



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE UM TEMPLO CATÓLICO DE
GRANDES DIMENSÕES SUBMETIDO À EXCITAÇÃO
IMPULSIVA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marselle Nunes Barbo

SANTA MARIA, RS, BRASIL
2009

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE UM TEMPLO CATÓLICO DE
GRANDES DIMENSÕES SUBMETIDO À EXCITAÇÃO
IMPULSIVA**

por

Marselle Nunes Barbo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Conforto Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Profª. Dra. Dinara Xavier da Paixão

Santa Maria, RS, Brasil
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE UM TEMPLO CATÓLICO DE GRANDES
DIMENSÕES SUBMETIDO À EXCITAÇÃO IMPULSIVA**

elaborada por

Marselle Nunes Barbo

como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profª. Dinara Xavier da Paixão, Dra.

(Presidente/Orientador)

Prof. Erasmo Felipe Vergara Miranda, Dr. (UFSM)

(co-orientador)

Profª. Stelamaris Rolla Bertoli, Dra. (UNICAMP)

Santa Maria, 2 de março de 2009.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que nos permite sempre ir além, pois nos deu o presente mais valioso, a vida.

Meus pais que, mesmo de longe, sempre estiveram perto de mim. Só assim consegui superar a distância dos meus amados.

À minha amada avó Élide que me acolhe com seu imenso amor, nessa cidade que tanto amo.

Minha tia Lúcia, especial nessa etapa da minha vida, sempre presente, repassando seus conhecimentos, de artista e professora, com muito amor, que com certeza engrandeceram meu crescimento profissional e principalmente pessoal.

À minha orientadora Dinara Xavier da Paixão, que foi incansável na vontade de orientar, ensinar, honrando a arte de ser professora, de quem levarei muitos ensinamentos, tanto na profissão quanto na minha vida.

Meu co-orientador Erasmo Felipe Vergara que com seu primoroso conhecimento contribuiu imensamente ao desenvolvimento dessa pesquisa.

Minha irmã Naireli, que no seu ofício de advogada revelou-se ótima entrevistadora dos frequentadores da Basílica, mostrando, sempre com disposição e muito amor que a família se envolve de fato na pesquisa. Assim como meu irmão Diego que mesmo de longe sempre torceu muito por mim.

Amiga Cléia que também me ajudou nas entrevistas, sempre colaborando com sua experiência de pesquisadora, professora, mas, antes de tudo, amiga!

Meu namorado André que sempre me incentivou, apoiou, compreendendo a ausência, e me inspirou a sempre afrontar os obstáculos com entusiasmo e um indispensável bom humor.

Minha tia Circe pelo carinho, apoio, companheirismo.

Ao Sérgio de Palma Medeiros, um dos primeiros a auxiliar nessa caminhada.

Aos colegas do Laboratório de Acústica, entre eles seu Guerra, incansável nas medições, arquiteto e colega Rodrigo pela ajuda, assim como a Livia, a Adriana, o André, enfim pessoas que me acompanharam e fizeram a diferença durante essa etapa.

Aos fiéis, celebrantes, guardiões da Basílica, pela colaboração à minha pesquisa.

À UFSM que possibilitou meu crescimento profissional como Arquitecta onde poderei proporcionar qualidade de vida às pessoas.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

À todos os professores que tornaram possível esse trabalho.

Se a realidade fosse aquilo que aparenta ser, a Ciência seria desnecessária.

Albert Einstein

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

AUTORA: ARQ. MARSELLE NUNES BARBO
ORIENTADOR: DRa. PROFa. DINARA XAVIER DA PAIXÃO
Data e cidade da defesa: Santa Maria, 02 de março de 2009.

AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE UM TEMPLO CATÓLICO DE GRANDES DIMENSÕES SUBMETIDO À EXCITAÇÃO IMPULSIVA

A proposta de avaliar acusticamente igrejas traz dois aspectos relevantes: a importância da qualidade sonora em ambientes religiosos e a sua consequência para os frequentadores. O presente trabalho analisa o desempenho acústico de uma Basílica, com arquitetura contemporânea, avaliando dados obtidos de experimentos realizados *in loco*, a partir da resposta impulsiva devido à excitação por fonte de impacto manual e de entrevistas semi-estruturadas com frequentadores e celebrantes. O local estudado é o Santuário-Basílica de Nossa Senhora Medianeira, que se constitui num importante centro dedicado à Padroeira do Rio Grande do Sul. Numa igreja, uma boa inteligibilidade da palavra proferida é necessária para ser bem compreendida pelos fiéis. A música também deve ser claramente percebida. Um dispositivo de madeira produzido no Setor de Acústica da UFSM, a partir de um estudo científico, revelou-se capaz de emitir o sinal impulsivo necessário para a realização das medições. Após a validação da fonte, a avaliação acústica do ambiente foi determinada em função dos índices referentes à qualidade e à inteligibilidade para a música e para a palavra. Foram obtidos os valores do Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C80) e Definição (D50). Os dados, coletados com o equipamento *Blue Solo* da 01- dB, tiveram sua análise efetivada pelo programa computacional *dBbati*. Entrevistas com os frequentadores e executores das missas como os padres, músicos e comentaristas indicaram que as pessoas percebem a irregularidade sonora na edificação, porém não conseguem identificar onde estão os agravantes dessa situação. Essa análise vem ao encontro das respostas dos parâmetros objetivos, onde se constatou que a edificação apresenta carência em sua qualidade sonora, dificultando na compreensão tanto da palavra falada, quanto da música.

Palavras-chave: Acústica arquitetônica, fonte impulsiva, igrejas, critérios de qualidade.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduation Program on Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

AUTHOR: MARSELLE NUNES BARBO
ADVISOR: PHD. DINARA XAVIER DA PAIXÃO
Date and city : March 02, 2009 , Santa Maria

ACUSTIC ASSESSMENT OF A LARGE DIMENSIONED CATHOLIC TEMPLE SUBMITTED TO IMPULSIVE EXCITATION

The proposal to evaluate churches acoustically brings two relevant aspects: the importance of sound quality in religious environments and its consequence to the followers. The present work analyzes the acoustic performance of a Basilic with contemporary architecture, evaluating data obtained from experiments performed *in loco* from the impulsive reply due to excitement for source of manual and semistructured interviews with followers and enthusiasts. The premises studied are the Basilic Sanctuary of Our Lady Medianeira that consists of an important center dedicated to the Patroness of Rio Grande do Sul State. In a church, good speech intelligibility is necessary for the right comprehension from the audience. Music also should be clearly understood. A wooden device manufactured by UFSM's Acoustic Sector regarding scientific researches, revealed ability of impulsive signal emission necessary for carrying out the measurements. After the source validation, the environment acoustic assessment was determined according quality and intelligibility rates for music and speech. Then it was obtained values of Reverberation Time (RT), Initial Decay Time (IDT), Clarity (C80) and Definition (D50). The data, collected with an equipment called *Blue Solo* from 01-dB, had its analysis effectively checked by computational program dBati. Interviews with followers and Mass leaders such as priests, musicians and commentators indicated that people perceive sound irregularities in the premisses, however can not identify where are the aggravators of this particular situation. This analysis meets the answers of objective parameters, where is noticed that the premisses show lacking of sound quality, making it rather difficult the understanding of either the speech or the music.

Key-words: Arquitetural acoustic, impulsive source, church, quality criteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Forma de salas.....	23
Figura 02 - Tempos de Reverberação recomendados para igrejas.....	29
Figura 03 - Resposta impulsiva de uma das medições na Basílica	33
Figura 04 - Hagya Sofia, representante Bizantina.....	38
Figura 05 - Catedral de Notre Dame- exemplo de arquitetura gótica.....	39
Figura 06 - Interior da Basílica de São Pedro – representante do Rrenascimento.....	40
Figura 07 - Stema Pontificio concedido pelo Vaticano.....	41
Figura 08 - Vista externa da Basílica.....	48
Figura 09 - Vista do Presbitério.....	49
Figura 10 - Planta da Basílica.....	49
Figura 11 - Corte A – A` da Basílica.....	50
Figura 12 - Corte B – B` da Basílica.....	50
Figura 13 - Forro de PVC intercalado com ripas de madeira lisa e treliçada.....	51
Figura 14 - Vista e detalhe dos vitrais.....	52
Figura 15 - Configuração dos parâmetros acústicos a serem calculados pelo programa computacional.....	54
Figura 16 - Resultado do cálculo dos parâmetros acústicos no programa computacional.....	54
Figura 17 - Medição realizada com o emprego de balão.....	57
Figura 18 - Detalhes do dispositivo de madeira (fonte impulsiva).....	58
Figura 19 - Imagem do dispositivo de madeira (fonte impulsiva).....	58
Figura 20 Planta da Basílica da Medianeira com as posições de medição e fonte sonora.....	59
Figura 21- Médias TR (balões e madeira).....	60
Figura 22 - Média EDT (balões e madeira).....	61
Figura 23 - Gráfico do TR medido e calculado	64
Figura 24 - TR calculado com o coeficiente de absorção do ar e das pessoas.....	65
Figura 25 - Detalhes do dispositivo de madeira (fonte impulsiva).....	67
Figura 26 - Distribuição das fontes na Basílica.....	68
Figura 27 - Localização das regiões	69
Figura 28 - Planta esquemática com a distribuição de TR.....	70
Figura 29 - Gráfico do Tempo de Reverberação por regiões.....	71

Figura 30 - Planta esquemática com a distribuição de EDT.....	72
Figura 31 - Gráfico do EDT em cada região.....	73
Figura 32 - Planta esquemática com a distribuição de Definição, em percentagem	74
Figura 33 - Gráfico de Definição em função da freqüência.....	75
Figura 34 - Planta esquemática com a distribuição de Clareza em 500 Hz.....	76
Figura 35 - Gráfico de Clareza em função da freqüência.....	77
Figura 36- Planta esquemática com a distribuição de STI.....	78
Figura 37 - Planta esquemática com a disposição dos 8 pontos de emissão e 16 pontos de captação do sinal impulsivo.....	80
Figura 38- Planta esquemática com a distribuição do TR.....	82
Figura 39 - Gráfico do Tempo de Reverberação por regiões.....	82
Figura 40 - Planta esquemática com a distribuição do EDT.....	84
Figura 41 - Gráfico do EDT por regiões.....	85
Figura 42 - Planta esquemática com a distribuição de Definição.....	86
Figura 43 - Gráfico de Definição por regiões.....	87
Figura 44 - Planta esquemática com a distribuição de Clareza.....	88
Figura 45 - Gráfico de Clareza por regiões.....	89
Figura 46 - Planta esquemática com a distribuição de STI.....	90
Figura 47 - TR médio com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Lateral Esquerda</i>	92
Figura 48 - TR médio com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Central</i>	93
Figura 49 - TR médio com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Lateral Direita</i>	93
Figura 50 - TR médio com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Fundos</i>	93
Figura 51 - EDT médio com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Lateral Esquerda</i>	95
Figura 52 - EDT médio com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Central</i>	95
Figura 53- EDT médio com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Lateral Direita</i>	95
Figura 54 - EDT médio com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Fundos</i>	96

Figura 55 - Definição média com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Lateral Esquerda</i>	97
Figura 56- Definição média com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Central</i>	97
Figura 57 - Definição média com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Lateral Esquerda</i>	97
Figura 58 - Definição média com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Fundos</i>	98
Figura 59 - Clareza média com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Lateral Esquerda</i>	99
Figura 60 - Clareza média com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Central</i>	99
Figura 61 - Clareza média com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Lateral direita</i>	100
Figura 62 - Clareza média com as três diferentes configurações de fonte, região <i>Fundos</i>	100
Figura 63 - Gráfico do STI com três distribuições de fontes.....	101
Figura 64 - Gráfico sobre qualidade sonora.....	103
Figura 65 - Gráfico de entendimento musical.....	103
Figura 66 - Gráfico do entendimento das palavras celebradas pelo padre.....	104
Figura 67 - Gráficos do entendimento das palavras dos comentários.....	104
Figura 68 - Gráfico comparativo entre várias missas.....	105
Figura 69 - Aglomeração dos fiéis nas laterais.....	105
Figuras 70 - Fiéis aglomerados na lateral, onde se observa a presença de caixas sonoras e ventiladores.....	106
Figuras 71 - Posição de sentar em função da qualidade sonora.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores de STI com a qualidade da inteligibilidade.....	32
Tabela 02 - Exemplo de TR para grandes igrejas da Europa.....	43
Tabela 03 - Desvio Padrão das médias do TR (madeira).....	60
Tabela 04 - Desvio Padrão das médias do TR e do EDT (balões).....	61
Tabela 05 - área de superfície dos materiais de composição.....	62
Tabela 06 - Coeficientes de absorção dos materiais	63
Tabela 07 - Área e coeficiente de absorção do ar.....	64
Tabela 08 - Coeficiente de Absorção de Pessoas.....	65
Tabela 09 - Distância entre cada ponto de microfone e cada fonte.....	68
Tabela 10 - Médias do TR em todas as frequências e desvio padrão.....	71
Tabela11 - Médias do EDT em todas as frequências e desvio padrão.....	73
Tabela 12 - Médias de Definição em todas as frequências e desvio padrão.....	75
Tabela 13 - Médias de Clareza em todas as frequências e desvio padrão.....	77
Tabela 14 - Desvio padrão do STI.....	79
Tabela 15 - Distância em metros.....	81
Tabela 16 - Médias do TR em todas as frequências e desvio padrão.....	83
Tabela 17 - Médias do EDT em todas as frequências e desvio padrão.....	85
Tabela 18 - Médias de Definição em todas as frequências e desvio padrão.....	87
Tabela 19 - Médias de Clareza em todas as frequências e desvio padrão.....	89
Tabela 20 - Desvio padrão do STI.....	91

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Tempo de Reverberação.....	29
Equação 02 – Definição.....	30
Equação 03 – Clareza.....	31

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICES.....	115
Apêndice A - Modelo da Entrevista com os freqüentadores –.....	116
Apêndice B – Modelo da Entrevista com os celebrantes.....	117
Apêndice C – Tempo de Reverberação com a distribuição de 3 fontes.....	118
Apêndice D –Tempo de Decaimento Inicial com a distribuição de 3 fontes.....	119
Apêndice E –Definição (D50) com a distribuição de 3 fontes.....	120
Apêndice F – Clareza (C80) com a distribuição de 3 fontes.....	121
Apêndice G – Índice de Transmissão da Fala com a distribuição de 3 fontes.....	112
Apêndice H –Tempo de Reverberação com a distribuição de 8 fontes.....	123
Apêndice I –Tempo de Decaimento Inicial com a distribuição de 8 fontes.....	125
Apêndice J – Definição (D50) com a distribuição de 8 fontes.....	127
Apêndice L – Clareza (C80) com a distribuição de 8 fontes.....	129
Apêndice M – Índice de Transmissão da Fala com a distribuição de 8 fontes.....	131

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 Justificativa.....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 Som e Arquitetura.....	20
2.2 Acústica e Arquitetura.....	21
2.3 Acústica em recintos fechados.....	22
2.4 Qualidade acústica de salas.....	24
2.5 Normas Regulamentadoras.....	26
2.6 Parâmetros de Qualidade Sonora de ambientes fechados.....	27
2.6.1 Parâmetro Tempo de Reverberação.....	28
2.6.2 Tempo de Decaimento Inicial.....	29
2.6.3 Definição (D50)	30
2.6.4 Clareza (C80)	31
2.6.5 Índice de Transmissão da fala (STI)	31
2.7 Atributos Subjetivos de Qualidade Sonora em Salas.....	32
2.8 Salas Destinadas para a Palavra Falada.....	34
2.9 Salas destinadas à Música.....	35
2.10 Salas destinadas tanto a música quanto à fala.....	36
2.11 Acústica e os Templos religiosos.....	37
2.11.1 Basílicas - Aspectos Gerais.....	40
2.10 Avaliação Acústica de Igrejas.....	42
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	46
3.1 Descrição do objeto de estudo.....	47
3.2 A pesquisa quantitativa.....	53
3.3 A pesquisa de opiniões.....	54
4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	56
4.1 Ensaios para validação da fonte.....	56

4.1.1	Resultados DE Tempo de Reverberação e Tempo de Decaimento Inicial com a fonte de madeira e com os balões.....	60
4.1.2	Resultados dos cálculos analíticos.....	61
4.2	Ensaio com Dispositivo de madeira em três pontos de emissão.....	66
4.2.1	Resultados dos Parâmetros Acústicos decorrentes da composição com 3 fontes.....	70
4.2.1.1	Tempo de Reverberação (TR).....	70
4.2.1.2	Tempo de decaimento inicial (EDT).....	72
4.2.1.3	Definição (D50).....	74
4.2.1.4	Clareza (C80).....	76
4.2.1.5	Índice de Transmissão da Fala (STI).....	77
4.3	Ensaio com Dispositivo de madeira em oito pontos de emissão.....	79
4.3.1	Resultados dos Parâmetros Acústicos.....	81
4.3.1.1	Tempo de Reverberação (TR).....	81
4.3.1.2	Tempo de decaimento inicial (EDT).....	84
4.3.1.3	Definição (D50).....	86
4.3.1.4	Clareza (C80).....	88
4.3.1.5	Índice de Transmissão da fala (STI).....	90
4.4	Comparativo das diferentes distribuições de fontes.....	91
4.4.1	Tempo de reverberação e respectivos desvios padrões.....	92
4.4.2	Tempo de decaimento inicial e respectivos desvios padrões.....	94
4.4.3	Definição e respectivos desvios padrões.....	96
4.4.4	Clareza e respectivos desvios padrões.....	99
4.4.5	Índice de Transmissão da fala e respectivos desvios padrões	101
4.5	Pesquisa de Opinião.....	102
4.5.1	Resultado da pesquisa de opinião.....	102
5	CONCLUSÕES.....	108
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

1 INTRODUÇÃO

As edificações religiosas, por sua grandiosidade e importância histórica, influenciaram fortemente a história da Arte e da Arquitetura.

O desempenho acústico de um espaço fechado, em condições normais, deve correlacionar parâmetros arquitetônicos de salas com a avaliação subjetiva da finalidade para a qual ele foi construído.

As atividades de um templo religioso católico, atualmente, são constituídas por comentários e músicas, executadas durante as missas, portanto é necessário que as duas finalidades sejam entendidas claramente.

A proposta de avaliar acusticamente igrejas traz dois aspectos relevantes: a importância da qualidade sonora em ambientes religiosos e a influência disso nos frequentadores.

É preciso considerar parâmetros de acústica de salas, que se referem ao desempenho para a palavra falada e para a música, segundo Critérios de Qualidade, como: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI).

A igreja é um local procurado por muitos na busca de conforto perante os obstáculos que a vida impõe. Outros ali se encontram para agradecer graças alcançadas. Há também as pessoas que se reúnem para a simples prática da fé, sem a necessidade de um retorno, mas sim para sentir-se com um estado de espírito elevado e paz interior. O local do culto é a união justa e o equilíbrio perfeito entre o espiritual e o material. A Arquitetura nesses ambientes deve permitir a canalização da energia, equilibrando-a com o homem que ali vai ao encontro com sua fé. (NICOLAS, 2001)

O presente trabalho analisa o desempenho acústico de uma Basílica, com arquitetura contemporânea, avaliando dados obtidos de experimentos realizados *in loco*, a partir de respostas à excitação por fonte impulsiva e de entrevistas semi-estruturadas com frequentadores e celebrantes.

O local estudado é o Santuário-Basílica de Nossa Senhora Medianeira, que se constitui num importante centro dedicado à Padroeira do Rio Grande do Sul. Essa devoção foi implantada em 1928, através do Fráter Ignácio Rafael Valle, tendo sido realizada em 1930 a 1ª Festa e, também, a 1ª Romaria. A pedra fundamental da edificação do Santuário foi lançada

em 1935, mas a conclusão dos trabalhos e a consagração do recinto apenas ocorreram em 15 de agosto de 1985. A elevação à dignidade de Basílica se deu em 31 de maio de 1987, quando o Vaticano concedeu o respectivo *status canônico*. Atualmente o ápice das celebrações acontece, durante a Romaria, todos os anos, no segundo domingo de novembro, com a participação de mais de 300 mil pessoas.

Valorizar os locais de celebração reflete o respeito e o valor que se dá para a própria crença, pois “o espaço físico não é apenas um pano de fundo, utilizado sem compromisso, incapaz de condicionar as pessoas sem que elas percebam isso”. (PAIXÃO, 1997)

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral:

Analisar a qualidade acústica, decorrente da resposta a um sinal impulsivo, de um templo católico de grandes dimensões, que apresenta arquitetura e materiais contemporâneos.

1.1.2. Objetivos específicos:

- Verificar se uma fonte impulsiva, prática e de baixo custo, pode ser utilizada para excitar um ambiente de grandes dimensões, proporcionando resultados apropriados.
- Comparar os resultados do Tempo de Reverberação e do Tempo de Decaimento Inicial medidos, com valores analíticos calculados a partir da determinação das áreas de superfícies e seus respectivos coeficientes de absorção.
- Realizar medições acústicas *in loco* para avaliar o desempenho do ambiente, decorrente do estudo de parâmetros como: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da fala (STI).
- Realizar entrevistas semi-estruturadas com os frequentadores das missas (fiéis) e celebrantes (padres, comentaristas e músicos), a fim de relacionar impressões subjetivas com os dados objetivos encontrados.

1.2 Justificativa

O estudo da acústica de recintos religiosos está intrínseco no cotidiano da população, pois, o que acontece no interior de uma igreja deve ser analisado com critério e importância, afinal, nesse local há uma perpetuação de ensinamentos e doutrinas. Portanto, essas edificações exigem que seus ambientes tenham qualidade, tanto no aspecto das palavras proferidas, quanto da música litúrgica executada.

Sempre que uma celebração, uma missa, uma oração é realizada, significa que uma mensagem é transmitida. Quando não corretamente compreendida pelos fiéis, ela perde o seu caráter, ou ainda, é interpretada de forma incorreta. Essa transmissão inadequada das mensagens interfere num ensinamento, que se perpetua ao longo dos séculos, de geração para geração.

