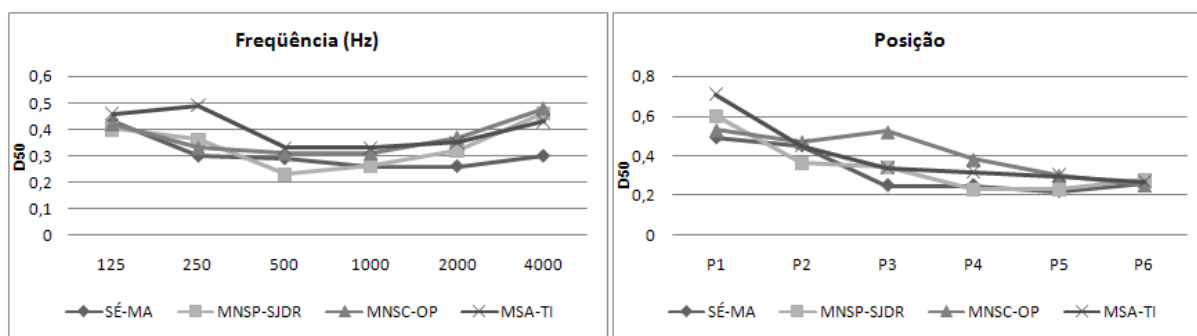


Figura 3. Definição (D50) média por frequência e por posição de medição.

As se observar a figura 3 nota-se que, na medida em que se distancia da fonte sonora, o parâmetro acústico definição tende a diminuir principalmente nas três primeiras posições, e a permanecer constante nas demais, exceto na MNSC-OP, confirmando a influência das superfícies reflexivas, pois é a igreja que menos possui superfícies que proporcionam a difusão sonora, talhas barrocas, (CARVALHO; LENCASTRE, 2002).

3.3 Tempo de Reverberação (TR)

Os resultados do TR médios comparativos, tanto por posição quanto por frequência, das quatro igrejas avaliadas são apresentados na figura 4. Observa-se que eles são bastante homogêneos para todas as posições de medição; evidenciando a influência da difusão sonora promovida pelas talhas barrocas, o que perfeitamente observado no TR da igreja SÉ-MA.

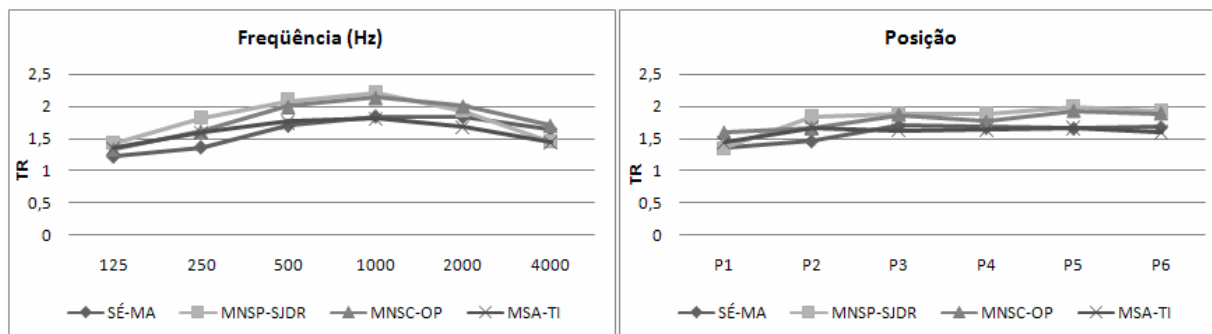


Figura 4. TR médio por frequência e por posição de medição.

Segundo Johnson et al., (1999) os TR das igrejas avaliadas estão dentro da faixa ideal para igrejas, uma vez que os valores variam de 1,70 s a 2,09 s na frequência de 500 Hz para um volume do ambiente em torno de 5000 m³, confirmando a boa qualidade para práticas musicais conferidas pelo parâmetro acústico C80.

Os valores de TR reduzidos em baixa frequência podem ser explicados pela presença dos altares colaterais, tendo em vista que as cavidades em que se encontram funcionam como ressonadores absorvendo os sons de baixa frequência, bem como a presença de grande quantidade de revestimentos em madeira funcionando como painéis vibrantes, (Bottazzini, 2007). Isto pode ser observado ao se verificar os resultados de TR das igrejas SÉ-MA e MNSC-OP, tendo em vista que possuem maior número de altares.