Os propósitos dentro de uma igreja são diversos, mas todos estão interligados, pois cada religião tem sua doutrina, portanto quem a procura está buscando um ensinamento, que já é conhecido por milhares de outras pessoas. Assim, lidar com esse sentimento, que não é palpável, material, e sim está no âmbito espiritual, como: o amor, a tristeza, o agradecimento, a felicidade, a compaixão e o desespero, é muito delicado e merece um estudo criterioso para avaliar esses recintos, que abrigam e confortam essas pessoas.

Uma boa inteligibilidade da palavra proferida é necessária para ser bem compreendida pelos fiéis, mas a música também deve ser claramente percebida.

Atualmente, o recurso da eletroacústica vem sendo largamente utilizado, porém na maioria das vezes de forma inadequada, porque essa é uma área peculiar e complexa, que exige estudos específicos. Tratar acusticamente o conjunto arquitetônico para diminuir a necessidade de correções eletrônicas, por isso, é uma maneira inteligente de tornar tal ambiente ainda mais aconchegante, pois, mesmo com tais correções, se o recinto possui uma arquitetura muito desfavorável torna-se desagradável a quem nele se encontra.

Valorizar o conforto acústico de uma edificação religiosa agrega valor ao conjunto arquitetônico.

O estudo das condições acústicas de recintos religiosos vem ao encontro dos anseios da população que percebe quando não entende corretamente a celebração. A vontade de compreender os ensinamentos bem como praticá-los em sua vida leva as pessoas à elevação das exigências dentro de recintos fechados, no caso, Igrejas, pois, a maior parte dos

freqüentadores sabe da existência de estudos de Acústica Arquitetônica, almejando que ele alcance verdadeiramente seu cotidiano.

(...) o espaço é elemento cheio de significado, que reflete sempre a história e a cultura de um povo; que revela, no seu uso e na sua disposição, a relação efetiva que está estabelecida entre pessoas que nele convivem. Enfim, o espaço é um espelho no qual se faz a leitura de uma sociedade, seus valores, seu sistema social e político, seu desenvolvimento tecnológico. (LIMA et al, 1988)

A geometria arquitetônica de uma edificação religiosa possui alguns aspectos específicos, como pé-direito elevado e grandes vãos. Isso interfere diretamente na propagação do som. No início dos tempos, quando os cultos religiosos eram proferidos em latim, havia outra particularidade: o modo de execução das celebrações. Diferentemente de como é na atualidade, antigamente a missa inteira era pronunciada de uma forma cantada, semelhante aos cantos gregorianos. Portanto, a palavra era transmitida de forma alongada, isso justifica porque o tempo de reverberação era elevado, pois, naqueles casos, ele auxiliava no modo de propagação do som no interior dos recintos.

O desenvolvimento científico e tecnológico pode ser disponibilizado para auxiliar a sociedade na melhoria da qualidade de espaços físicos importantes para a sua identidade sócio-cultural, como os templos ou igrejas, independente da opção religiosa de cada pessoa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Som e Arquitetura

O arquiteto, idealizador da forma dos espaços, trabalha com um elemento básico: a superfície. As formas e materiais adotados têm influência no comportamento do som, determinando o desempenho acústico do ambiente. Por isso, o conhecimento das propriedades que influenciam na qualidade sonora do espaço é essencial para um projeto arquitetônico eficiente.

Segundo Souza et al. (2003) o comportamento do som sobre uma superfície assemelha-se ao da luz, desde que considerado que os comprimentos de ondas sonoras sejam, relativamente menores do que da luz. Assim, na maioria das vezes, a sensação sonora percebida pelo nosso ouvido é a composição do som direto (aquele que parte diretamente da fonte e chega ao receptor sem influência das superfícies) e subseqüentes reflexões sofridas pela onda sonora em um ambiente. Desta forma, as diversas reflexões reforçam o som direto. Os autores ainda destacam que, ao substituírem-se as ondas sonoras por raios sonoros, do mesmo modo que para a luz, o raio refletido tem o seu ângulo em relação à superfície igual ao de incidência, como se sua origem fosse a sua imagem em um espelho. Para isso, é necessário que a superfície refletora seja maior do que o comprimento de onda do som emitido.

O som é uma forma de energia transmitida através da colisão sucessiva das moléculas de um meio, podendo ser representado por inúmeras compressões e rarefações durante a propagação. A sensação de som ocorre apenas quando a amplitude das flutuações e a frequência com que elas se repetem estiverem dentro de determinadas faixas de valores. Gerges (1992) indicou que o ouvido humano capta as frequências na faixa de 20 a 20.000 Hz. Essas flutuações se dão por *ondas sonoras* em que cada frequência possui um comprimento de onda. A Frequência é o número de ciclos por segundo em que acontecem as oscilações de um corpo vibrante. Esses ciclos são identificados por Hertz (Hz).

O som só se propaga em meio elástico, onde as partículas do meio retornam à posição original quando cessa o distúrbio. Esse meio pode ser sólido, líquido ou gasoso, permitindo a vibração, ou seja, o movimento em torno de uma configuração de equilíbrio. Assim, no vácuo não há propagação de ondas sonoras.

2.2 Acústica e Arquitetura

A importância da acústica na arquitetura é comprovada no cotidiano das pessoas. Newman (19--) descreve que em sua essência, a arquitetura abrange, igualmente, um conjunto de edifícios destinados a uma comunidade, envolvendo todos os problemas, serviços e equipamentos necessários à vida coletiva. Predizer propriedades acústicas do campo sonoro, garantindo uma boa sonoridade, é um dos objetivos da Acústica Arquitetônica. A Arquitetura define o espaço destinado à vida do homem, envolvendo aspectos físicos, econômicos e sociais.

Desde os primórdios, percebe-se que as edificações voltadas aos cultos artísticos e religiosos, apresentavam notável aprimoramento acústico. Os teatros ao ar livre dos gregos e romanos já pontuavam a interferência de uma boa compreensão do público em relação às apresentações. Souza et al. (2003) destacam que não se sabe ao certo se houve uma real intenção acústica na elaboração desses locais, ou se a prioridade eram os efeitos visuais, porém, o que se sabe é que a partir deles uma concepção projetual foi estabelecida e aprimorada em relação ao estudo da interferência entre a Arquitetura e a Acústica.

Souza et al. (2003) consideram que a distribuição da platéia em formas semicirculares e aproveitamento da topografia foi um aprendizado herdado dos gregos, que configuravam a aproximação do público ao palco e, conseqüentemente, permitiam ao expectador maior captação sonora. A possibilidade do reforço sonoro foi observada pelos romanos, através do aumento das superfícies verticais da edificação construída atrás do palco e de reflexões laterais, situação típica das conchas acústicas.

Bistafa (2003) cita a reconhecida qualidade acústica dos anfiteatros gregos a céu aberto. Embora algumas medições de campo tenham confirmado o bom desempenho desses espaços para comunicação oral, segundo ele, a exata natureza dessa qualidade sonora percebida em tais locais ainda é um *tópico ilusório, cheio de conjecturas e opiniões conflitantes*.

Acústicos, arqueólogos e mesmo leigos concordam que o teatro grego da Antigüidade de Epidaurus, no sul da Grécia, exemplifica a qualidade acústica da estética desses espaços devido ao seu bom estado de conservação. Essas estruturas a céu aberto permitem perfeita comunicação oral para até 17.000 ouvintes, tarefa esta que para a maioria dos espaços

contemporâneos, não é possível sem os sistemas eletro-acústicos de amplificação sonora. Isto justifica a importância em analisar em detalhes a acústica destes anfiteatros da antiguidade.

Segundo Marco (1982), a Acústica Arquitetônica foca-se em duas áreas específicas em que uma é a defesa contra o ruído, em que o autor considera que qualquer tipo de som indesejável deva ser eliminado, ou amortecido. Isto se refere tanto à intromissão de ruídos alheios ao local, através das diferentes estruturas componentes de uma edificação, quanto aqueles produzidos em seu próprio interior. O outro foco da acústica arquitetônica é direcionado aos locais onde a comunicação sonora é fundamental, como salas de aula, auditórios, igrejas e teatros. Uma boa distribuição do som torna-se necessária, para preservar a inteligibilidade da comunicação, bem como a execução de uma música harmoniosa e clara, para isso as distorções acústicas devem ser evitadas.

2.3 Acústica em recintos fechados

O desempenho de um espaço fechado em condições normais, deve correlacionar parâmetros arquitetônicos de salas com a avaliação subjetiva das circunstâncias acústicas.

Makrinenko (1994) relatou que existem principalmente três aproximações teóricas aos processos em auditórios e salas de concerto; cada um com seus méritos e limitações. A primeira aproximação é a teoria estatística baseada na hipótese do campo sonoro difuso em salas. A base estatística utilizada nessa teoria são o comprimento do trajeto médio livre da onda sonora bem como o coeficiente de absorção médio.

A segunda aproximação é a teoria da acústica geométrica, essa faz uma análise mais completa da forma da sala. A acústica geométrica utiliza para a análise, a distribuição das primeiras reflexões nas superfícies da sala, que servem de importante suplemento para a teoria estatística. Em anos recentes, o método da acústica geométrica do traçado de raios e imagens das fontes, executado com o auxílio de computadores, possibilitou medir o número de propriedades acústicas da sala e sua resposta ao impulso. (MAKRINENKO, 1994)

A terceira aproximação, fisicamente a mais exata, é a teoria das ondas acústicas, que considera o volume de ar do espaço como um sistema de vibração linear com parâmetros distribuídos. O desenvolvimento da teoria das ondas conduziu a uma introspecção melhor na influência do espaço em relação ao sinal que radia nele. Entretanto, a solução analítica requerida na equação de onda é somente praticável para espaços de uma forma muito simples

e com condições de limite ideais. Nos espaços reais, que possuem formas mais complexas, dificuldades são encontradas, pois é necessário fazer uma análise completa dos detalhes da reflexão, absorção e do som que dispersa em todos os limites, bem como das propriedades físicas da fonte. (MAKRINENKO, 1994)

Méndez et. al. (1994) consideram que, de uma maneira geral,, a forma das salas responde a três geometrias básicas: retangular, leque, e ferradura. Tais formas estão esquematizadas na Figura 01.

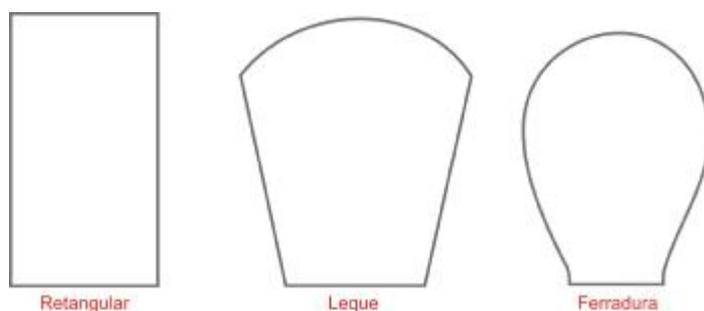


Figura 01: forma de salas
Fonte: Méndez, et al. (1994)

Segundo os autores, a forma *Retangular* é uma das mais difundidas, porém se deve ter cuidado na geometria e materiais utilizados no interior para evitar defeitos como ecos *flutuantes*, que são superfícies paralelas com baixos coeficientes de absorção, produzindo, quando excitado por um pulso (aplausos por exemplo), uma sucessão de ecos instantâneos.

A geometria em forma *Leque* proporciona uma melhor distância entre a área frontal e audiência, para igual número de espectadores. Tende a melhorar a visibilidade e audição, porém podem aparecer problemas por focalizações nas paredes posteriores, Egan (1988), explica que esse formato pode empobrecer a qualidade sonora na região central do recinto, pois as reflexões laterais podem não ter muita força, devido a grande distância, a menos que se utilize refletores aéreos para auxiliar as reflexões. Segundo o autor, a forma contrária pode oferecer reflexões laterais mais intensas aumentando a impressão espacial durante execução musical.

A forma tradicional para salas de ópera, representando uma *Ferradura*, permite abrigar muitos espectadores num espaço relativamente menor, ainda que a visão não se torne tão eficiente em todos os pontos. Exemplos são a Scala de Milan, Ópera de Paris e o Teatro Colón de Buenos Aires. Devido ao desenho com palcos e galerias essas salas geralmente resultam numa grande absorção. (MÉNDEZ et al. 1994).

2.4 Qualidade acústica de salas

A qualidade acústica de uma sala é determinada, ao longo do funcionamento, por avaliações subjetivas e objetivas das condições de desempenho do discurso e da música. Se a audiência apresentar dificuldades de compreender um discurso, ou obtiver a impressão de que a música não está clara ou ainda que apresente uma sensação ruidosa, significa que os parâmetros acústicos não estão eficientes. Esses parâmetros subjetivos estão correlacionados com medições objetivas.

Bistafa (2003) declarou que a qualidade sonora, depende de um conjunto de atributos acústicos subjetivos que venham de encontro às expectativas da experiência acústica do ouvinte. Em cada sala projetada, existe uma finalidade da qual deverá atender esses atributos. No caso, se será para música, ou para a palavra falada.

Os itens objetivos são definidos através de medições por meio de equipamentos, sendo que os resultados dessas medições estão interligadas com as condições físicas do ambiente, e é justamente esse conjunto de fatores que resultarão nas sensações percebidas pelo público ouvinte. Quando a qualidade acústica percebida não é adequada, significa que algumas indicações objetivas do campo sonoro não apresentaram bons valores, podendo melhorá-los.

Cerdá et al. (2009) estudaram a maioria dos parâmetros acústicos representativos para salas de audição verbal e musical. Os autores relatam que de um ponto de vista físico, todos os salões são áreas tridimensionais onde é possível projetar cada salão através dos parâmetros objetivos a partir das informações acústicas independentemente de sua forma, para seu uso correspondente.

Uma das primeiras avaliações para se calcular uma sala, é determinar suas dimensões. Beranek (1988), relata que uma sala é considerada grande quando suas dimensões são muito maiores que o maior comprimento de onda considerado. Ao levarmos em conta que a análise dos parâmetros acústicos na Basílica iniciam em 125 Hz, sabendo-se que seu comprimento de onda é de 2,72 metros, conclui-se que o recinto se enquadra em sala de grande dimensão, pois em seu interior encontramos distâncias de mais de 30 metros.

A existência de materiais de dispersão num recinto fechado resulta na perda da energia, redistribuindo-a para outras direções. A posição, a distribuição e a eficácia relativa das superfícies absorvedoras também influenciam no sentido do curso da energia. Quanto maior a distância da fonte, numa sala razoavelmente reverberante, o som direto torna-se mais fraco em relação ao som reverberante, isso acontece porque essas ondas sonoras já refletiram

diversas vezes nas superfícies da sala. Portanto os pontos localizados perto da fonte possuem um campo considerado relativamente melhor que os pontos mais afastados. Em ambientes de grandes dimensões, a absorção do som no ar também deve ser levada em conta. (BERANEK, 1988).

Silva (2006) definiu que os requisitos gerais necessários para que o bom desempenho acústico de uma sala ocorra correspondem a uma boa inteligibilidade do discurso, ausência da interferência de ruídos externos sobre o som de interesse, distribuição e propagação sonora uniformes, bem como tempo de reverberação adequados.

Makrinenko (1994) definiu que os salões podem ser divididos em três grupos principais de acordo com o desempenho a ser executado: salas destinadas exclusivamente ao discurso, salas destinadas exclusivamente para finalidades musicais, e aqueles para combinações de ambos, o caso de igrejas. As exigências acústicas nas salas para o discurso são definidas claramente. Já para salas destinadas à execução musical, confere-se um grau maior de complexidade. No caso de ambientes destinados à combinação de ambas, segundo o autor, é onde está a maior dificuldade, pois as exigências acústicas para o discurso e para a música não são somente diferentes, mas consideravelmente opostas.

Enquanto salas destinadas a auditórios, conferências, aulas ou peças teatrais têm como fonte sonora, a palavra falada, para salas de concerto, orquestras e óperas a fonte sonora é a música. Estas fontes se diferenciam pela potência, frequência e nível de intensidade, determinando diferentes prioridades e níveis para os requisitos acima citados. Se para a palavra falada a propagação e o decaimento sonoros são importantes, para a música, o crescimento e a seqüência das reflexões sonoras são também essenciais. O ouvinte apresenta diferentes exigências acústicas para a palavra falada e para a música. Se por um lado para a música as exigências estéticas da platéia são maiores, para a palavra falada a inteligibilidade é indispensável. A questão da inteligibilidade da palavra muitas vezes se relaciona a aspectos quantitativos, porém, para a música uma grande influência de aspectos subjetivos é encontrada. A inteligibilidade da voz humana depende da recepção clara de sons, que muitas vezes são de curta duração¹, enquanto a música apresenta sons que são sustentados por uma fração de tempo mais prolongada. (SILVA, 2006)

A voz humana possui potência limitada, chegando-se em aproximadamente 34 watts para o homem e 18 watts para a mulher, níveis sonoros de 30 dB a 60 dB e frequências entre 200 Hz e 6300 Hz são encontrados. (SILVA, 2006)

Na música, como o número e a variedade de instrumentos é maior, também a variação do nível de intensidade e de frequência é elevado, pois a fonte pode ser apenas um instrumento, ou uma grande orquestra. A intensidade pode variar de 30 dB a níveis acima de

¹ As vogais contêm mais energia, porém as consoantes, apesar de terem menos energia e duração, contêm mais informação.

80 dB e apresentar uma faixa de frequência mais larga do que quando se trata da palavra falada, dependendo do instrumento.

Com todas essas diferenças e limitações, fica claro que o alcance da palavra falada é menor do que da música, e salas apropriadas para uma, provavelmente não terá um resultado satisfatório para a outra.

Nas igrejas, os parâmetros para tornar a edificação adequada em termos de música ou palavra falada devem estar num equilíbrio, pois, não se deve levar em conta apenas o discurso, sabendo-se que nos recintos religiosos esse não é o único meio de propagação da fé.

Durante a missa, há o sermão do padre, as leituras, que exigem perfeita inteligibilidade da palavra, e a execução de músicas litúrgicas, com instrumentos variados, exigindo uma análise de todos esses fatores, para o perfil acústico de tal ambiente.

2.5 Normas Regulamentadoras

Para cada edificação projetada, existe um tipo de resultado que se deseja obter. As características acústicas recomendadas dependem da finalidade do espaço físico.

No Brasil e no exterior existem normas regulamentadoras que consideram o conforto e a segurança. As Normas Técnicas da ABNT indicam diferentes aspectos relativos ao ruído. As normas NBR 10151 e 10152 são as mais empregadas, no caso de edificações. A NBR 10151/2000, sob o título: *Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento*, tem a finalidade de fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades especificando os métodos de medição de ruído, as correções necessárias e um critério para a comparação dos níveis encontrados e estabelecidos. A NBR 10152 tem a finalidade de estabelecer níveis ideais para os compartimentos das edificações. Encontra-se em fase de redação da nova versão. A NBR 10152/87, atualmente em vigor, denomina-se *Níveis de ruído para conforto acústico*.

Para se avaliar o desempenho de uma edificação, são determinados requisitos e critérios dos usuários e avaliado por métodos como: ensaios e medições (em laboratório ou in situ), simulação por modelos matemáticos, julgamento técnico (de especialistas ou experiência acumulada) e inspeções em protótipos ou unidades construídas e habitadas. Organizações internacionais, como RILEM (Reunióón Internationale de Laboratoires d'Essais et de recherches sur les Matériaux et Constructions), ASTM (American Society for Testing

and Materials), CIB (Conseil International du Batiment) e ISO (International Organization for Standardization), possuem comitês especialmente dedicados à questão do desempenho de edificações.(PAIXÃO, 2002)

A NBR 12179/1992- *Tratamento Acústico em recintos fechados*- fixa os critérios fundamentais para a execução dos tratamentos acústicos em ambientes fechados, onde se encontra recomendações para um adequado condicionamento acústico dos recintos.

A norma ISO 6242-3/1992 *Building construction- Expression of user's requirements*- estabelece os requisitos dos usuários das edificações destacando a necessidade de: liberdade de aborrecimentos devido a ruídos intrusos, originários de dentro ou de fora da edificação; privacidade para a palavra; e qualidade acústica dentro dos espaços construídos.

Para analisar a performance acústica de salas, a norma UNI EN ISO 3382:2001 *Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters* faz recomendações sobre método de ensaio a partir da resposta integrada ao impulso. Nessa norma é especificada a quantidade de pontos de medição conforme a capacidade de pessoas numa sala. Por exemplo, para um ambiente com capacidade para mil assentos indica-se um mínimo de oito pontos de microfone para o registro do disparo impulsivo.

2.6 Parâmetros de Qualidade Sonora de ambientes fechados

Costa (2003) descreve que as condições acústicas de um recinto fechado dificilmente podem ser determinadas de uma maneira exata, porém, os resultados obtidos das principais propriedades acústicas das salas, em relação à execução sonora produzida nas mesmas (fala, música ou ambas), têm se apresentado plenamente satisfatórios.

Assim sendo os parâmetros acústicos são propriedades dos ambientes que influenciam em suas características sonoras e determinam se o desempenho para a execução ou reprodução da música ou da fala, em um determinado recinto, é eficiente ou não.

2.6.1 Parâmetro Tempo de Reverberação (TR)

O tempo de reverberação é definido como o tempo necessário para que o nível de energia sonora decaia de 60dB depois que a fonte sonora é interrompida. É um dos parâmetros mais importantes no estudo de Acústica de salas, fornecido em segundos (s).

O TR deve ser adequado, para que não afete negativamente a atividade em desenvolvimento no ambiente, pois influencia diretamente na inteligibilidade da palavra e na clareza da música.

Não é necessário que o sinal medido tenha uma faixa dinâmica de 60dB, usando-se uma escala de decibéis normalizada, basta obter a inclinação do decaimento e extrapolá-la até -60dB. Para excluir o efeito do som direto e tomar apenas a influência da reverberação, a norma ISO 3382:2001 recomenda que se ignorem os primeiros 5dB da curva de decaimento. Assim, define-se **T30** como a extrapolação para 60dB da taxa de decaimento obtida por meio de regressão linear da curva de decaimento no intervalo de -5dB a -35dB.

Para evitar influência excessiva da energia do ruído de fundo, deve-se garantir que o nível de energia esteja no mínimo 5dB abaixo do limite do intervalo considerado, ou seja, é necessário que o sinal apresente uma faixa mínima dinâmica de 40dB. Caso isto não seja possível pode-se calcular o **T20** no intervalo de -5dB a -25dB.

Nos diferentes períodos da história, as salas de apresentação de música foram mudando, por exemplo, a música sacra do período barroco era mostrada em catedrais, onde os tempos de reverberação eram muito altos e os compositores podiam contar com esse efeito na execução de suas obras. Executá-las em ambientes com baixa reverberação elimina o realismo e muda seu caráter original. (MÉNDEZ et al., 1994)

Valle (2007) destaca que analisar o TR sozinho não diz se uma sala é *viva* (muito reverberante) ou *morta* (pouco reverberante). É preciso adequar o TR ao volume da sala. Um TR de 1 segundo pode representar uma sala de 50 m³ muito *viva*, porém um ginásio de 15.000 m³ bastante *morto*. O autor indica um TR de aproximadamente 2 segundos para igrejas com características modernas, com um volume aproximado de 12.000 m³ que é o caso da Basílica da Medianeira. Esse índice de 2 segundos também é verificado na NBR 12179/1992, conforme ilustra a Figura 02.



Figura 02: Tempos de Reverberação recomendados para igrejas
Fonte: NBR 12179/1992.

O TR pode ser obtido através de cálculos numéricos ou através de medições com equipamentos adequados. A equação mais conhecida para o cálculo do TR foi desenvolvida pelo grande pioneiro da moderna acústica de salas, o físico norte-americano Wallace Clement Sabine, pioneiro no estudo da acústica de salas que determinou empiricamente uma relação para o tempo de reverberação, levando em consideração o volume da sala (V) e a área de absorção da sala ($A = \sum \alpha S$). A equação 01 é conhecida como a fórmula de Sabine, onde a absorção da sala é dada a partir do somatório da área de cada material (S) multiplicada pelo seu respectivo coeficiente de absorção (α).

$$TR = 0,161 \frac{V}{\sum A} \quad \text{Equação 01}$$

Onde: V é o volume do ambiente em (m^3);

A é a absorção total (m^2)

2.6.2 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Índice semelhante ao TR, também fornecido em segundos (s), considera apenas os primeiros 10 dB de decaimento da curva, sendo relacionado mais com a percepção do ouvinte

do que com as propriedades físicas da sala, por isso no aspecto subjetivo ele pode ser considerado mais importante.

Bottazzini e Bertolli (2008) em sua pesquisa sobre as características arquitetônicas e a qualidade acústica das igrejas barrocas mineiras mostram que o EDT quando possui um tempo menor que o TR, a sensação de reverberação é diminuída, e a situação contrária, ou seja, o EDT maior que se próprio TR aumenta a sensação de reverberação. Essas características influenciam no conceito de qualidade acústica do ambiente. A maior presença de superfícies reflexivas aumenta o EDT, conseqüentemente, aumentando a sensação de reverberação pelo ouvinte. Na mesma pesquisa, os autores perceberam o quanto a característica arquitetônica influencia sobre a qualidade sonora num ambiente.

2.6.3 Definição (D50)

Definição é a razão logarítmica entre a energia do intervalo inicial do som e a energia total contida no sinal. A Definição é utilizada para avaliar o grau de perspicuidade da sala (para fala ou para música). Pode-se utilizar tanto os primeiros 50 ms quanto os primeiros 80 ms, o que varia é a finalidade da sala. Quando se quer avaliar a definição das palavras de um discurso em determinado ambiente, utiliza-se 50 ms, quando a avaliação é para música, utiliza-se 80 ms.

Esta pesquisa utilizou Definição em 50 ms, e os resultados apresentados nesse parâmetro são referentes à fala. É calculada a partir da resposta impulsiva através da equação 02 e seu resultado é fornecido em percentagem, portanto, quanto mais próximo de 100%, melhor é a Definição de um discurso em determinado ambiente.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad \text{Equação 02}$$

2.6.4 Clareza (C80)

Parâmetro que define a inteligibilidade das articulações das notas musicais, determinado pela razão da energia da resposta impulsiva que chega ao ouvinte nos primeiros 80 ms e a energia total que chega após 80 ms. Dessa forma, quanto menor a energia do som

que chega após este limite, maior clareza sonora apresenta a sala. Se a clareza for muito baixa, as partes rápidas da música não serão mais inteligíveis. Se não houver nenhuma reverberação em uma sala seca, a música estará muito clara e o C80 terá um valor positivo alto.

Se a reverberação for grande, a música será obscura e o C80 terá um valor negativo relativamente alto. C80 vai a 0 dB se o som inicial é igual ao reverberante, o que é suficiente para uma boa clareza em grandes salas de música. Quando a música tocada numa sala soa bem definida, com articulações sonoras límpidas e precisas independentemente do curso, diz-se que a sala apresenta bom grau de clareza. O manual explicativo do programa computacional dB Bati (01 dB, 2000), indica como ideal para música um valor médio em torno de -2 dB a +2 dB.

Valle (2007) determina que os valores de Clareza podem variar dependendo do tipo de música, sendo que o autor indica -2 dB a +2 dB para instrumentos de sopro, incluindo órgão, tocando melodias com notas longas. A música clássica e sinfônica como instrumentos de cordas e corais, onde pode-se enquadrar a Basílica da Medianeira, permite uma música mais rápida que a anterior aceita valores entre 0 dB a +4 Db. Já para os instrumentos de cordas puxadas, música popular, música religiosa contemporânea, jazz leve, estilos com notas mais rápidas aceitam índices entre + 2 dB a +6 dB. O autor relata que níveis entre +4 dB a +8 dB são adequados para instrumentos de percussão, rock'n roll inclusive em igrejas onde se executam esses estilos musicais. Valores superiores a 8 dB não são recomendados.

A resposta para Clareza é calculada a partir de técnica impulsiva, através da equação 03, e seu valor é fornecido em decibel.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad \text{Equação 03}$$

2.6.5 Índice de Transmissão da fala (STI)

O índice STI é um critério objetivo que caracteriza a inteligibilidade do discurso. Este índice é obtido com resposta impulsiva e é fundamentado na transferência de modulação da frequência, para a faixa de oitavas de 125 Hz a 8 kHz, cobrindo a escala de frequência do

discurso. É um indicador que relaciona na medição todas as causas possíveis de alterações do bom entendimento da palavra, como alto tempo de reverberação e ruído de fundo. Seu resultado é um número global que vai de 0 a 1, onde se tem uma escala com faixas de valores e o significado em termos de qualidade acústica. A Tabela 01 apresenta essa escala.

Tabela 01 Valores de STI com a qualidade da inteligibilidade

STI	Inteligibilidade
0 – 0,3	Ruim
0,31 – 0,45	Pobre
0,46 – 0,6	Razoável
0,61 – 0,75	Bom
0,76 - 1	Excelente

Fonte: dB Bati (01 dB, 2000)

2.7 Atributos Subjetivos de Qualidade Sonora em Salas

Acústica é ciência, música é arte. Para a obtenção de um bom trabalho acústico é necessário que se faça uma correlação da ciência com a arte. Uma relação dos resultados objetivos permite analisar as sensações subjetivas. (BISTAFA, 2003)

Bistafa (2003) e Figueiredo et. al. (2004) relatam a correlação entre a avaliação dos parâmetros objetivos com as avaliações subjetivas, dentre as quais os autores destacam terminologias adotadas pelos profissionais de Música como por exemplo *Vivacidade* que se correlaciona com o TR e EDT. Os profissionais costumam citar que uma sala reverberante é dita *viva*, quando possui um TR mais elevado favorecendo a execução musical enquanto que uma sala pouco reverberante é dita *morta* ou *seca* sendo essa preferível para o discurso.

Outra terminologia citada pelos autores denomina-se *Calor* e se refere, entre outros parâmetros, com o Tempo de Decaimento Inicial (EDT). A *Clareza* é um parâmetro subjetivo que se relaciona com o parâmetro objetivo de mesmo nome, ou seja, *Clareza*. Indica a abrangência que diferentes notas musicais são percebidas distintas e isoladas no início das passagens musicais. *Timbre* é o único parâmetro subjetivo que não possui, até o momento, um índice objetivo que possa expressar uma correlação. O timbre de determinado instrumento é caracterizado pelo número e pela intensidade dos harmônicos. Uma mesma nota musical tocada em diferentes instrumentos possui timbres distintos. O timbre dos instrumentos não deve ser alterado pela sala. Quando isto ocorre, diz-se que a sala introduz *colorido* ao som.

Farina (2001) correlacionou valores experimentais com avaliações subjetivas em teatros. Na pesquisa, foram executadas medições objetivas e entrevistas para capturar a opinião com profissionais de música. Os resultados foram comparados e analisados estatisticamente com o intuito de preparar um questionário eficiente para se realizar uma correlação entre os dados. O autor concluiu que os questionários podem dar um interessante conhecimento sobre a percepção das pessoas em determinados ambientes, mas concluíram que ainda é necessário aprimorar os questionários para fornecer respostas aprofundadas.

Bistafa (2003) declarou que os índices acústicos tradicionais utilizados para caracterização de salas tais como o tempo de reverberação tem se revelado insuficiente no sentido de atender às dimensões subjetivas julgadas mais importantes. Em seu trabalho, o autor relaciona parâmetros objetivos que interferem em atributos subjetivos de salas, as quais ele classifica como *Salas de Audição Crítica*. O cálculo dos índices objetivos é feito a partir da resposta impulsiva da sala.

A resposta impulsiva é um registro de pressão sonora em determinado ponto de um ambiente fechado. A Figura 03 mostra a resposta impulsiva típica obtida em uma das medições na Basílica.

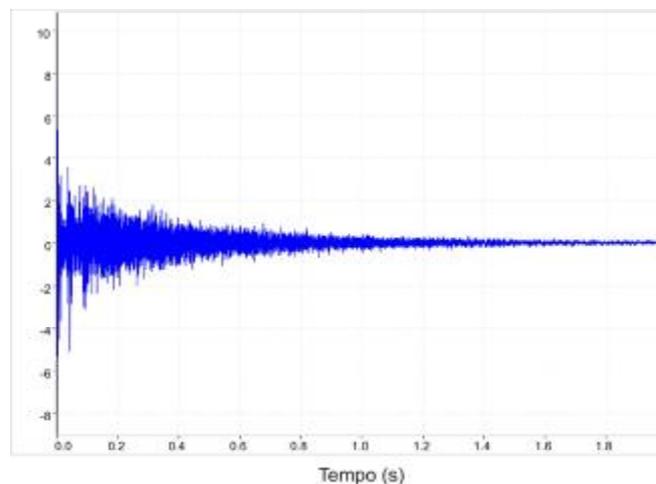


Figura 03 Resposta impulsiva de uma das medições na Basílica
Fonte: autora.

Analisando a resposta impulsiva, tem-se o som direto, as primeiras reflexões e as várias reflexões subseqüentes do decaimento reverberante. As primeiras reflexões, que atingem o observador logo após o som direto, são responsáveis pela criação de importantes atributos subjetivos característicos da sala. O decaimento reverberante caracteriza o espaço acústico como um todo.

A resposta impulsiva enquadra-se nos *Testes Padrões de Reflexões* citado por Makrinenko (1994), onde o autor relata a importância desses testes para analisar as propriedades acústicas das salas. Esses *testes padrões* são determinados pelos níveis e o tempo de atraso das reflexões em relação ao som direto, assim como o sentido da chegada no ponto da recepção. Eles têm uma influência decisiva na questão da qualidade da percepção do discurso e da música. Trata-se de um efeito local e está relacionado aos parâmetros arquitetônicos do recinto: dimensões, forma e os revestimentos das superfícies internas. O desenvolvimento de métodos de medições acústicas usando técnicas computacionais tornou possível investigar em detalhes os padrões das reflexões sonoras das respostas do impulso da sala.

Obtendo-se os valores objetivos necessários, pode-se realizar uma correlação com parâmetros subjetivos, conhecendo as características arquitetônicas do ambiente e suas especificidades, tornando possível delinear-se os aspectos que colaboram, ou não, no âmbito da acústica, propondo melhorias. (BISTAFA 2003)

2.8 Salas Destinadas para a Palavra Falada

A percepção da fala em salas é considerada principalmente na informação contida no sinal de um discurso. O fator subjetivo principal que determina a qualidade da palavra falada em uma sala é a sua inteligibilidade, que é avaliada como a porcentagem de sons corretamente ouvidos durante o discurso. Dentro de uma edificação, um dos índices que influencia fortemente a inteligibilidade é o *Tempo de Reverberação* (TR).

Carvalho (1995) em sua pesquisa sobre a utilização das equações de Sabine e Eyring para o tempo de reverberação em igrejas analisou o efeito dos recessos encontrados nos recintos religiosos como a área do altar mor, capelas e corredores laterais, cada uma possuindo um comportamento acústico em particular, sendo que ele os denominou de *espaços acoplados*. Aqueles recessos encontrados somente agem como espaços acoplados se seu comprimento/largura $> 0,6$ ou a largura do corredor/ altura $> 0,4$ nos corredores laterais. Na pesquisa, um novo algoritmo para aplicação da equação de Sabine em igrejas foi desenvolvido produzindo uma média de 16% de diferença entre o estimado e a medição de TR's comparadas aos 71% utilizando o padrão da equação de Sabine. Espaços acoplados produzem um coeficiente de absorção dependendo de suas dimensões. As diferenças

encontradas entre os TRs medidos e os estimados com seu novo algoritmo está sendo chamado de *efeito reverberante do teto*, que estima-se ser devido a um campo de reverberação sonoro bidimensional que surge quando o pé direito é muito alto.

As igrejas possuem formas particulares diferenciadas, com suas capelas, e adornos, porém, a Basílica da Medianeira, objeto do presente estudo, já possui uma concepção diferente, embora mantenha algumas características da igreja Católica tradicional, como as *capelas laterais*, que remetem aos recessos encontrados nas clássicas catedrais.

Fernandes (2000) confirmou a importância do TR avaliando a inteligibilidade acústica de uma igreja por métodos subjetivos e analíticos, declarando em sua pesquisa, que um ambiente acusticamente adequado para a palavra pode depender de inúmeros parâmetros, porém todos eles podem ser resumidos em um único que é a inteligibilidade.

2.9 Salas destinadas à Música

Diferentemente da sala de conferências, onde a reverberação dever ser reduzida, numa sala destinada à música, certa reverberação é necessária, para garantir o desempenho acústico que o ouvinte espera ao escutar uma composição musical. Nesse caso, considera-se que a superposição no tempo de sons que a reverberação propicia é avaliada favoravelmente pelo ouvinte na apreciação de música.

Makrinenko (1994) relata que nos salões destinados aos desempenhos musicais uma longa reverberação é necessária para realçar a impressão espacial da música. As exigências para as reflexões são mais complexas que nos auditórios para o discurso. No caso da inteligibilidade do discurso, a intensidade das reflexões são fatores positivos significativos, desde que tratados corretamente, pois pode colaborar na amplificação natural da energia de um discurso, diminuindo a necessidade de recursos eletrônicos. Porém deve-se ter muito cuidado nas superfícies refletoras, pois elas podem aumentar a reverberação quando não corretamente projetadas, pois no discurso o tempo de reverberação ideal não pode ser alto. Entretanto, para a música isto pode ser indesejável porque um TR abaixo do ideal resultará no aumento da clareza e numa impressão espacial reduzida.

Malafaia E Tenenbaum (2000), realizaram um estudo psicoacústico dos parâmetros utilizados para caracterizar a qualidade acústica em salas de concerto. Segundo eles, a avaliação da qualidade acústica das salas destinadas à música se prende ao sentido da audição

e à maneira pela qual a mente percebe o som ou, mais especificamente, a música, dando-lhe significado e apreciação estética.

Mesmo as edificações voltadas apenas para a execução musical exigem conceitos construtivos distintos, devido à diversificação de estilos musicais existentes. Por exemplo, a acústica das casas de ópera difere dos salões de concerto, pois a ópera requer mais claridade e inteligibilidade do que a música orquestral. Farina, Tronchin e Tarabusi (2004) ressaltam que as diferentes formas de uma edificação para a outra, mesmo apresentando tempo de reverberação semelhantes, causam comportamento acústico adversos, pois a distribuição da energia é diferenciada.

2.10 Salas destinadas tanto a música quanto à fala

A solução acústica de um salão multi-uso depende da capacidade de pessoas e o tipo de programa que será executado. O Tempo de Reverberação deve ser relativamente curto, para que não afete negativamente no discurso. Já no ambiente destinado à execução musical, o efeito de um tempo de reverberação maior é adequado, contribuindo em muitos casos com a qualidade musical influenciando na claridade e a impressão espacial.

Makrinenko (1994) relata duas aproximações para um salão *multiuso*. A primeira requer o recurso da eletro-acústica. Neste caso, o TR é fornecido de acordo com as exigências do discurso e do cinema. O controle do atraso e do nível sonoro dos alto-falantes, é possível com a localização correta das fontes principais. Com o auxílio do reforço sonoro localizado nas paredes laterais da sala, é possível simular reflexões laterais importantes para a execução musical.

A segunda aproximação relatada pelo autor é baseada em utilizar as características arquitetônicas com a finalidade de colaborar acusticamente com o ambiente. Isto envolve adicionar absorção sonora em que a reflexão naquele local prejudicaria, bem como a variação de volumes. Variando a superfície absorvedora se controla o TR da sala. O volume e o forro da sala são escolhidos para proporcionar um TR recomendado para música. As superfícies são construídas de modo que auxiliem nas reflexões diretas para ouvintes, que influenciarão na claridade, e outras que criem reflexões dispersas não-direcionais para aumentar a difusidade.

O objeto de estudo desta pesquisa - uma Basílica- está inserido no estilo de salas *multiuso*, pois, numa igreja o ponto fundamental que as caracteriza é que se executam os dois aspectos para a propagação da fé, que é a palavra falada, e a música.

2.11 Acústica e os Templos religiosos

Os cultos artísticos e religiosos eram de grande importância para os povos da Antigüidade e seus abrigos servem de referencial para estudos até hoje. Nos teatros ao ar livre dos gregos e romanos, para um público de milhares de pessoas, era possível entender as palavras e/ou músicas sem recursos eletroacústicos, que não existiam naquela época.

Na Idade Média, com a expansão do Cristianismo, quase um milênio se passou sem que o teatro fosse desenvolvido como tipologia arquitetônica. Assim, o que melhor retratava as funções acústicas do espaço não era mais o teatro, mas sim as igrejas. Não há comprovação de que houve uma real intenção acústica na elaboração desses locais, ou se a prioridade eram os efeitos visuais, porém, sabe-se que, a partir deles, estabeleceu-se e aprimorou-se uma concepção de projeto em relação ao estudo da interface Arquitetura/Acústica (SOUZA, 2003)

Durante as perseguições romanas, os primeiros cristãos foram constrangidos a se congregarem em casas ou nas catacumbas. Quando obtiveram a liberdade (...), eles escolheram para suas igrejas edifícios altos, ricos e imponentes. Em Roma, podem ser visitadas algumas das mais famosas basílicas. (...) Essas basílicas cristianizadas constituíram o ponto de partida do estilo românico. Neste, o teto plano foi substituído pelos arcos de meio ponto que nos remetem à abóbada celeste. (ROSE, 2006)

O Concílio de Trento (1545/1563), no que se refere às edificações para cerimônias católicas, dispôs que o coro e os instrumentos ficassem acima do nártex, que é uma galeria ou pórtico interior à entrada de uma igreja. Nos templos da Antigüidade, nessa área de entrada emanavam os penitentes, pecadores, loucos e mulheres que não eram admitidos dentro da igreja. Com essa decisão os músicos e coristas não seriam visíveis, porque a finalidade era que frequentassem as missas como fiéis, e não como artistas. Essa posição dos coristas, no entanto, influenciava a acústica do ambiente, pois seus cantos transcendiam como vozes de

anjos, que localizados estrategicamente no andar de cima, levavam o som a reverberar nas abóbadas, proporcionando esse efeito.

O desenvolvimento dos arcos, criados pelos romanos permitiu a diminuição do número de colunas. Esses imponentes edifícios, anteriormente destinados ao poder público, com seus espaços internos amplos, foram sendo adotados como espaço para os serviços religiosos. Sendo assim, a basílica, antes utilizada para atividades da corte e comércio, passou a ser o local para as manifestações litúrgicas.

Construídas com materiais acusticamente reflexivos (pedra), seus grandes volumes e suas superfícies deixaram lições importantes. As igrejas medievais são exemplos de ambientes com grande sobreposição sonora. Influenciaram o próprio desenvolvimento da música, já que a forma de se obter um melhor desempenho acústico de seus espaços internos é emitir o som mais pausadamente, para que ele se torne mais compreensível. (SOUZA, 2003)

Em locais sob a influencia bizantina, a presença da cúpula serve-nos como exemplo de superfícies que causam ocorrência de uma focalização sonora. A Figura 04 apresenta a cúpula da Hagya Sofia, representante Bizantina, localizada em Istambul, Turquia.



Figura 04: Hagya Sofia, representante Bizantina
Fonte: <http://www.pesk.org.pl/podroze/wschod/turcja06.jpg>
Acesso em 02/10/2007

No estilo Gótico (1100-1600), o arco ogival, libera as paredes do peso da cobertura. O edifício se torna cada vez mais alto, aumentando o caminho percorrido pelo som e provocando percepção de fenômenos como a reverberação. A Figura 05 representa a Catedral

de Notre Dame, onde o interior mede 127,50 m de comprimento, atingindo 32,50 m de altura sob as abóbadas.



Figura 05 Catedral de Notre Dame- exemplo de arquitetura gótica
Fonte: http://z.about.com/d/cruises/1/0/E/R/3/notre_dame_paris007.jpg
Acesso em 02/10/2007

Com o Renascimento, elementos clássicos e formas rigorosamente proporcionais são reintroduzidas. A Figura 06 mostra a Basílica de São Pedro. Com sublime e harmônica grandiosidade do maior templo cristão cujo comprimento total equivale a 210 metros (136 metros de altura da cúpula). A valorização da literatura e da arte, nesse período, torna-se elemento apropriado para a revitalização dos teatros.