A redução dos valores de TR em alta frequência muito se deve a maior presença das talhas barrocas, uma vez que o efetivo aumento de suas superfícies exposta ao campo acústico em consequência dos altos e baixos relevos e as irregularidades de suas esculturas influenciam no aumento da absorção sonora, (Carvalho; Lencastre, 2002).

Pode-se dizer que o tempo de reverberação é pouco influenciado pelo volume, tende em vista que a igreja SÉ-MA apresentando o menor TR possui um volume maior que as demais igrejas.

3.4 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Segundo Cocchi, Garai e Tavernelli (2000), o EDT é considerado subjetivamente mais importante que TR em relação à percepção da reverberação. Estando TR mais relacionado com as propriedades físicas do ambiente. Os resultados de EDT tanto para bandas de frequências centrais de 125 a 4000 Hz quanto por posição, obtidos das medições realizadas nos vários pontos são apresentados na figura 5.

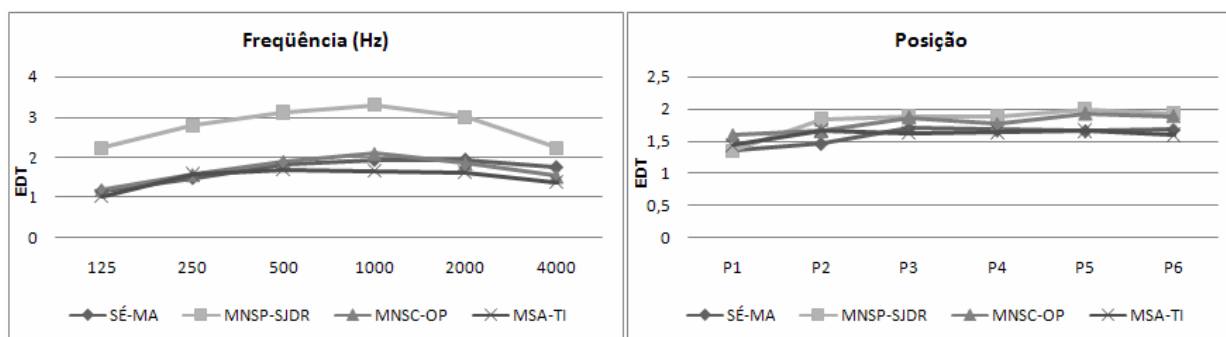


Figura 5. EDT médio por frequência e por posição de medição.

O EDT das igrejas SÉ-MA, MSA-TI, MNSC-OP, em todas as frequências são menores que os seus próprios TR. Isso diminui a percepção da reverberação pelo ouvinte. Destaque deve ser dado à igreja MSA-TI que apresentou o menor EDT, em torno de 1,50 s. Mesmo tendo um TR maior, provavelmente oferecerá as mesmas condições de audição da igreja SÉ-MA que apresentou o menor de todos os tempos de reverberação. Por outro lado a igreja MNSP-SJDR apresentou um EDT sensivelmente maior que seu TR, condição que aumenta sensação de estar dentro de um ambiente reverberante. Certamente estas condições estão relacionadas à maior presença de superfícies reflexivas da igreja MNSP-SJDR e pode ser verificado na tabela 1.

Da mesma maneira que no parâmetro acústico TR, o volume tem pouca influência sobre o EDT. Tendo em vista que a igreja MNSP-SJDR, com o maior EDT tem o menor volume.