Figura 06: Interior da Basílica de São Pedro – representante do Renascimento
Fonte: http://www.gustavobonato.com/fotos/albums/userpics/10001/normal_roma-49.JPG
Acesso em 30/10/2007

Nicolas, 2001 faz referência ao recinto religioso como um verdadeiro espaço acústico, o lugar onde os cantos sagrados da tradição cristã se desenvolvem. Ele é um amplificador sonoro que faz as cordas internas de cada ser vibrarem. Para o autor o som é uma estrutura de qualidade para levar o homem a um equilíbrio normal ou fazer passar seu ser para um estado anormal, ou seja, em direção a um novo nível de consciência na escala da elevação espiritual.

2.11.1 Basílicas - Aspectos Gerais

Basílicas são igrejas consideradas notáveis pela veneração que lhe devotam os fiéis, por sua importância histórica e pela magnificência artística de sua construção.

Na enciclopédia Católica, tem-se como Basílica o significado de estilo arquitetônico de uma igreja ou seu status canônico. Em se tratando de estilo arquitetônico, designam-se construções cuja grandiosidade e beleza são significativas, exigindo-se características especiais, onde suas grandes representantes são as basílicas de Roma. No caso do status canônico, refere-se à uma concessão formal às mais importantes igrejas, concedendo um caráter honorífico e privilégios especiais.

Nesse sentido, estão divididas em duas classes: basílicas maiores e menores. Quatro grandes igrejas de Roma classificam-se em Basílica-maior: (São Pedro, São João de Latrão, Santa Maria Maior e São Paulo fora dos muros). Representando as maiores províncias eclesiásticas do mundo, essas basílicas também são chamadas de patriarcais, simbolicamente unidas no coração da Cristandade.

As basílicas menores, em número muito maior, incluem nove ou dez diferentes igrejas em Roma e outras como: a Basílica de N. Sra. Aparecida (Aparecida do Norte, SP- Brasil) e a Basílica do Círio de Nazaré (Belém/PA/Brasil). A Basílica da Medianeira enquadra-se em basílica-menor.

A Basílica da Medianeira é classificada como Santuário Basílica de Nossa Senhora Medianeira. Como Santuário, classifica-se como uma igreja que é um centro de peregrinações por motivo de devoção a Deus ou a seus santos. A devoção cultivada nessa igreja suscita grande veemência do povo, a ponto de ele vir em peregrinação até mesmo de lugares distantes. (STEFFEN, coord., 2005). *O Stema Pontifício*, que é um símbolo das igrejas com título de Basílica concedido pelo Vaticano pode ser observado sobre a porta principal de entrada da Basílica da Medianeira. A Figura 07 representa a imagem desse símbolo.



Figura 07: Stema Pontifício concedido pelo Vaticano
Fonte: autora

Profundas reformas na Igreja Católica foram promovidas pelo Concílio Vaticano II (1961-1965), onde se destaca o uso da língua nacional na liturgia da missa.. Essa alteração somada à crescente participação dos fiéis nas celebrações foram responsáveis pelas mudanças

nos costumes e no uso desses ambientes, tanto no que se refere à execução de músicas como na prática da oratória.

As formas mais complexas consistem de um número de espaços unidos. O design acústico das igrejas, com essas formas complexas, envolve considerações das propriedades acústicas de cada ambiente separadamente assim como das combinações. Afinal, as áreas para o órgão e o coro requerem um espaço para a geração de música; o altar deve prover condições ótimas para o serviço falado; a nave e os transeptos requerem propriedades de ambientes para ouvir tanto o sermão quanto à música; e todos os espaços da igreja necessitam arredores quietos que conduzem a uma meditação e prece sem distúrbios. (LABCON, 2002)

2.11.2 Avaliação Acústica de Igrejas

A avaliação acústica de igrejas depende de muitas variáveis, o que a torna complexa e de difícil comparabilidade com outros trabalhos, como citam Martellotta et al. (2008). Segundo os autores, os aspectos característicos das igrejas como variabilidade das formas e dimensões, complexidade espacial e modificações ocorridas ao longo dos séculos, induzem os pesquisadores a adotar diferentes métodos de medição. Essa é uma das maiores fontes de incertezas e barreira na comparação entre diferentes investigações desta natureza.

Carvalho et al. (1997) relatam relações estatisticamente significantes entre a inteligibilidade da palavra e os critérios objetivos analisados em igrejas. Entre elas, as características arquitetônicas, como por exemplo, o pé direito elevado que exerce forte influência. Um dos melhores ajustes para a inteligibilidade do discurso é o parâmetro objetivo TR, que pode ser um bom indicativo da qualidade para o discurso de um ambiente.

O grande volume propicia o aumento da reverberação e as paredes posteriores (que geralmente correspondem à fachada das igrejas) lisas e reflexivas, causam o excesso de reflexões indesejáveis nessa área. As clássicas correções acústicas, baseadas em aumentar a absorção sonora, trabalhando nas superfícies e volumes, não são facilmente adaptáveis em igrejas, devido ao anseio das autoridades e responsáveis em não prejudicar o aspecto histórico numa edificação desse tipo.

Farina et. al. (1992) enfatizam esse conceito alegando que além do alto tempo de reverberação, outros problemas podem contribuir na baixa inteligibilidade de igrejas, como a

carência de reflexões laterais harmoniosas e propícias, que podem ser trabalhadas distribuindo melhor o som e reforçando o sistema sonoro.

Carvalho (2003) apresentou o projeto para o novo Santuário de Fátima, concluído em 2005, onde o volume final atinge 130.000m³ abrigando em dois modelos de congregação, um para 3.000 pessoas e outro para 9.000 pessoas. Nesse trabalho o autor proporcionou exemplos de valores de TR para 500 Hz, em algumas das maiores igrejas do mundo, apresentados na Tabela 02.

Tabela 02: exemplo de TR para grandes igrejas da Europa

Igrejas	Cidade	País	Volume (m³)	TR (s)
Basílica de São Pedro	Roma	Vaticano	700.000	7
Catedral de São Paulo	Londres	UK	152.000	10,7
São João em Laterano	Roma	Itália	150.000	6,2
Klosterkirche	Ottobeuren	Alemanha	130.000	6,5
Igreja Marien	Lubeck	Alemanha	100.000	5,5
Basilica Mariacka	Gdansk	Polônia	97.000	11,4
Cathedral	Dresden	Alemanha	44.000	7,9

Fonte: Carvalho, 2003.

Os dados relacionados por Carvalho (2003), ressaltam que, apesar do volume influenciar no TR, ele não é a única característica atenuante do aumento deste índice, pois algumas igrejas menores possuem valores de TR maiores. Botazzini e Bertoli (2006) estudando reverberação em Igrejas Barrocas de Ouro Preto, observaram que a forma exerce grande influência no aumento ou diminuição do TR e EDT.

Com o intuito de trabalhar na absorção sonora, a influência dos bancos das igrejas pode ser significativa pois ocupam grandes áreas nestes recintos. Um estudo realizado por Martellotta e Cirillo (2008), cita a escassez e inclusive contrariedade das características desses bancos, na real influência sobre a absorção sonora de uma igreja. Diferente tipos de bancos, com variados materiais de composição e modelos, foram analisados em uma câmara reverberante medindo os coeficientes de absorção dos blocos com relações diferentes de área. A presença de estofamento melhorou propriedades de absorção, porém os autores concluíram

que é necessário realizar mais pesquisas a fim de compreender melhor as variadas características desses elementos e sua influência na absorção sonora.

Com isso, observam-se as dificuldades existentes em comparações de ensaios realizados em igrejas, pois, apesar de existir um estilo arquitetônico prévio que ao menos antigamente todas as igrejas levavam em conta no projeto arquitetônico, dificilmente se encontrará uma edificação igual à outra, pois seus materiais de composição internos são diferentes, mesmo quando pertencentes ao mesmo estilo arquitetônico e a mesma religião.

Basílicas são edificações religiosas que representam imponência. Para dar esse sentido ao conjunto arquitetônico, tais construções têm como uma das principais características as grandes dimensões, com pé-direito extremamente elevado e espaço com capacidade de abrigar um expressivo número de pessoas. Essas características influenciam no desempenho das propriedades acústicas dentro desses recintos.

Santos et. al (2005) numa análise da qualidade acústica de templos religiosos, constatou sérios problemas acústicos refletindo na má qualidade da inteligibilidade por parte dos ouvintes. Isso ocorre devido a uma perturbação gerada entre os sons emitidos tanto pela platéia, quanto por quem está discursando e principalmente pela relativa interferência dos ruídos externos sofridos por estes recintos, já que todos os templos estão localizados em vias de tráfego de veículos. Com esse agravante, os templos, em sua maioria, recorrem à instalação de amplificadores de som em seu interior. Sem o devido cuidado na sua utilização e distribuição, ruídos intensos causando desconforto nos fiéis podem ser uma consequência indesejável.

Desarnaulds et al. (2001) estudaram os efeitos dos púlpitos com refletores que podem remover a energia sonora tardia resultada de um alto pé-direito, resultando num efeito benéfico, principalmente para os ouvintes situados em distâncias médias do púlpito. A eficácia desse material só diminui tornando-se desfavorável quando a altura do pé direito é menor que 10 metros ou quando a distância entre o ouvinte e a fonte sonora é muito grande.

Outro parâmetro importante na avaliação acústica em ambientes é o STI, relacionado à inteligibilidade do discurso em um espaço levando-se em conta as interferências que podem atrapalhar no perfeito entendimento do discurso. Muller (2005) descreveu os conceitos fundamentais do STI, relatando que ele não é o principal fator na análise e predição da inteligibilidade em lugares que sofrem ruído de fundo e acústica de sala carente, mas é objetivo e certamente um bom indicador de problemas que comprometem o entendimento. Embora possa falhar fatalmente em situações extremas e um tanto atípicas, ele geralmente

tem uma correlação satisfatória com a inteligibilidade de fato confirmar no ambiente pesquisado.

Nos exemplos citados ressalta-se a preocupação dos profissionais e pesquisadores em estudar a qualidade acústica de templos religiosos. Estudos englobam diferentes tipos de medições bem como análise de variados parâmetros referentes à qualidade acústica de salas.

O Tempo de Reverberação é um influente indicativo sobre as condições acústicas nos recintos, porém não é o único. Outros índices como Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da fala (STI) estão sendo largamente estudados e correlacionados com as características arquitetônicas dos recintos para a possibilidade de diagnosticar se um ambiente está adequado para suas finalidades propostas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atender aos objetivos do presente trabalho, a obtenção dos resultados foi decorrente de um estudo experimental, com abordagem quali-quantitativa. Adotaram-se medições e entrevistas *in loco*, atendendo às questões objetivas e subjetivas da pesquisa, respectivamente. Essa pesquisa, a partir dos critérios recomendados por Gil (2002), pode ser classificada como *exploratória e explicativa*.

O trabalho, que tem como objetivo analisar a qualidade acústica da Basílica de Nossa Senhora Medianeira, foi dividido em cinco partes.

A primeira parte constituiu-se numa medição inicial, realizada com a finalidade de validação da fonte sonora a ser empregada no trabalho e realizada com pontos aleatórios para a emissão e a recepção do sinal. Foram totalizadas 32 medições nesse ensaio, sendo que oito disparos impulsivos com os balões (um em cada ponto) e vinte e quatro com o dispositivo de madeira, onde se disparou o sinal três vezes em cada ponto, para garantir a repetibilidade dos resultados.

Após validar a fonte, era necessária uma segunda etapa, onde os valores obtidos passassem por uma cuidadosa análise, que permitisse verificar o comportamento dos parâmetros a serem estudados no trabalho. Para isso a fonte foi colocada em três pontos em frente ao presbitério, isto é, em posições frontais aos dezesseis pontos de captação do sinal. Nesse ensaio totalizou-se 144 medições (3 disparos em cada ponto, para cada posição de fonte).

A seguir, houve a execução dos levantamentos das respostas da Basílica à excitação da fonte locada em oito pontos próximos aos alto-falantes existentes no local, ou seja, nas laterais e no fundo, além dos pontos frontais. Os pontos de captação do sinal permaneceram os mesmos da etapa anterior. Totalizou-se 384 medições nesse ensaio (3 disparos em cada ponto, para cada posição de fonte).

O trabalho prosseguiu com a comparação entre os resultados das etapas dois e três, ou seja, medições com a fonte em posições somente frontais e envolvendo localizações distribuídas também nas laterais e no fundo da Basílica.

As medições dos parâmetros, bem como as avaliações do ruído de fundo, ocorreram em horários nos quais não há missa, mas o local encontra-se aberto para visitação.

Ao final das missas, houve a aplicação de uma pesquisa de opinião entre os freqüentadores, a fim de detectar-se a relação entre os parâmetros medidos e a sensibilidade de quem utiliza o ambiente.

O trabalho foi finalizado com a análise de todo o material coletado, produzindo conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

3.1 Descrição do objeto de estudo

Como se trata de uma edificação contemporânea, o padrão diferencia-se do tradicional, onde sua fachada apresenta elementos modernos e a composição interna não é caracterizada por ornamentos rebuscados. Assim, adornos em madeira entalhada, característicos das igrejas católicas, não estão presentes no ambiente em estudo. A figura 08 ilustra a fachada exterior e a figura 09 apresenta uma vista do presbitério.



Figura 08: Vista externa da Basílica.



Figura 09: vista do Presbitério

A edificação possui capacidade de alojar 900 pessoas confortavelmente sentadas, podendo dobrar a sua capacidade de receber público, caso sejam incluídas pessoas em pé nos imensos espaços vazios existentes no ambiente. O projeto arquitetônico mostra que a planta possui geometria em forma de *leque*, um dos formatos básicos citados por Méndez et al. (1994), que afirma ser um dos desenhos que geram melhor visibilidade e audição, desde que haja cuidados na escolha dos materiais, evitando reflexões na parede posterior. Essa geometria espacial justifica-se por representar um sino, quando visualizada em planta, apresentada na Figura 10.

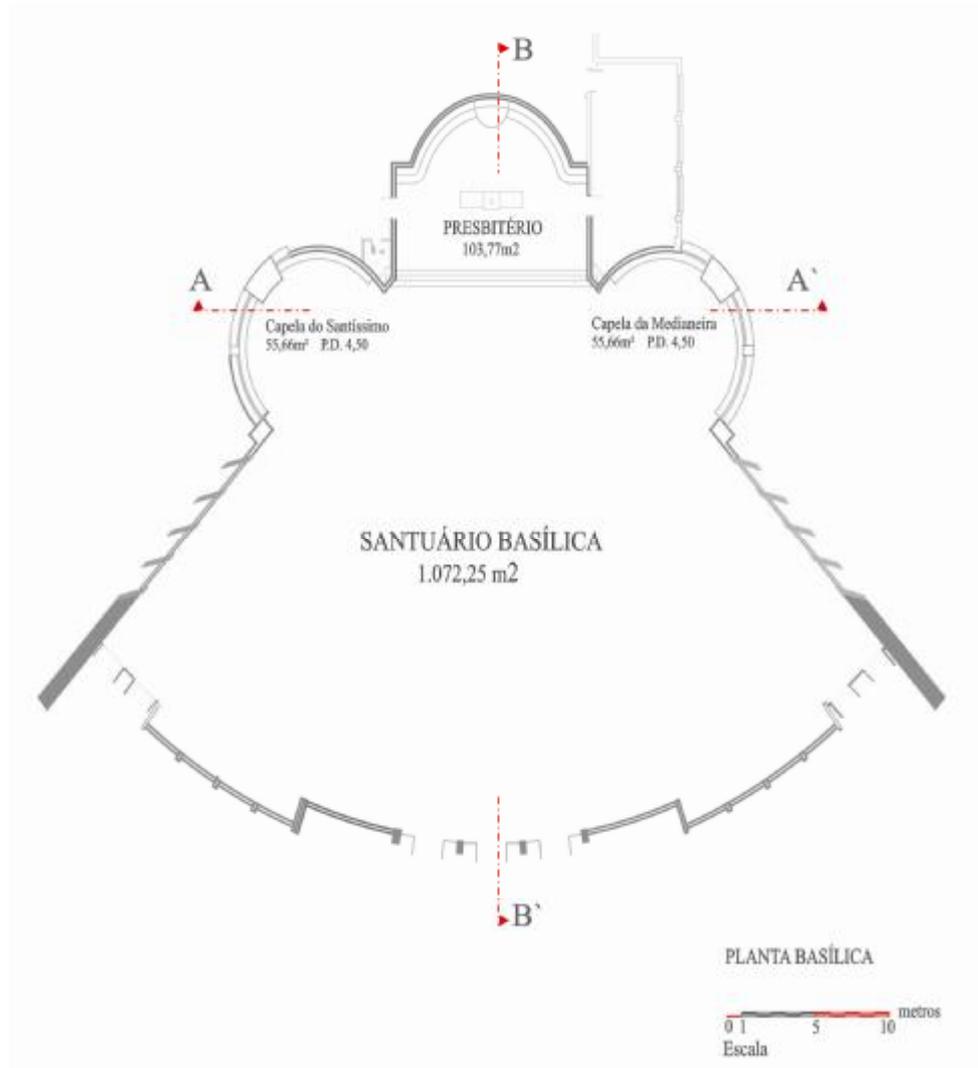


Figura 10: Planta da Basílica

A grandiosidade típica das Basílicas se faz presente nessa igreja, a qual apresenta um volume de aproximadamente 12.200 m³, com pé direito de altura variável, verificando-se que a cobertura na área central tem a menor altura de 9,70 metros alcançando quase 12 metros. Nas laterais, há duas capelas, apresentando um volume de 250,47 m³, cada uma. As Figuras 11 e 12 ilustram os cortes esquemáticos A – A' e B – B' que demonstram os desníveis verificados no teto.

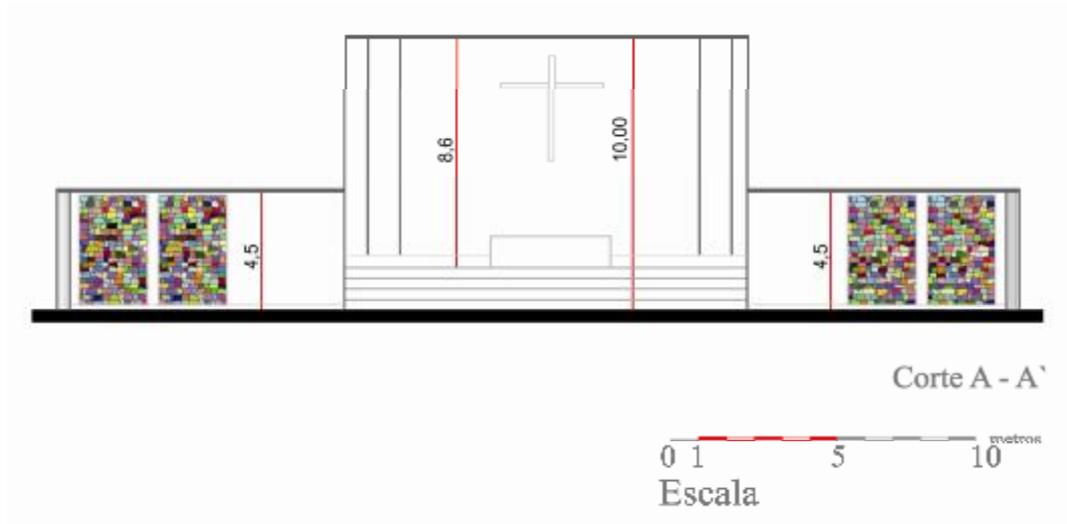


Figura 11: Corte A – A` da Basílica

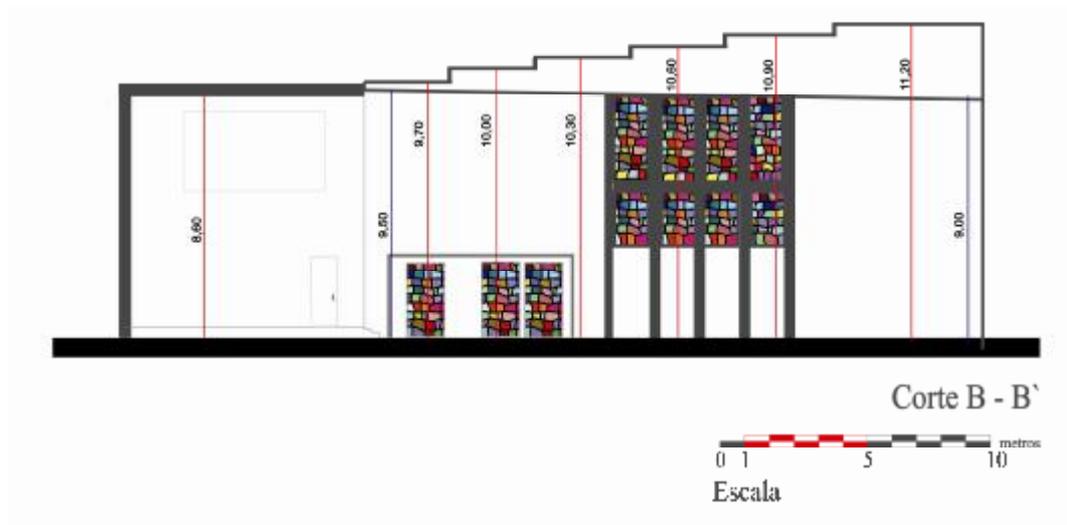


Figura 12: Corte B – B` da Basílica.

O forro é constituído do material PVC (Policloreto de Vinila) que trata-se de um composto plástico, leve e flexível, intercalada com ripas de madeira lisa e madeira treliçada. A figura 13 mostra uma imagem da constituição do forro.



Figura 13: forro de PVC intercalado com ripas de madeira lisa e treliçada

Outra particularidade da edificação é a presença dos vitrais componentes de grande parte da fachada frontal, correspondendo à parede oposta ao presbitério no interior do recinto.

A obra é composta por uma estrutura de concreto emoldurando placas de vidro, formando assim, um harmonioso conjunto que, observado por inteiro, se assemelha com vitrais dos mais grandiosos templos religiosos. Essa obra de arte relata, através de imagens, a história do surgimento da fé em nossa cidade. A figura 14 apresenta o painel visto do interior da Basílica, e um detalhe dessa estrutura.

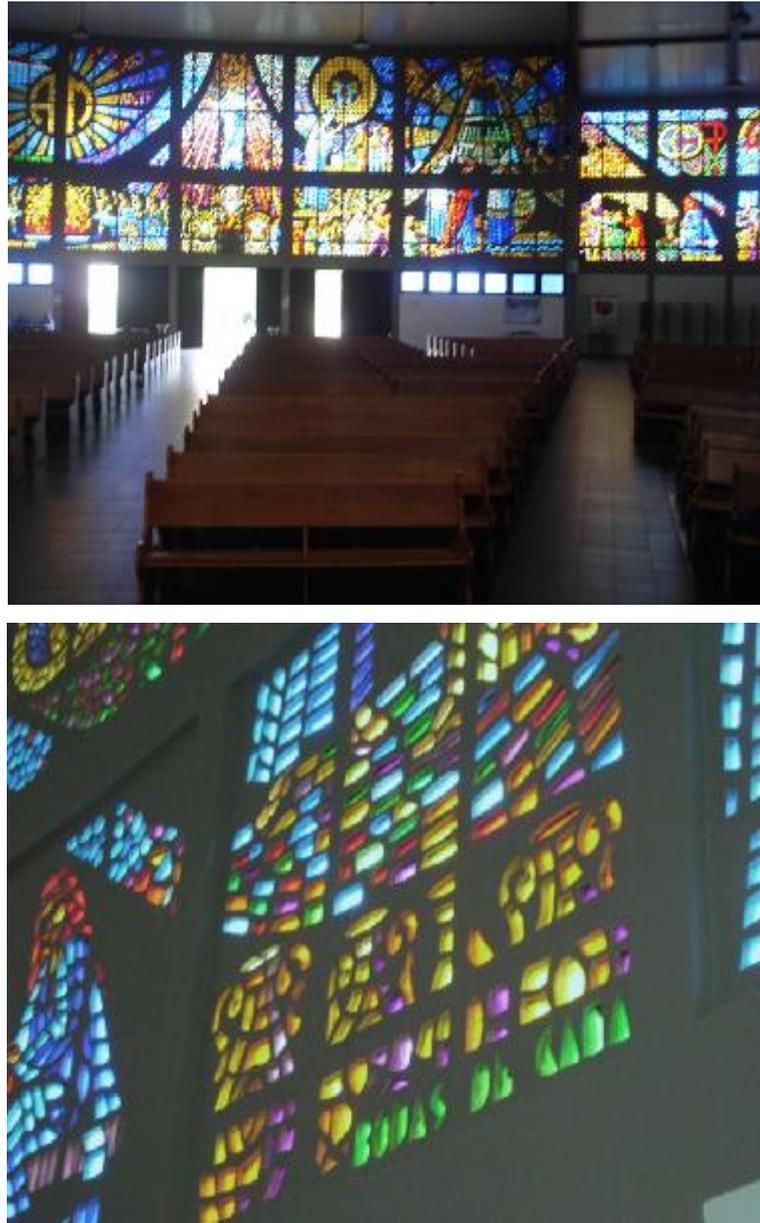


Figura 14: vista e detalhe dos vitrais

As paredes laterais são de alvenaria pintada, onde em parte também há a presença dos vitrais. Não existem adornos nessas paredes, caracterizando-se por um plano liso. O piso é composto em uma parte do Santuário de parquet, sendo que a outra parte é composta de piso cerâmico. No Presbitério e capelas laterais encontra-se carpete forração do piso.

3.2 A pesquisa quantitativa

A coleta de dados foi obtida conforme recomendações da norma ISO 3382/2001. Foi executada a partir de medições de Tempo de Reverberação, Clareza, Definição, STI (Speech Transmission Index).

Para as medições Acústicas, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- SOLO Medidor de Nível de Integração e registro de dados 01 Db Acoustics e Vibration METRAVIB technologies
- Calibrador para microfone - Brüel & Kjaer Tipo 4230 (94 dB em 1000 Hz, com desvio de ± 2 dB.
- Microcomputador
- Balões de festa
- Equipamento “madeira 1”
- Equipamento “madeira 2”

Utilizou-se um sinal impulsivo, apresentado no capítulo de *Fundamentos Teóricos*, onde o equipamento traduz em respostas numéricas e estatísticas todos os resultados que englobam os parâmetros objetivos, para posterior análise de interpretação.

Para a aquisição dos sinais sonoros e o processamento de dados foi utilizado o programa computacional de acústica de edificações dBati32 da 01dB. O programa permite a transferência e cálculo dos tempos de reverberação e decaimentos, bem como uma análise em frequência para a determinação de parâmetros acústicos de salas e o isolamento sonoro aéreo e de impacto em edificações.

A Figura 15 apresenta um esquema da configuração dos parâmetros acústicos a serem analisados pelo *software*. A Figura 16 representa os resultados desses parâmetros a partir do sinal impulsivo captado na Basílica e armazenado no banco de dados do programa.

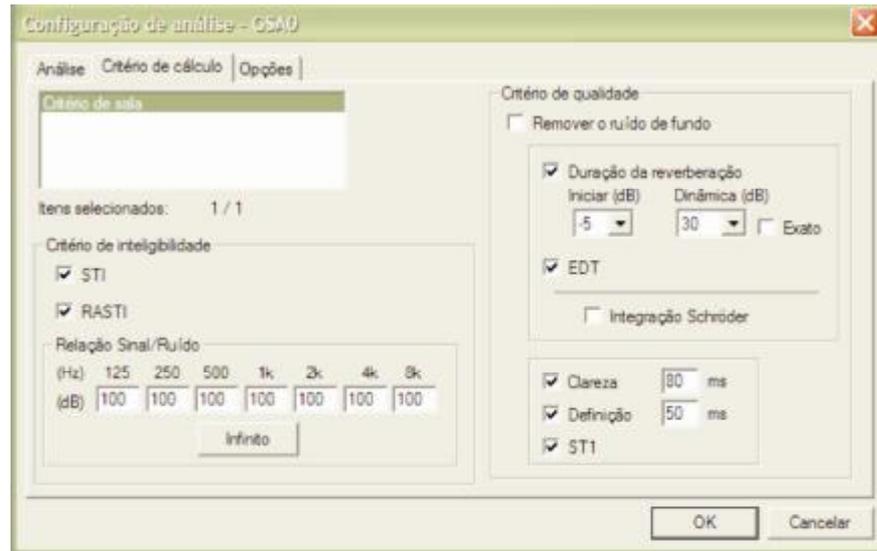


Figura 15: configuração dos parâmetros acústicos a serem calculados pelo programa computacional.
Fonte: *dB Bati*

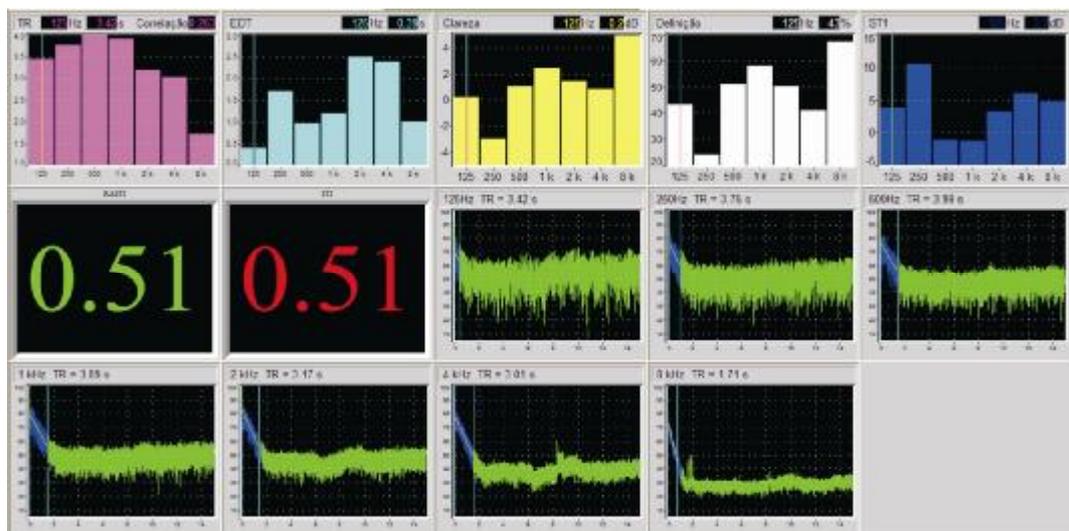


Figura 16: resultado do cálculo dos parâmetros acústicos no programa computacional.
Fonte: *dB Bati*

3.3 A pesquisa de opiniões

Nesta fase da pesquisa, foram aplicadas entrevistas semi-estruturadas aos freqüentadores de missas e também aos executores, como: padres, músicos e comentaristas. A participação das pessoas, escolhidas aleatoriamente, mas segundo critérios de posicionamento na Basílica previamente definidos para coincidir com as divisões propostas no estudo, tinham

por objetivo detectar a interpretação do ouvinte sobre as condições da Acústica do recinto. A partir de suas respostas, houve a comparação com os dados objetivos oriundos das medições, relativos à qualidade da palavra e da música.

Os apêndices A e B apresentam os modelos das entrevistas empregadas nos freqüentadores e nos celebrantes, respectivamente.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo, apresentam-se os resultados dos ensaios realizados na Basílica, divididos em cinco fases. A primeira foi a validação da fonte, com a comparação entre as medições com distintas fontes impulsivas e os cálculos numéricos. Na segunda fase observou-se os resultados de medições com as fontes localizadas em frente ao presbitério. Para a terceira fase as fontes foram locadas nos pontos onde existem caixas de reforço sonoro, simulando uma aproximação com a situação real. Na quarta fase comparou-se os dois tipos de distribuição de fontes. A quinta fase da análise apresenta a pesquisa de opinião, com os resultados das entrevistas realizadas.

4.1 Ensaios para validação da fonte

Nesta etapa do trabalho foram empregados dois tipos de fontes impulsivas: balões de festa e um dispositivo de madeira. Após, os resultados dessas medições foram comparados com os cálculos de Tempo de Reverberação realizados a partir da fórmula de Sabine. Trata-se de um estudo prévio, onde, a partir dele, determinou-se o dispositivo sonoro que seria utilizado nos ensaios futuros, bem como a configuração de emissor-receptor.

Os balões possuíam tamanho identificado como 30” (polegadas), ou seja, uma capacidade de ar de aproximadamente 0,144 m³. A Figura 17 ilustra uma das medições realizadas, com a utilização desse tipo de fonte impulsiva.



Figura 17: medição realizada com o emprego de balão

A segunda fonte impulsiva trata-se de um dispositivo de madeira, o qual funciona com força manual e cria um ruído de curta duração, quando se fecha. Produz um estalo suficiente para que as ondas sonoras tenham capacidade de reverberar em determinado ambiente a ser estudado. Trata-se de reprodução de um elemento descrito por Sumarac-Pavlovic et al (2008), onde os autores relatam que o sinal produzido por esse mecanismo é maior do que o impulso gerado por outras fontes ou balões explosivos.

O nível sonoro originado pelo equipamento de madeira, segundo seus idealizadores, cumpre as exigências para uma escala dinâmica mínima em todas as faixas de frequência em oitavas. As medições executadas, em ambientes com alto ruído de fundo, mostram que na frequência de 125 Hz os resultados não possuem uma boa precisão, por isso os autores aconselham destacar as respostas para as faixas a partir de 250 Hz. Os diagramas de diretividade indicam que o equipamento tem uma melhor uniformidade se comparada a um injetor e/ou a um estouro do balão (SUMARAC-PAVLOVIC et al., 2008).

As Figuras 18 E 19 apresentam, respectivamente, um desenho esquemático com detalhes do dispositivo sonoro e uma fotografia da fonte impulsiva de madeira construída no Setor de Acústica da UFSM.



Figura 18: detalhes do dispositivo de madeira (fonte impulsiva)



Figura 19: imagem do dispositivo de madeira (fonte impulsiva)

Nesse ensaio, tanto com os balões como com o dispositivo de madeira, a distribuição fonte-microfone caracterizou-se de forma aleatória. Oito pontos de emissão do sinal e oito pontos de recepção foram determinados, tendo em vista que para cada ponto onde se disparava o sinal impulsivo, havia um microfone de recepção correspondente.

A escolha das posições para a emissão do estouro deu-se a partir de uma constatação entre distâncias significativas que poderiam ocorrer entre receptor e locutor dentro da Basílica. Locaram-se os microfones de captação entre os bancos, considerando regiões onde se concentram os frequentadores. As distâncias entre a fonte e o equipamento de medição obedeceram a Norma Técnica UNI EN ISO 3382:2001, a qual determina que a extensão mínima deva ser a metade da onda de menor frequência a ser medida.

A Figura 20 mostra um desenho esquemático da planta da Basílica, representando a localização dos pontos de emissão e recepção do sinal, que, com distâncias aleatórias, variaram de 4,0 m até 12 m.

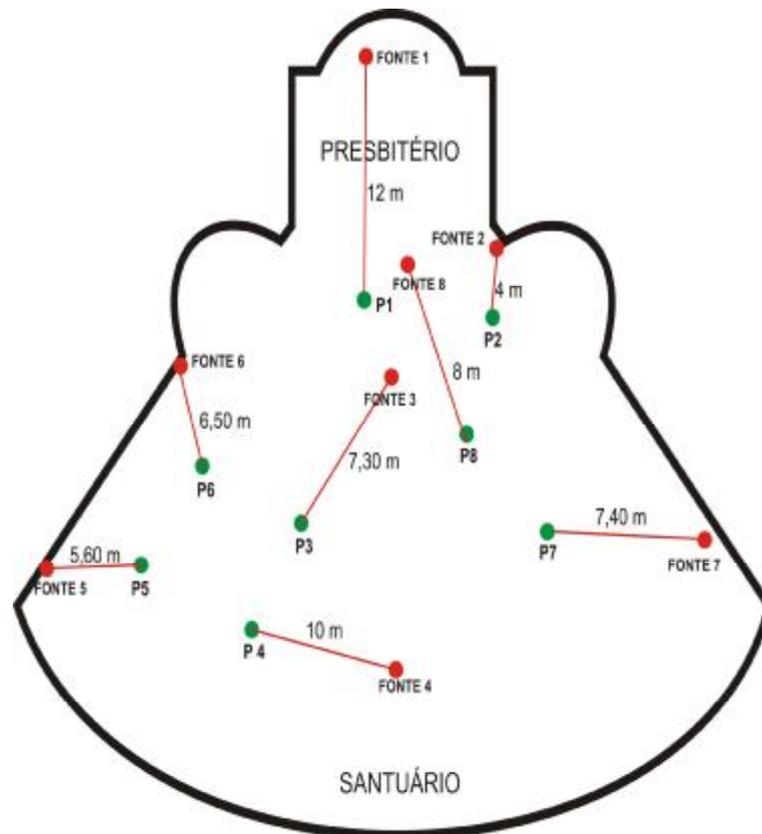


Figura 20: Planta da Basílica da Medianeira com as posições de medição e fonte sonora

A partir dos ensaios com os balões e madeira, obteve-se a resposta da Basílica para TR e EDT, calculou-se as médias de todas as fontes e microfones analisando ainda o desvio padrão correspondente.

Além desses parâmetros, também se analisou o ruído de fundo. Foram determinados dois pontos para o registro desse dado, sendo que um em frente ao presbitério e outro na região da porta de entrada. Detectou-se um valor global de 54,3dB (A) próximo ao presbitério e de 56,3 dB (A) próximo à porta de entrada.

4.1.1 Resultados de Tempo de Reverberação e Tempo de Decaimento Inicial com a fonte de madeira e com os balões.

A Figura 21 apresenta um gráfico com os resultados médios de TR obtidos a partir do ensaio com a excitação da Basílica através do dispositivo de madeira e dos balões, enquanto a Tabela 03 apresenta os respectivos desvios padrões dessas médias.

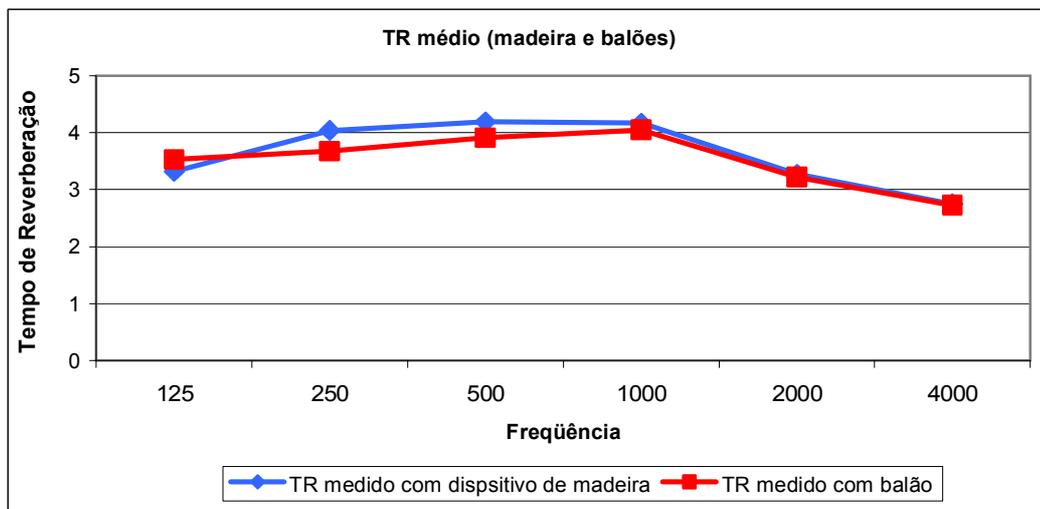


Figura 21: médias do TR (madeira e balões)

Tabela 03: Desvio Padrão das médias do TR (madeira)

	125	250	500	1000	2000	4000
Desv. Padrão TR (madeira)	1,23	0,32	0,19	0,12	0,19	0,13
Desv. Padrão TR (balão)	0,66	0,25	0,72	0,16	0,17	0,14

Avaliando os resultados e comparando-os com seus respectivos desvios padrões, observa-se que há uma maior disparidade entre o TR nas baixas frequências, para o equipamento de madeira. Isso pode ser explicado pela dificuldade do equipamento na excitação nessas bandas. Os resultados obtidos pela resposta aos balões apresentaram maiores desvios em 125 e 500 Hz.

Para o EDT, representado na Figura 22 os maiores desvios, indicados na Tabela 04 localizam-se entre 250 e 1000 Hz, apresentando-se bem superiores aos obtidos no TR.

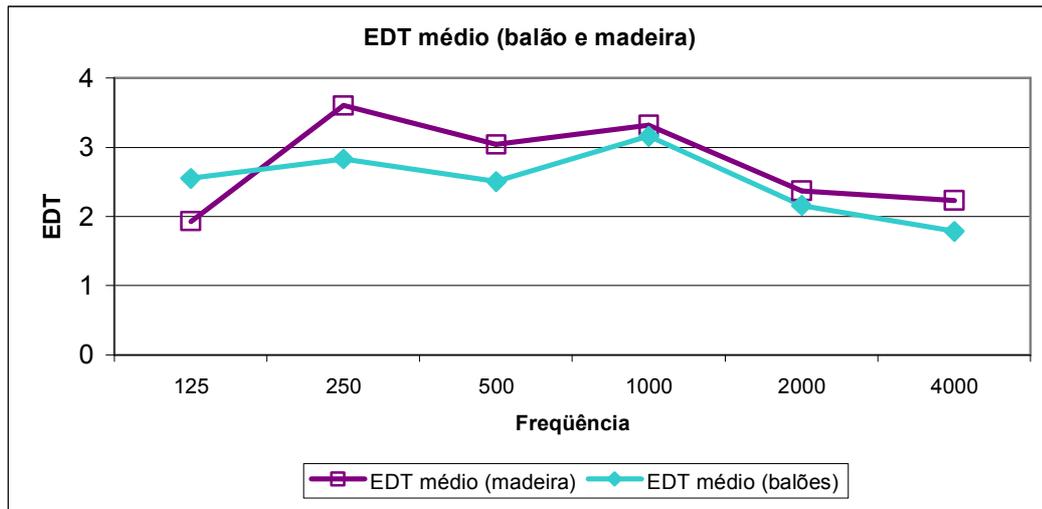


Figura 22 - Média do EDT (madeira e balões)

Tabela 04: Desvio Padrão das médias do EDT (madeira e balões)

	125	250	500	1000	2000	4000
Desv. Padrão EDT (madeira)	0,89	1,33	1,44	1,19	0,96	0,82
Desv. Padrão EDT (balão)	1,90	1,26	1,17	1,20	1,06	0,81

No ensaio com balões, ressaltam-se índices ligeiramente menores que os decorrentes do emprego do dispositivo de madeira, pois somente na frequência de 1000 Hz o TR alcançou 4 s. O EDT também apresenta valores menores que a modalidade de excitação anterior, com exceção da frequência de 125 Hz. Ao analisar a relação do TR e EDT da excitação com balões e seus desvios padrões, verifica-se que as maiores oscilações estão em 125 e 250 Hz.

4.1.2 Resultados dos cálculos analíticos

Para o cálculo analítico do Tempo de Reverberação foi empregada a fórmula de Sabine, por ser a formulação mais indicada no caso de ambientes de grandes dimensões e materiais altamente reflexivos. O volume considerado para a Basílica foi de aproximadamente 12.200 m³.

Fez-se necessário o levantamento da área de superfície dos materiais componentes da Basílica, para fins de determinação da absorção total do ambiente.

A Tabela 05 apresenta a área de absorção de cada tipo de material. No capítulo 4, referente a *Metodologia*, os materiais estão descritos conforme sua localização dentro da edificação.

Tabela 05: área de superfície dos materiais de composição

Materiais	Área do material m²
Parede rebocada	707,63
Vidro	361,13
Carpete	215,09
Bancos de madeira	345,49
Concreto	254,32
Piso Cerâmico	494,33
Portas de madeira	66,37
Forro de PVC com madeira	1176,02

Para o levantamento dos coeficientes de absorção, consultaram-se vários autores, conseqüentemente comparando os resultados. Os dados foram extraídos de Méndez et al. (1994), Gerges (2000), Cox e D'Antonio (2004), Bistafa (2006), NBR 12179 (1992) e do *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB 2008) os quais estão representados na Tabela 06.