4 Conclusões

O parâmetro C80 está mais relacionado com as superfícies revestidas com madeira, e menos com as talhas barrocas presentes nas igrejas. O parâmetro acústico D50 apresenta melhores resultados nas igrejas com maior quantidade de superfícies lisas independente do material empregado, e sua regularidade por todo ambiente se devem à distribuição das talhas barrocas ao longo da nave. Desta maneira indicando o uso de difusores sonoros nas regiões mais próximas da fonte sonora e superfícies reflexivas nas posições mais distantes para melhoria de D50. De um modo geral as igrejas setecentistas de Minas Gerais apresentam condições acústicas muito particulares, principalmente no que diz respeito ao tempo de reverberação. Ou seja, valores reduzidos de TR em baixas frequências, com ligeiro aumento

em médias frequências e redução em altas. Este comportamento acústico é raro em outros estilos arquitetônicos de igrejas. Das 43 igrejas avaliadas por Lubman e Wetherill (1983), Estados Unidos, México e Japão, 80 % possuem tempo de reverberação muito grande em baixa frequência, e uma vertiginosa queda em médias e altas frequências. Das demais igrejas, apenas 3 mostraram comportamento acústico com uma certa semelhança, as outras, embora apresentando valores de TR reduzidos em baixas frequências, apresentaram tendência de aumento em altas frequências. Da mesma forma, Sanchidrián e González (2006) obtiveram resultados de TR com as mesmas características ao avaliar a igreja do Monastério de Santo Domingo de Silos, Espanha. Podendo também ser constatado em inúmeros trabalhos publicados. Os EDT obtidos diminuem a sensação de reverberação influenciando sobre o conceito da qualidade acústica do ambiente. Finalmente constatou-se que o volume teve pouca influência sobre a qualidade de todos os parâmetros acústicos avaliados. Deste modo, é possível perceber o quão especial é a acústica das igrejas barrocas mineiras, onde o estilo arquitetônico exerce enorme influência sobre suas qualidades sonoras.

Referências

- Barrom, Michael. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. London: E & FN Spon, 1998. 443 p.
- Beranek, L.L. *Concert and Opera Halls - How They Sound*. Acoustical Society of America, 1996.
- Carvalho, A.P.O.; Lencastre, M. Absorção sonora de Retábulos em talha barroca. *Revista Estudos Patrimônio - IPPAR*, Porto, n. 3, p. 14-18, 2002.
- Bottazzini, Marcelo Carvalho. *Igrejas setecentistas mineiras: a influência das características arquitetônicas na qualidade acústica*. Campinas, 2007. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.
- Cocchi, A.; Garai, M.; Tavernelli, C. Boxes and sound quality in an italian opera house. *Journal of Sound and Vibration*, n. 232, p. 171-191, 2000.
- FABBRI, P.; Farina, A.; Fausti, P.; Pompoli, R. *Il Teatro degli intrepidi di Giovan Battista Aleotti rivive attraverso le nuove tecniche dell'acustica virtuale*. Giambattista Aleotti e gli Ingegnere del Rinascimento, Firenze, p. 195-205, 1998.
- Farina, Angelo. Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion With a Swept-sine Technique. In: *AES - AN AUDIO ENGINEERING SOCIETY PREPRINT*, 108., 2000, Paris. Paris, 2000. p. 1-24.
- International Organization for Standardization. *ISO 3382: Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters*. Genève, 1993.
- Johnson, Jim; Metha, Madan; Rocafort, Jorge. *Architectural Acoustics: Principles and Design*. Upper Saddle River, New Jersey: Merrill Prentice Hall, 1999. 446 p.
- Jordan, V.L. A Group of Objective Acoustical Criteria For Concert Halls. *Applied Acoustics*, London, v. 14, p. 253-266, 1981 1981.
- Lubman, David; Wetherill, Ewart A. *Acoustics of Worship Spaces*. In: *MEETING OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA*, 106., 1983, San Diego. *Acoustics of Worship Spaces*. New York: [S.n.], 1985. p. 1-91.
- Masiero, Bruno Sanches; Iazzetta, Fernando. Estudo de Implementação de Métodos de Medição de Resposta Impulsiva. In: *I Seminário Música Ciência E Tecnologia: Acústica Musical*, 1., 2004, São Paulo. Acmus. São Paulo: USP, 2004. p. 200-209.
- Mourão, Paulo Krüger Corrêa. *As Igrejas Setecentistas de Minas*. 2 ed. Belo Horizonte: Itatiaia, 1986. 180 p. (Reconquista do Brasil.)
- Sanchidrián, César Diaz; Gonzalez, Antonio Pedrero. *La Acústica de la Iglesia del Monasterio de Santo Domingo de Silos y su Adecuación a la Práctica del Canto Gregoriano*. *TecniAcústica*, Madrid, 2006.