Tabela 06: Coeficientes de absorção dos materiais

		Freqüências					
		125	250	500	1000	2000	4000
Parede rebocada	Méndez	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
	Gerges	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
	Bistafa	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
	Cox, D' Antonio	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
	NBR 12179	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Vidro	Méndez	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
	Gerges	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
	Bistafa	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
	Cox, D' Antonio	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
	NBR 12179	--	0,04	0,03	0,02	--	--
Carpete	Méndez	0,09	0,06	0,24	0,24	0,24	0,11
	Gerges	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,27
	Bistafa	0,05	0,1	0,15	0,3	0,5	0,55
	Cox e D' Antonio	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,27
	NBR 12179	0,09	0,18	0,21	0,26	0,27	0,47
Bancos de madeira	Méndez	0,04	0,04	0,07	0,06	0,07	0,06
	Gerges	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05
	Bistafa	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06
	Cox e D' Antonio	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
	NBR 101	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Concreto	Méndez	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
	Gerges	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
	Bistafa	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
	Cox e D' Antonio	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
	NBR 12179	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Piso Cerâmico	Méndez	0,04	0,04	0,07	0,06	0,07	0,06
	Gerges	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
	Bistafa	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	Cox e D' Antonio	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	NBR 12179	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17
Portas de madeira	Méndez	0,15	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
	Gerges	0,28	0,20	0,10	0,10	0,08	0,08
	Bistafa	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,1
	Cox e D' Antonio	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10
	NBR 12179	0,14	--	0,06	--	0,10	--
Forro de PVC e madeira	REF PTB	0,25	0,23	0,16	0,12	0,11	0,10

Para a adoção do coeficiente de absorção do forro, utilizou-se a tabela referente em PTB (2008) a todos os autores. A Figura 23 apresenta o gráfico com o Tempo de Reverberação comparativo medido com equipamento e calculado numericamente com a fórmula de Sabine.

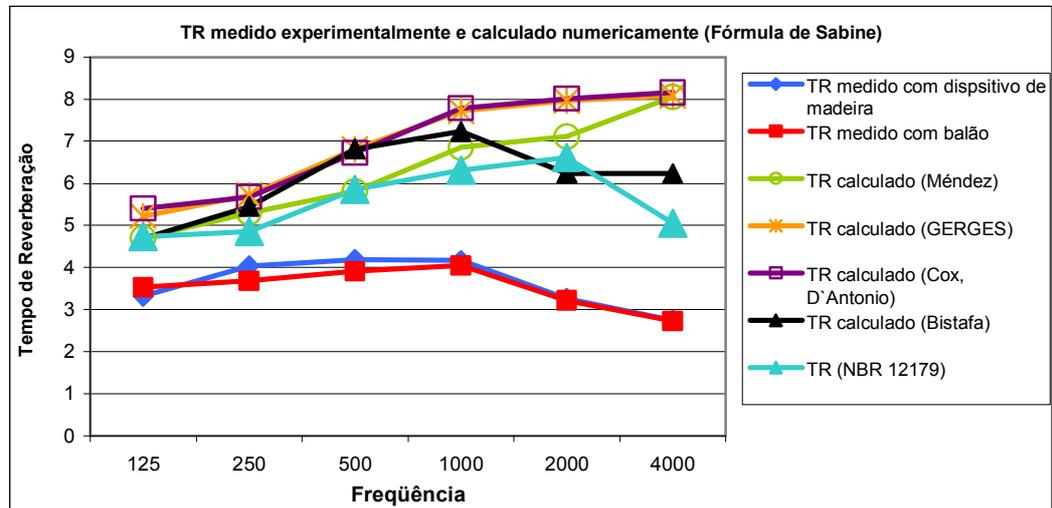


Figura 23: Gráfico do TR medido e calculado

O gráfico mostra que os valores de TR calculados numericamente são muito maiores que os valores obtidos a partir da resposta impulsiva. Também se verifica que o comportamento das curvas é consideravelmente diferente.

Após a verificação que a Basílica se constitui num grande volume, contatou-se que o ar poderia estar contribuindo para a absorção sonora, influenciando no Tempo de Reverberação, especialmente em baixas frequências, como afirmam Fasold e Veres (2003 apud ZANNIN, 2005). Os valores consideráveis para a área do ar, indicada pelos autores, para um volume de aproximadamente 10.000m³, variam de 3 m² para a frequência de 250 Hz a 300 m² para 4.000 Hz. Esses valores bem como os coeficientes de absorção para o ar indicados por Beranek-Vér (1992) estão representados na Tabela 07.

Tabela 07: Área e coeficiente de absorção do ar

	125	250	500	1000	2000	4000
Área do ar (m ²)	---	3	10	30	100	300
Coef. Absorção do ar	0,1	0,2	0,6	1,3	2,2	5,0

Fonte: Beranek-Vér (1992)

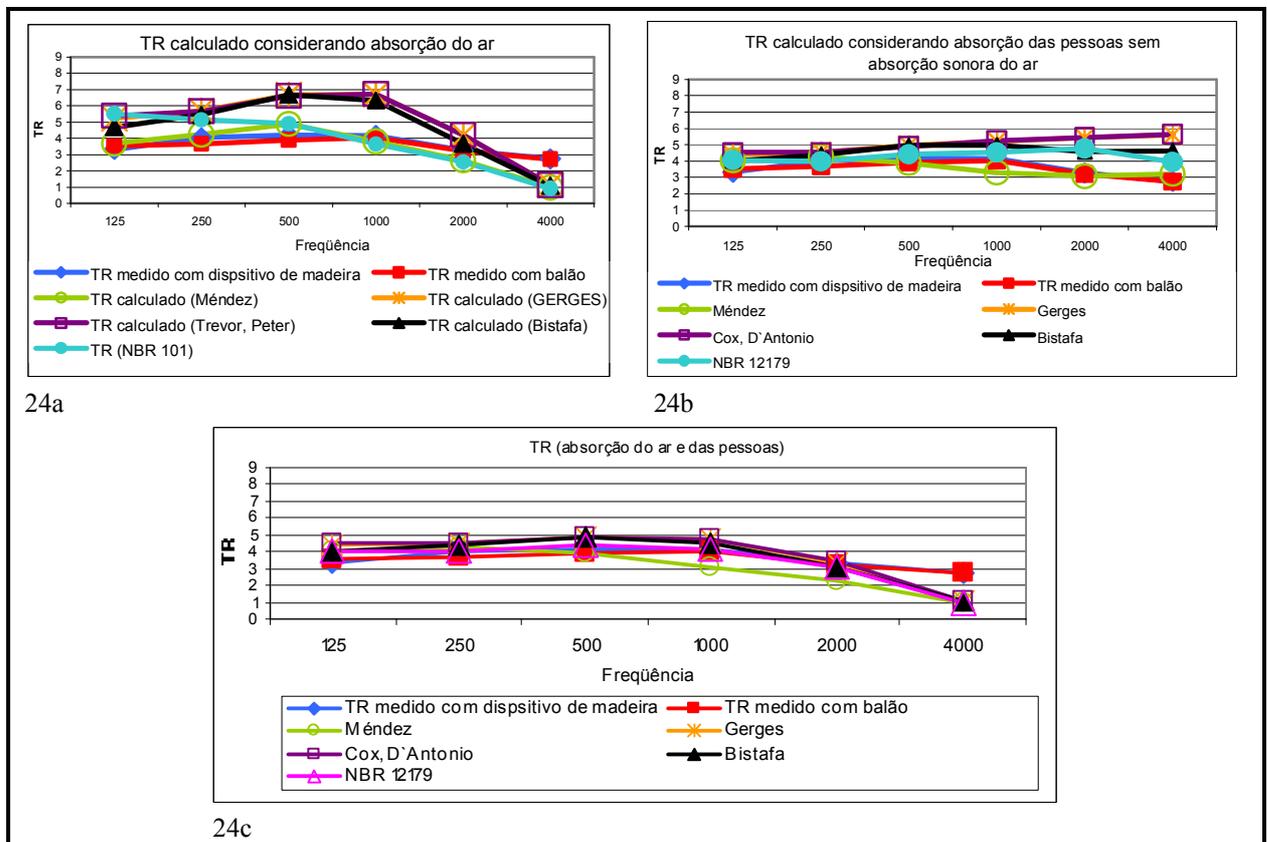
Outro influente no Tempo de Reverberação em ambientes é a presença de pessoas. Para o cálculo do TR levando-se em consideração esse item, utilizou-se o coeficiente de absorção das pessoas indicados por Méndez et. al. (1994), os quais estão representados na Tabela 08.

Tabela 08: Coeficiente de absorção de pessoas

Coeficiente de absorção de pessoas (Méndez et al., 1994)						
Frequência	125	250	500	1000	2000	4000
Coef. Absorção (1/m ²)	0,2	0,25	0,31	0,35	0,33	0,31

Fonte: Méndez et. al. (1994)

Os autores indicam uma pessoa por metro quadrado. Empregou-se a área de bancos para o levantamento desses dados, ou seja, 345,49 m². A Figura 24 apresenta os gráficos do TR levando-se em conta a absorção sonora do ar, e das pessoas. O gráfico 24a representa apenas a absorção do ar. Na figura 24b observa-se somente a absorção sonora das pessoas enquanto que no gráfico 24c considerou-se os dois elementos para a obtenção do TR analítico.

**Figura 24:** TR calculado com o coeficiente de absorção do ar e das pessoas

Os cálculos de TR foram obtidos através da Fórmula de Sabine, como anteriormente. Consta-se que a influência do ar (fig. 24a) e das pessoas (fig. 24b) é significativa em todas as frequências. Na figura 24c observa-se que o resultado analítico considerando-se esses dois itens foi o que mais se aproximou do TR experimental. Pode-se afirmar que a absorção sonora do ar e das pessoas são elementos que devem ser levados em conta para os cálculos numéricos de Tempo de Reverberação em ambientes com grandes dimensões.

Neubauer (2001 apud ZANNIN, 2005) destaca que o uso de coeficientes de absorção retirados de tabelas padrão fornece, em geral, tempos de reverberação maiores do que os obtidos experimentalmente.

As diferenças encontradas entre os cálculos numéricos, utilizando a fórmula de Sabine, e os resultados de TR, a partir da medição com os equipamentos, estão relacionadas com a dificuldade em se encontrar os dados corretos referentes aos materiais e aos componentes, pois são de difícil caracterização. Os vitrais, por exemplo, são fundidos na estrutura de concreto e não podem ser caracterizados como um painel liso. Esses elementos representam uma significativa área de superfície da Basílica em toda a extensão da parede oposta ao Presbitério. Outro componente de difícil caracterização, que exerce influência, é o forro constituído de PVC, que possui uma composição intercalada de ripas de madeira lisa e madeira treliçada.

Kuttruff (1979) evidencia as diferenças entre os tempos de reverberação obtidos pelos métodos teóricos e aqueles obtidos experimentalmente, como consequência do fato de não ser possível considerar todas as prováveis causas de absorção sonora no ambiente avaliado.

A análise dos experimentos e cálculos analíticos proporciona a verificação de que os resultados medidos com o equipamento, a partir do sinal disparado com o dispositivo de madeira, é similar ao captado pelo estouro dos balões, apresentando uma ligeira diferença nas baixas e médias frequências. Assim, detectou-se que uma fonte sonora impulsiva de baixo custo, como é o caso do dispositivo de madeira, é tão eficaz para o tipo de medição proposta, quanto o estouro de grandes balões, sendo esta a escolhida para os ensaios subseqüentes.

4.2- Ensaio com Dispositivo de madeira em três pontos de emissão

A eficiência do equipamento de madeira nas medições, especialmente nos resultados acima de 250 Hz, foi constatada. Porém, devido às grandes dimensões da Basílica, o dispositivo foi ligeiramente alterado. Aumentou-se a camada de ar interna da espessura de 3 cm para 5 cm. A altura da cavidade interna que era de 6 cm em *Madeira 1* passou para 10 cm em *Madeira 2*.

A Figura 25 exemplifica os detalhes dessa alteração de medidas.



Figura 25: detalhes do dispositivo de madeira (fonte impulsiva)

A partir dessa medição foi possível analisar os parâmetros Acústicos: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI).

Todos eles foram captados com a fonte localizada nos mesmos pontos. Essa distribuição foi feita a partir de uma análise onde se localizam os comentaristas (F1 e F3), bem como uma possibilidade de fonte no centro da área frontal ao presbitério, que é o caso da Fonte 2. Os locais de emissão são representados pelos pontos vermelhos. Para a captação do sinal, posicionou-se o microfone em dezesseis locais distintos representados pelos pontos verdes. A Figura 26 apresenta uma planta esquemática da Basílica demonstrando a configuração de fonte-receptor.

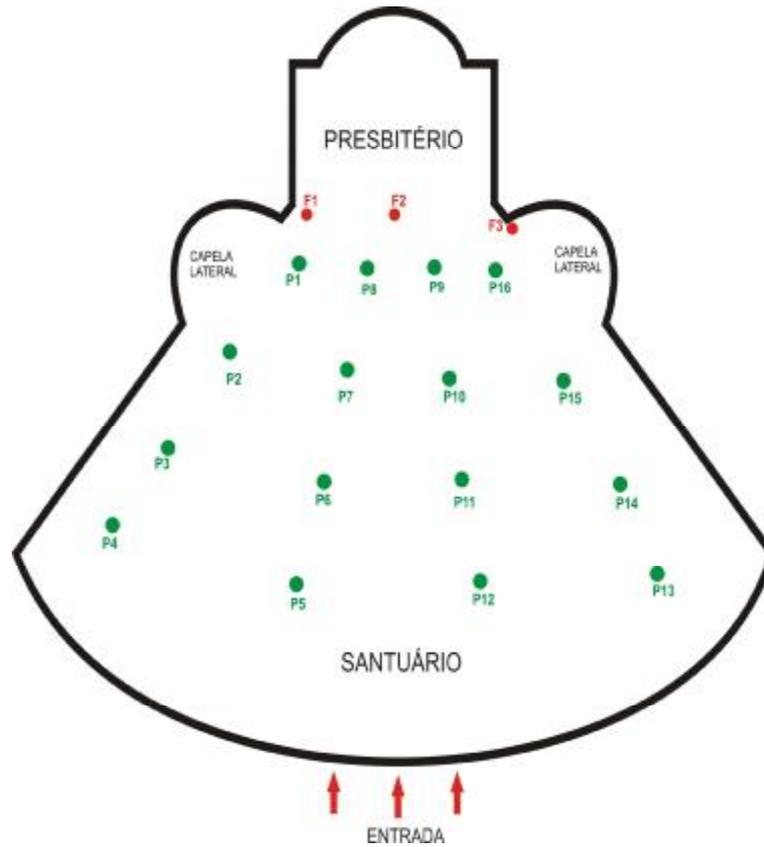


Figura 26: distribuição das fontes na Basílica

A distância entre cada ponto de emissão (fonte impulsiva) e sua respectiva recepção (microfone) estão relacionadas no Tabela 09.

Tabela 09: distância entre cada ponto de microfone e cada fonte.

	F1	F2	F3
P1	1,80	6,50	13,90
P2	7,80	12,00	18,80
P3	14,90	18,80	25,00
P4	22,00	25,20	31,50
P5	23,00	24,20	27,60
P6	16,30	15,30	18,00
P7	8,70	10,00	14,60
P8	3,60	3,60	9,70
P9	7,20	3,70	4,70
P10	10,90	9,00	9,70
P11	15,00	16,30	16,50
P12	22,00	22,70	23,00
P13	30,00	26,00	21,00
P14	21,10	17,30	13,80
P15	16,00	11,70	7,90
P16	11,70	6,50	2,80

Considerando suas grandes dimensões, para fins de análise, o recinto foi dividido por regiões, tendo em vista a localização dos bancos. Essas áreas foram classificadas como: Lateral Esquerda (LE), Central (C), Lateral Direita (LD) e Fundos (F). A Figura 27 apresenta a compartimentação das regiões, bem como os pontos de microfone pertencentes de cada área.

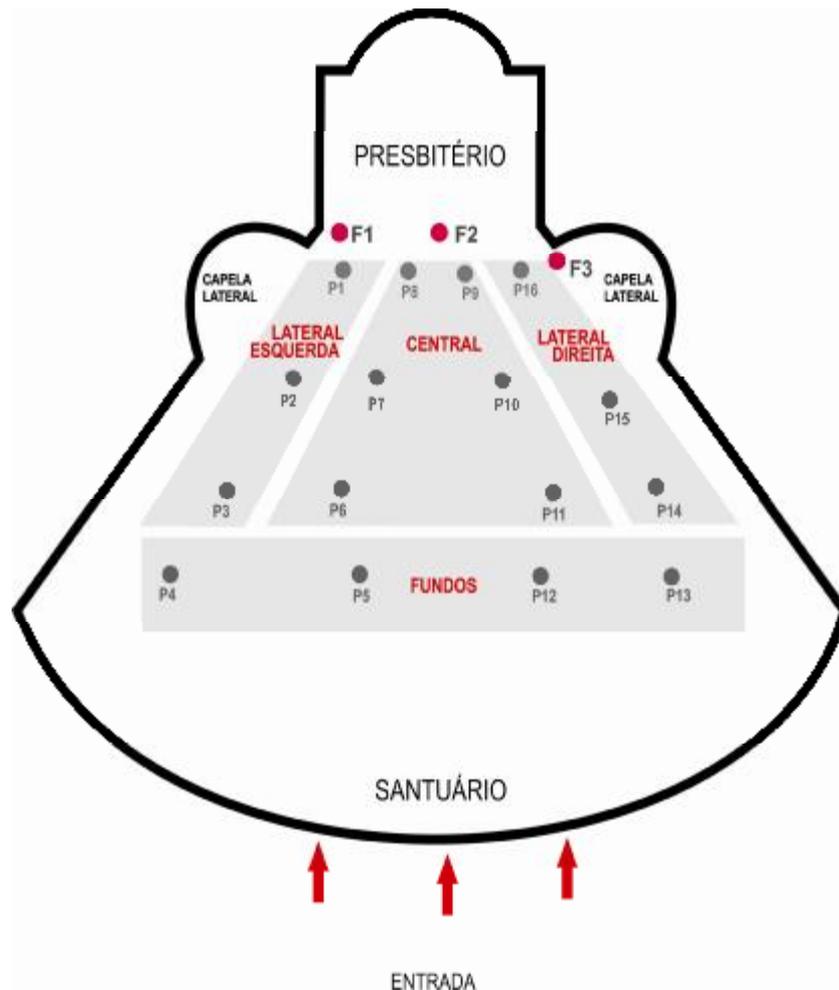


Figura 27: Localização das regiões

Além dos parâmetros referentes à acústica de salas, registrou-se também o ruído de fundo do ambiente. Para isso, dois pontos foram escolhidos, sendo que um localizado perto do presbitério e outro próximo à porta de entrada. Detectou-se um valor global de 55,3 dB(A) próximo ao presbitério e de 59,9 dB(A) próximo à porta de entrada.

4.2.1 Resultados dos Parâmetros Acústicos decorrentes da composição com 3 fontes

Nesse item, são apresentados os resultados dos parâmetros acústicos, com suas respectivas análises.

4.2.1.1 Tempo de Reverberação (TR)

Nesse item são apresentadas as médias, por regiões, dos resultados do Tempo de Reverberação (TR), em função da frequência, medido com o equipamento *Blue Solo* já descrito na Metodologia no capítulo 3.

A Figura 28 ilustra uma planta esquemática da Basílica, apresentando os resultados do TR, em 500 Hz, observando-se uma variação maior do que 1 segundo entre as regiões LD e F.

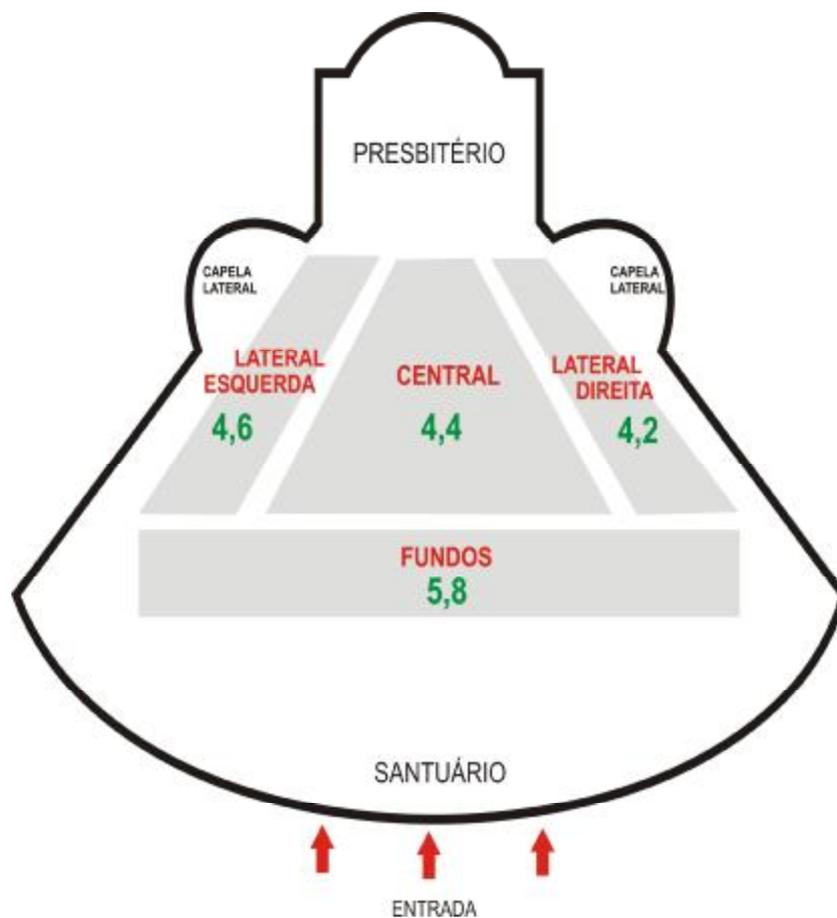


Figura 28: planta esquemática com a distribuição de TR.

A Figura 29 apresenta um gráfico com os resultados entre 125 e 4000 Hz, onde verifica-se que a região F indica valores mais elevados, atingindo um pico de 5,8 segundos em 500 Hz. Todas as outras curvas (LD, C e LE) possuem uma característica semelhante, com maiores resultados entre 500 e 1000 Hz, em torno de 4 segundos.

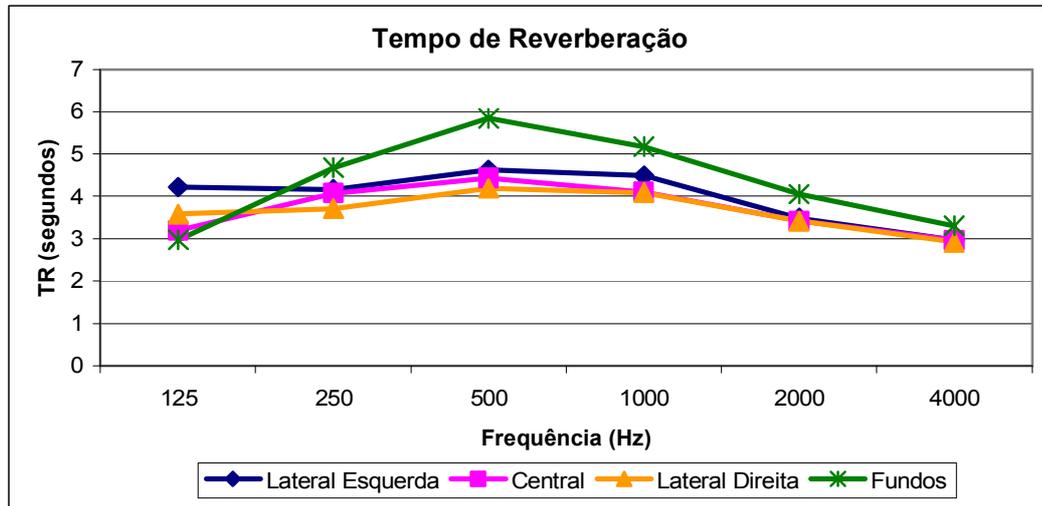


Figura 29: gráfico do Tempo de Reverberação por regiões

Relacionando os resultados dos TR's com seus respectivos desvios padrões, apresentados na Tabela 10 verifica-se que ocorrem nas baixas frequências as maiores oscilações dos TR's, o que se pode atribuir à precisão do dispositivo (fonte) onde já é sabido que os valores são mais confiáveis a partir de 250 Hz. Comparando-se a variação por regiões, nos fundos ocorrem as maiores disparidades de valores.

Tabela 10: Médias do TR em todas as frequências e desvio padrão

	Lateral Esquerda	Central	Lateral Direita	Fundos
125	4,2 ± 1,7	3,2 ± 1,3	3,6 ± 0,6	3,0 ± 1,8
250	4,2 ± 0,7	4,0 ± 1,2	3,7 ± 0,3	4,7 ± 1,2
500	4,6 ± 1,4	4,4 ± 1,4	4,2 ± 0,4	5,8 ± 2,6
1000	4,5 ± 0,7	4,1 ± 0,5	4,1 ± 0,3	5,2 ± 1,0
2000	3,5 ± 0,3	3,4 ± 0,3	3,4 ± 0,2	4,1 ± 0,9
4000	3,0 ± 0,2	3,0 ± 0,2	3,0 ± 0,2	3,3 ± 0,1

A análise dos resultados de Tempo de Reverberação, com essa distribuição de fontes e microfones, permite verificar que a execução da palavra falada e da música está prejudicada, de acordo com as recomendações de Méndez et. al. (1994) e Egan (1988) que indicam um TR em torno de 1 s em auditórios e 2 s em salas para música não orquestrada, em 500 Hz, para

volumes semelhantes ao da Basílica. Para música sacra, Méndez et al., 1994 recomenda um TR em torno de 2,8s, e a norma NBR 12179, (1992) recomenda em torno de 2,2s. Esses valores são referentes as igrejas vazias.

4.2.1.2 Tempo de decaimento inicial (EDT)

Nesse item são apresentadas as médias, por regiões, dos resultados de Tempo de Decaimento Inicial, em função da frequência. A Figura 30 ilustra uma planta esquemática da Basílica apresentando os resultados de EDT em 500 Hz, observando-se uma variação de quase 3 segundos entre LD e F.

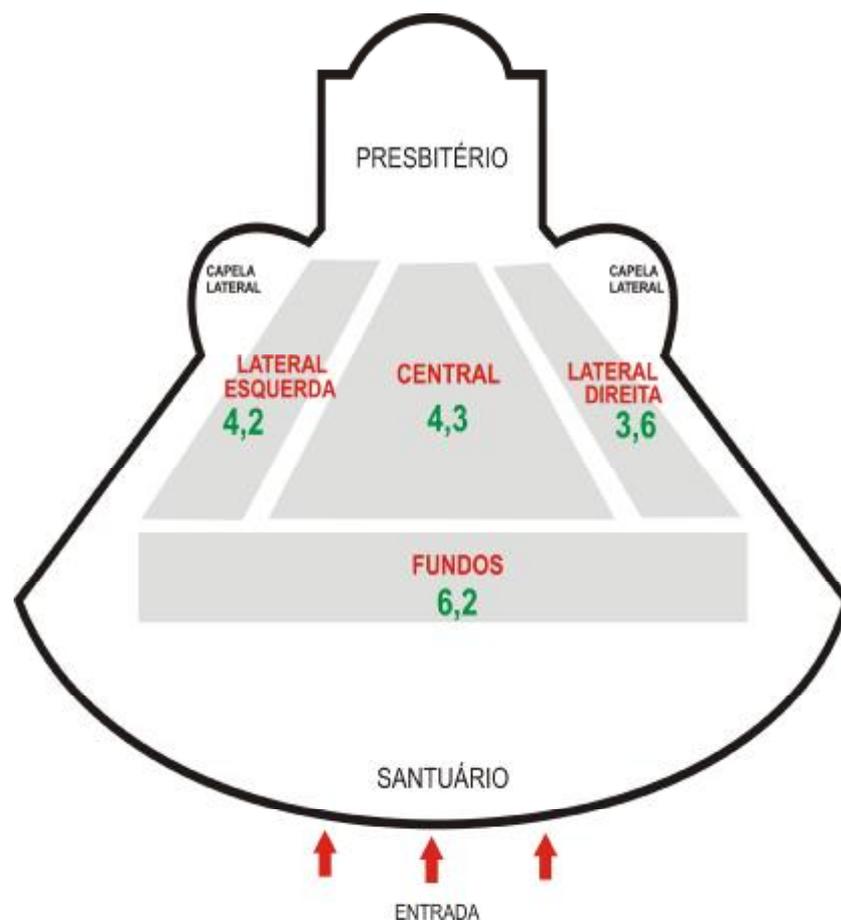


Figura 30: planta esquemática com a distribuição de EDT

O desenho das curvas de EDT, apresentado no gráfico da Figura 31 apresenta-se semelhante ao do TR em 500 e 1000 Hz, indicando valores menores, exceto em *Fundos*, onde atingiu 6 segundos.

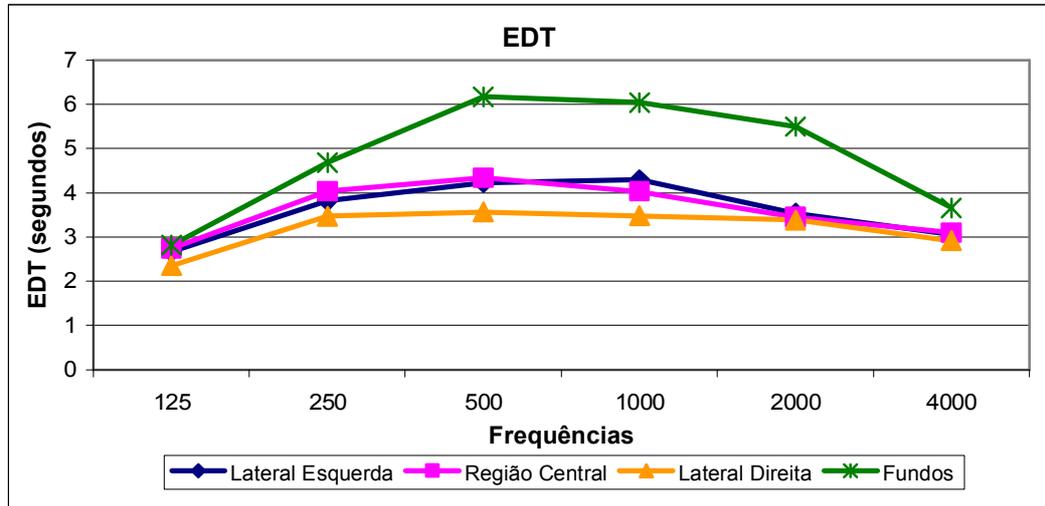


Figura 31: gráfico do EDT em cada região

O desvio padrão, apresentado na Tabela 11, mostra que a variabilidade no caso do EDT é maior que no TR, caracterizando uma disparidade mais significativa entre os valores obtidos para distintos pontos de captação e de emissão do sinal, principalmente na região *Fundos* (F).

Tabela 11: Médias do EDT em todas as frequências e desvio padrão

	Lateral Esquerda	Central	Lateral Direita	Fundos
125	2,7 ± 1,2	2,7 ± 1,4	2,4 ± 1,4	2,8 ± 2,0
250	3,8 ± 0,8	4,0 ± 0,9	3,5 ± 1,2	4,7 ± 1,7
500	4,2 ± 1,0	4,3 ± 1,7	3,6 ± 1,3	6,2 ± 3,2
1000	4,3 ± 1,2	4,0 ± 0,8	3,5 ± 1,0	6,0 ± 2,7
2000	3,5 ± 0,4	3,4 ± 0,4	3,4 ± 0,8	5,5 ± 4,4
4000	3,1 ± 0,5	3,1 ± 0,3	2,9 ± 0,7	3,7 ± 0,2

A análise do EDT com essa distribuição de fontes mostra que há uma excessiva sensação de reverberação percebida pelo ouvinte, conseqüentemente prejudicando o bom entendimento do discurso e da música executados na Basílica.

4.2.1.3 Definição (D50)

A Figura 32 apresenta uma planta esquemática da Basílica com os resultados de Definição (D50) em 500 Hz. As respostas são apresentadas em percentagem.

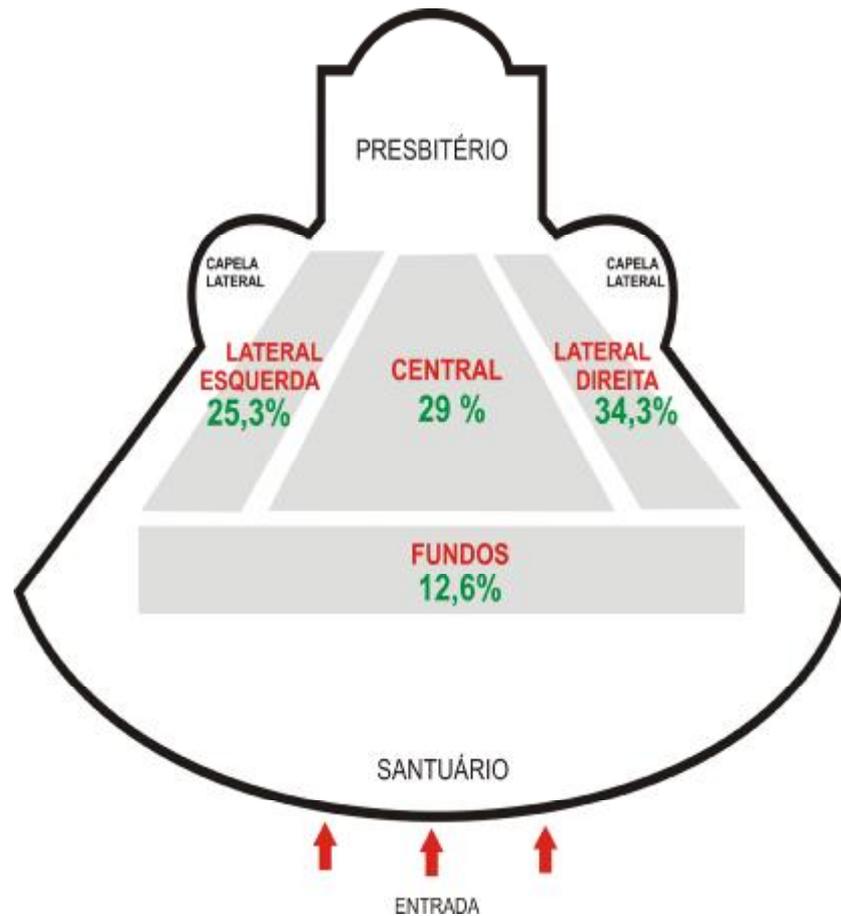


Figura 32: planta esquemática com a distribuição de Definição, em percentagem

Ao analisar a planta esquemática e o gráfico, representado pela Figura 33 observa-se que o valor mais alto é na região LD, atingindo 34%. Ressalta-se que essa distribuição de fontes permite que as regiões mais próximas da excitação sonora (central e laterais) encontrem-se em vantagem, em relação à região mais distante, ou seja, *Fundos*.

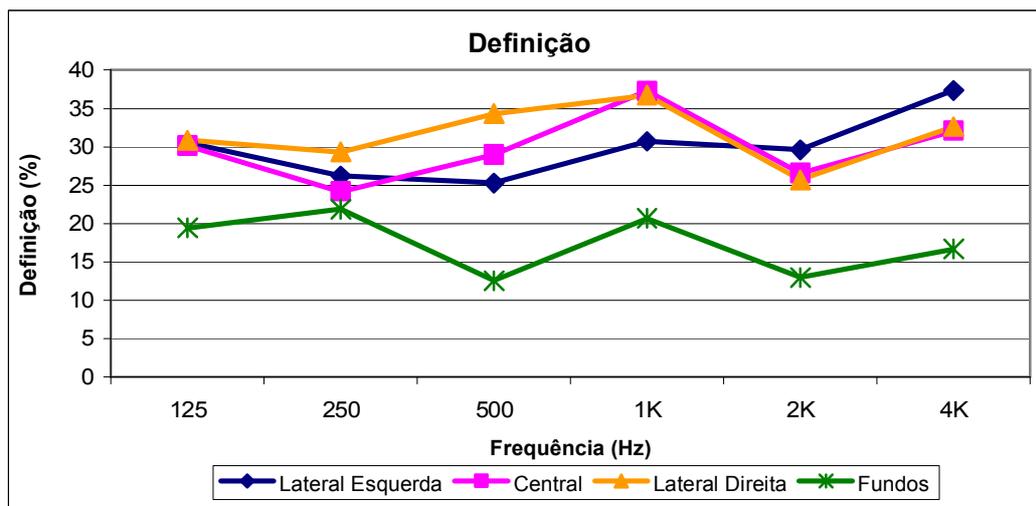


Figura 33: gráfico de Definição em função da frequência

Quanto ao Desvio Padrão, apresentado na Tabela 12, é possível verificar que as áreas com maiores índices são aquelas localizadas próximas da fonte (central e laterais). Isso pode ser explicado pelo fato de se ter pontos muito próximos e outros com uma distância considerável da fonte na mesma área em análise. Percebe-se que *Fundos*, o local com maior distância das três fontes, apresentou os menores índices de Desvio Padrão. Acredita-se que isso tenha ocorrido porque nessa área (F) os microfones foram locados com distância significativa e similar das fontes, por isso os valores não variam muito, permanecendo um baixo resultado de Definição em todos os pontos de captação do sinal na região dos fundos da Basílica.

Tabela 12: Médias de Definição em todas as frequências e desvio padrão

	Lateral Esquerda	Central	Lateral Direita	Fundos
125	30,5% ± 12,4	30,1% ± 9,1	30,9% ± 10,5	19,4% ± 7,6
250	26,2% ± 12,9	24,2% ± 11,7	29,3% ± 12,3	21,9% ± 9,0
500	25,3% ± 15,8	29,0% ± 19,1	34,3% ± 21,2	12,6% ± 2,8
1000	30,7% ± 17,4	37,3% ± 20,0	36,7% ± 17,1	20,7% ± 4,9
2000	29,6% ± 19,1	26,6% ± 14,8	25,7% ± 15,1	13,0% ± 3,7
4000	37,3% ± 20,0	32,1% ± 17,8	32,6% ± 14,7	16,7% ± 3,9

Considerando essa distribuição das três fontes, constata-se que a Definição encontra-se desfavorecida para o discurso, tendo em vista que não apresenta valor superior a 37% em qualquer uma das frequências.

4.2.1.4 Clareza (C80)

A Figura 34 apresenta uma planta esquemática da Basílica apresentando os resultados de Clareza, em dB, na frequência de 500 Hz.

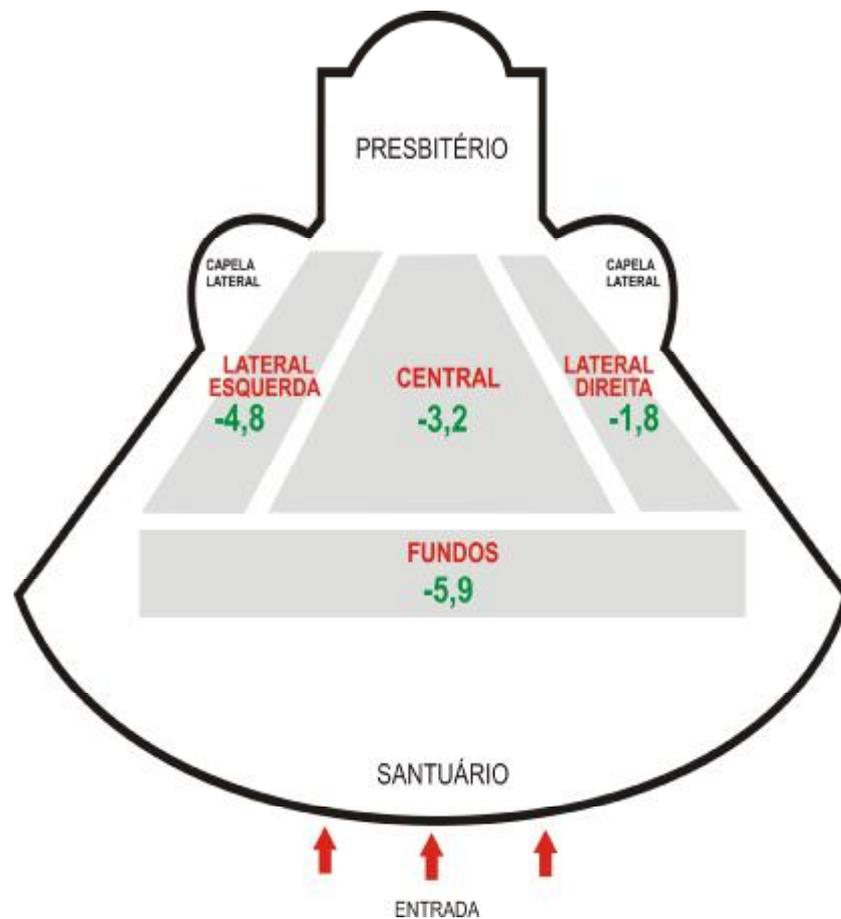


Figura 34: planta esquemática com a distribuição de Clareza em 500 Hz

Em relação ao parâmetro Clareza, o comportamento das curvas, apresentado na Figura 35 revela que a energia das reflexões que chega ao ouvinte após 80 ms é superior à energia

anterior a esse trecho, pois apresenta hegemonia de valores negativos, sendo que a única região que apresentou valor dentro da faixa indicada como ideal pelo conteúdo explicativo do programa computacional dB Bati (01 dB, 2000), foi a área *Lateral Esquerda*. Isso é característico de salas altamente reverberantes.

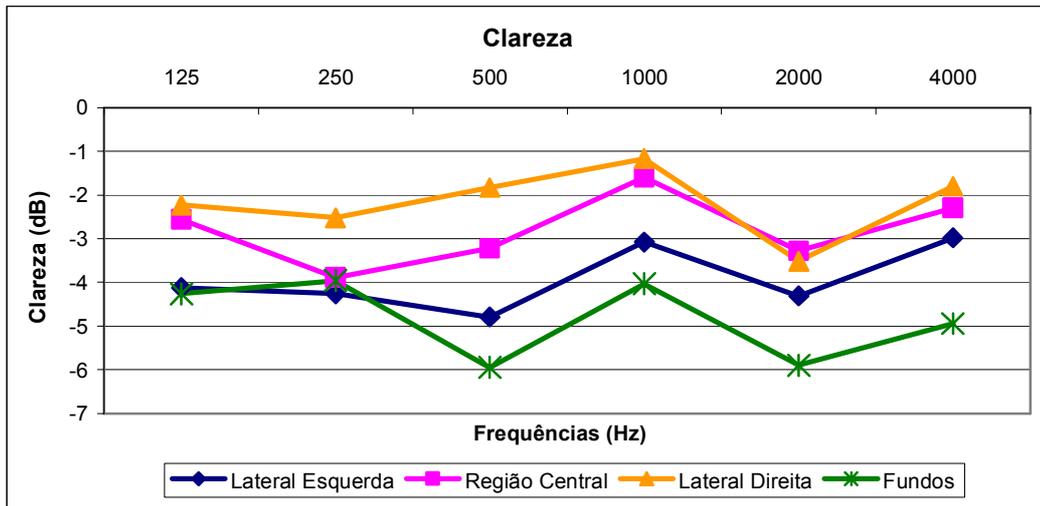


Figura 35: gráfico de Clareza em função da frequência

O desvio padrão, representado na Tabela 13, revela que o parâmetro Clareza é bastante disperso e irregular, conferindo que a percepção da Clareza musical é consideravelmente variada conforme o local em que o freqüentador se posiciona.

Tabela 13: Médias de Clareza em todas as frequências e desvio padrão

	Lateral Esquerda	Central	Lateral Direita	Fundos
125	-4,1 ± 2,9	-2,6 ± 1,9	-2,2 ± 1,7	-4,3 ± 2,2
250	-4,3 ± 3,0	-3,9 ± 2,2	-2,5 ± 2,6	-4 ± 1,8
500	-4,8 ± 3,1	-3,2 ± 3,6	-1,8 ± 4,3	-5,9 ± 1
1000	-3,1 ± 2,7	-1,6 ± 3,7	-1,2 ± 3,2	-4 ± 1
2000	-4,3 ± 3,5	-3,3 ± 2,8	-3,5 ± 3,4	-5,9 ± 0,9
4000	-3,0 ± 3,5	-2,3 ± 3,2	-1,8 ± 3,2	-4,9 ± 0,8

Os resultados indicam que a clareza musical na Basílica não se encontra adequada conforme o indicado como ideal na bibliografia técnica. Assim como em Definição, observa-

se que a posição em que o ouvinte está localizado influenciará no tipo de percepção que o mesmo terá da música executada.

4.2.1.5 Índice de Transmissão da Fala (STI)

Os dados para STI foram obtidos também com a resposta impulsiva da sala, onde se calculou a média de cada região da mesma maneira que nos outros parâmetros. O resultado é um número global que é interpretado seguindo uma tabela de valores, como mostrado no capítulo de revisão bibliográfica. Tais valores indicam a condição da sala e variam de 0 a 1.

A Figura 36 mostra uma planta esquemática da Basílica com os valores médios de STI por região.

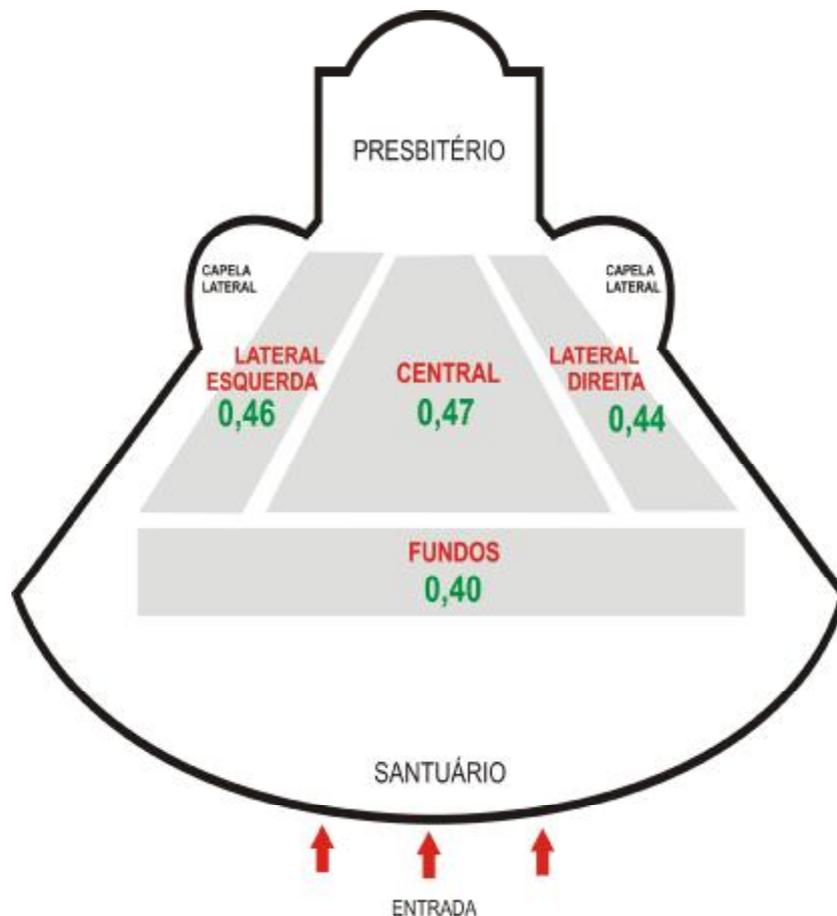


Figura 36: planta esquemática com a distribuição de STI

Conforme se observa, duas regiões classificam-se como “razoável” apresentando média de 0,46 e 0,47, porém esse resultado é muito próximo do limite de “pobre”, que são os valores das outras duas regiões. A área mais prejudicada é a dos fundos, como mostram os outros parâmetros.

Analisando o Desvio Padrão apresentado na Tabela 14 verifica-se que a variabilidade é pequena, ressaltando-se que a região *Fundos* apresenta a menor alteração. Isso pode ser explicado pela similaridade de distância entre fonte-receptor para todos os pontos. Salienta-se, no entanto, que essa mínima variação pode ocasionar uma troca nos índices de classificação do STI.

Tabela 14: desvio padrão do STI

	Desvio Padrão
Lateral Esquerda	0,07
Central	0,08
Lateral Direita	0,08
Fundos	0,03

Os resultados de STI, com essa distribuição de fontes, apontam que a inteligibilidade do discurso na Basílica não está satisfatória, variando entre *Pobre* e *Razoável*, conforme a posição em que o ouvinte se localiza.

4.3 Ensaio com Dispositivo de madeira em oito pontos de emissão

Ao examinar a distribuição de amplificadores sonoros ao longo da edificação, uma terceira medição foi proposta, na tentativa de aproximação da situação real, mantendo as 16 posições de recepção (microfone), porém locando as fontes em oito pontos decorrentes da verificação do posicionamento das caixas sonoras.

A Figura 37 apresenta os 16 pontos de captação do sinal impulsivo, representados pelos pontos cinza e as 8 posições de fonte, representados pelos pontos vermelhos.

Além dos parâmetros referentes à acústica de salas, registrou-se também o ruído de fundo do ambiente. Para isso, dois pontos foram escolhidos, sendo um locado perto do presbitério e o outro próximo à porta de entrada principal. Detectou-se um valor global de 56 dB(A) próximo ao presbitério e de 58 dB(A) próximo à porta de entrada.

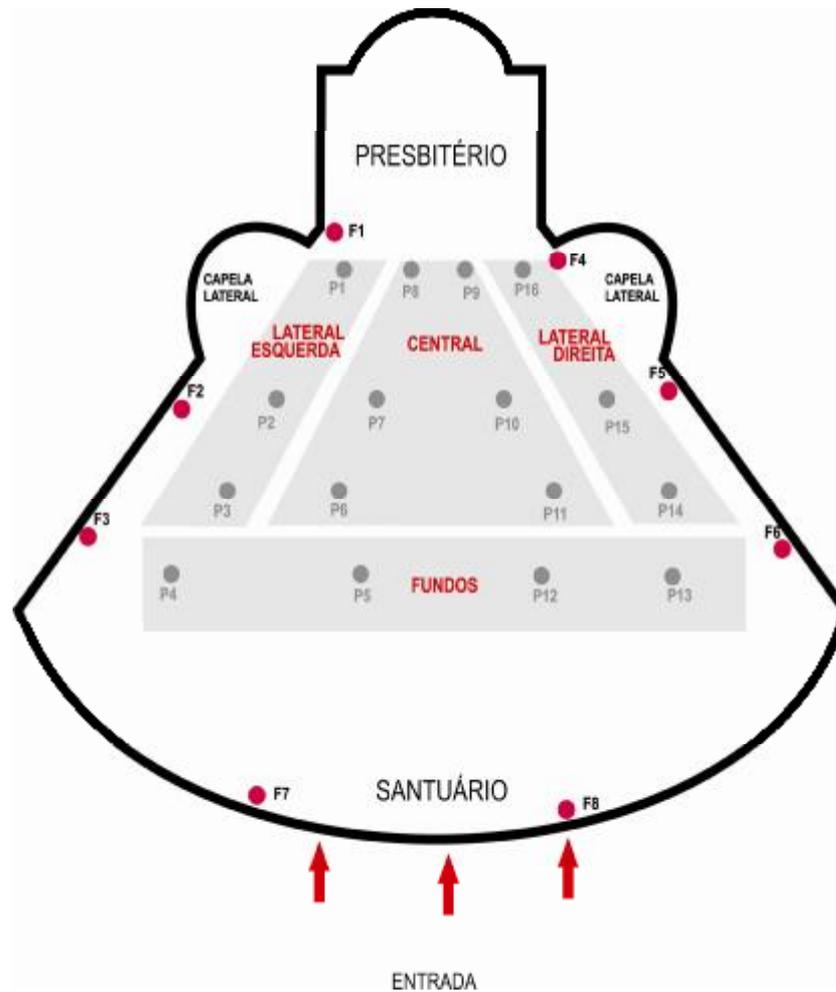


Figura 37: planta esquemática com a disposição dos 8 pontos de emissão e 16 pontos de captação do sinal impulsivo

A relação de distância, em metros, entre os oito pontos de emissão do sinal impulsivo e os dezesseis pontos de captação do sinal, que totalizaram 384 medições (8x16x3), é representada pela Tabela 15, onde se verifica que a Fonte 1 e Ponto 1 apresentam a menor distância com 3,70 m e a Fonte 3 e Ponto 13 representam a maior distância com 40,4 m.

Tabela 15: distância em metros

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P1	3,70	9,00	20,40	14,90	21,90	32,50	24,00	29,00
P2	9,10	5,20	15,25	19,30	24,35	33,65	18,40	28,00
P3	14,60	5,70	10,65	24,15	28,00	36,20	12,50	28,00
P4	20,80	10,80	7,45	29,80	32,40	39,30	9,30	30,00
P5	21,80	15,90	16,10	27,00	27,15	32,30	4,90	23,00
P6	15,20	13,30	19,00	19,20	20,40	27,25	12,00	19,90
P7	9,70	11,90	20,85	14,40	18,00	27,10	18,80	23,30
P8	4,10	13,90	22,80	9,90	17,70	28,70	25,90	27,10
P9	7,30	17,10	25,70	25,70	14,50	6,50	27,70	25,30
P10	12,00	17,90	24,90	9,60	11,90	21,40	24,20	17,70
P11	18,20	22,00	27,60	14,00	10,80	17,30	19,60	11,80
P12	27,30	30,40	34,50	21,20	13,40	12,00	17,80	8,00
P13	29,90	35,35	40,40	20,30	10,20	4,00	29,50	9,00
P14	23,70	29,80	35,30	14,40	5,20	9,30	27,10	12,20
P15	18,90	25,50	32,20	10,30	5,10	14,00	26,70	17,50
P16	12,20	21,30	29,40	3,70	9,70	21,10	30,00	23,80

4.3.1 Resultados dos Parâmetros Acústicos

4.3.1.1 Tempo de Reverberação (TR)

Nesse item são apresentadas as médias, por regiões, dos resultados do Tempo de Reverberação em função da frequência. A Figura 38 ilustra uma planta esquemática da Basílica apresentando os resultados em 500 Hz.

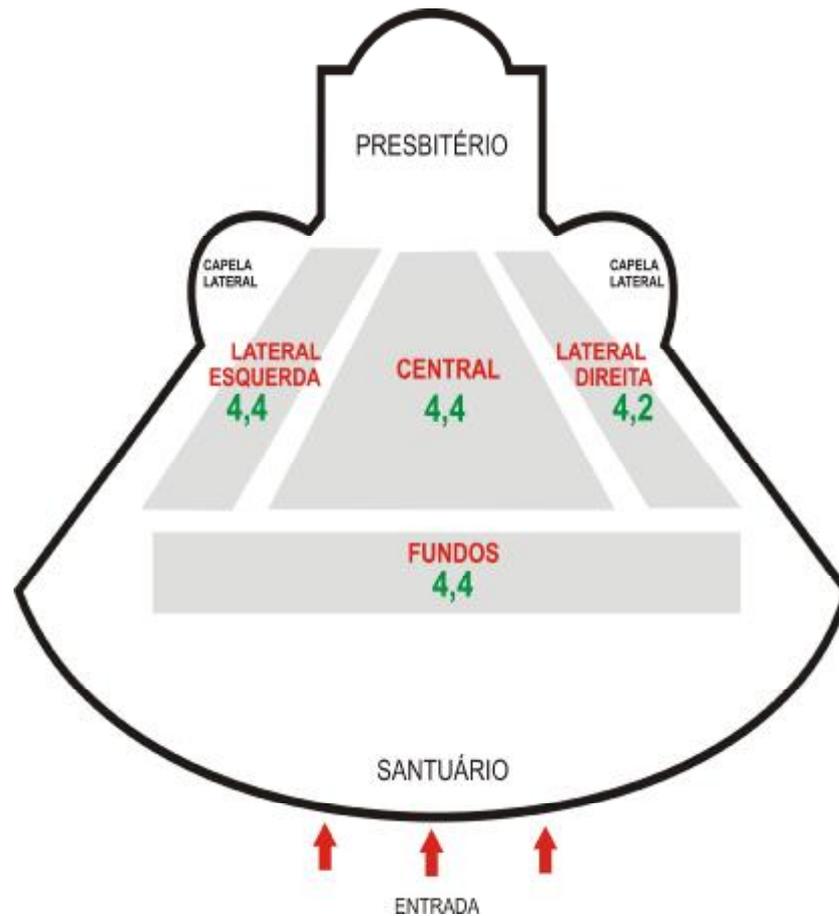


Figura 38: planta esquemática com a distribuição do TR.

As curvas, apresentadas na Figura 39, indicam uma característica semelhante entre si, com resultados mais elevados em 500 e 1000 Hz, girando em torno de 4,2 segundos.

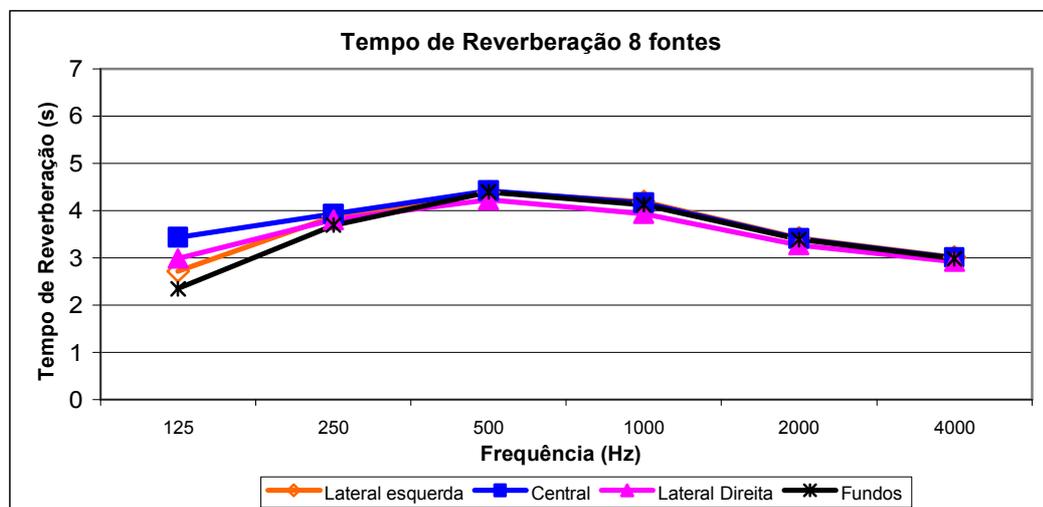


Figura 39: gráfico do Tempo de Reverberação por regiões

Relacionando esses dados com seus respectivos desvios padrão, representados na Tabela 16 verifica-se homogeneidade demonstrando que o alto tempo de reverberação está direcionado às características físicas do ambiente, pois as disparidades entre TR de cada ponto não são demasiadamente elevadas. São nas baixas frequências as maiores oscilações, o que se pode atribuir à precisão do dispositivo (fonte), cujos valores são mais confiáveis a partir de 250 Hz.

Verifica-se que o maior desvio padrão entre os pontos de captação do sinal impulsivo ocorre na região *Central*. Sabe-se que a reverberação está mais relacionada às propriedades físicas da sala e que essa região central encontra-se longe de paredes que podem influenciar nas reflexões, pode-se explicar essa variação como decorrente da capacidade impulsiva da fonte, tendo em vista as grandes dimensões da Basílica.

Tabela 16: Médias do TR em todas as frequências e desvio padrão

	Lateral Esquerda	Central	Lateral Direita	Fundos
125	2,7 ± 2,0	3,4 ± 2,7	3,0 ± 2,2	2,3 ± 2,3
250	3,9 ± 0,5	3,9 ± 0,8	3,8 ± 0,7	3,7 ± 0,6
500	4,4 ± 0,8	4,4 ± 0,8	4,2 ± 0,7	4,4 ± 0,5
1000	4,2 ± 0,3	4,2 ± 0,4	3,9 ± 0,2	4,1 ± 0,4
2000	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,5	3,3 ± 0,2	3,4 ± 0,2
4000	3,0 ± 0,3	3,0 ± 0,1	2,9 ± 0,2	3,0 ± 0,3

O diagnóstico dos resultados do Tempo de Reverberação com essa distribuição de fontes, indicou que os valores desse parâmetro estão fora das recomendações de Méndez et al. (1994), que indica um TR em torno de 1 segundo para salas onde se faz o uso da palavra e de 2 s para o uso de música popular. Valle (2007) confeccionou uma tabela indicando valores só para igrejas, como mostrado no capítulo 2 de revisão bibliográfica. No caso do objeto de estudo dessa pesquisa, que se enquadrava nas igrejas modernas, o autor indica um TR aproximado de 1,5 s. A NBR 12179 (1992) indica um TR em torno de 2,2 segundos para Igrejas Católicas (valores indicados para as igrejas vazias).

4.3.1.2 Tempo de decaimento inicial (EDT)

Nesse item são apresentadas as médias, por regiões, dos resultados de Tempo de Decaimento Inicial, em segundos, em função da frequência. A Figura 40 ilustra uma planta esquemática da Basílica, apresentando os resultados de EDT em 500 Hz.

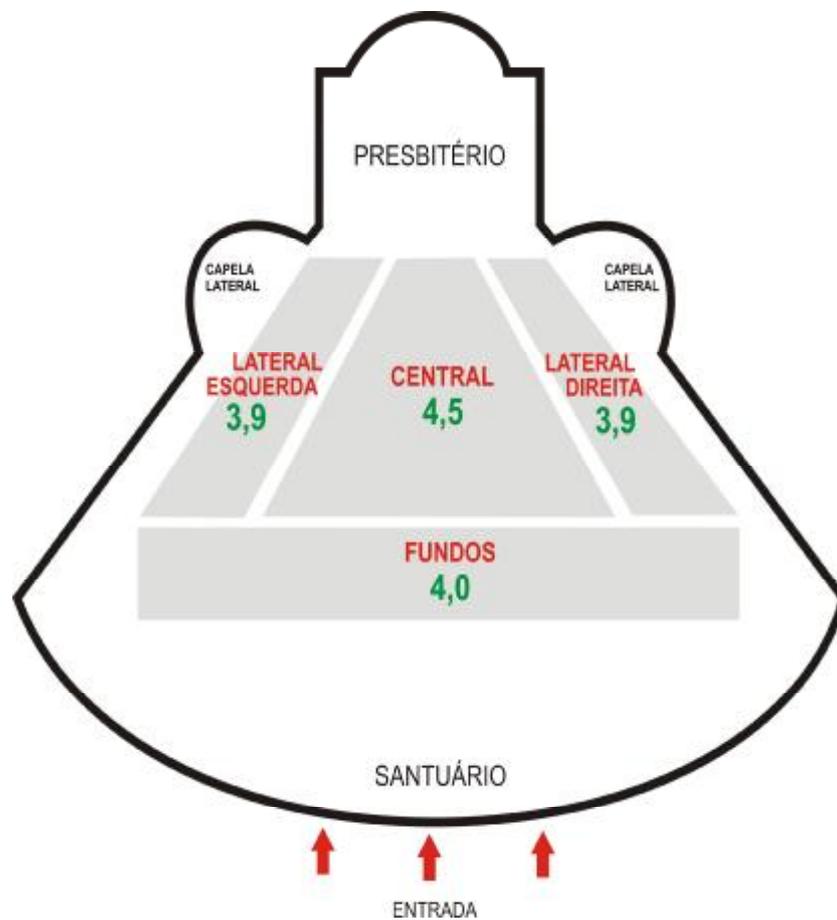


Figura 40: planta esquemática com a distribuição do EDT

As curvas de EDT, apresentadas na figura 41 mostram resultado semelhante ao TR, em que seu layout indica uma concavidade para baixo onde os resultados mais altos estão entre 500 e 1000 Hz. Na resposta ao EDT verifica-se na região *Central* o valor mais elevado para 500 Hz (4,5 s).

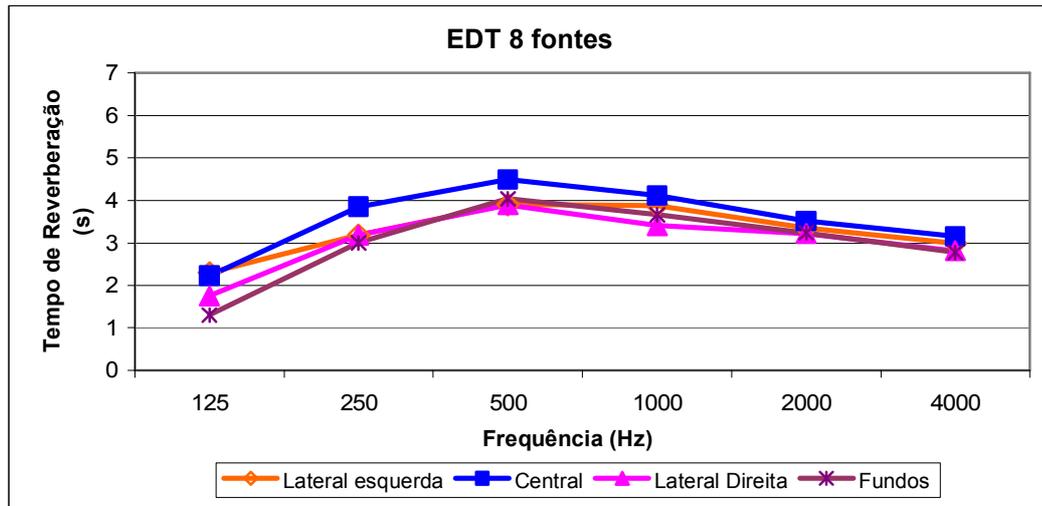


Figura 41: gráfico do EDT por regiões

O desvio padrão apresentado na Tabela 17 mostra que nessa disposição de fontes a variabilidade do EDT é ligeiramente maior em relação ao TR, detectando-se que isso ocorre em todas as regiões.

Tabela 17: Médias do EDT em todas as frequências e desvio padrão

	Lateral Esquerda	Central	Lateral Direita	Fundos
125	2,3 ± 1,8	2,2 ± 2,0	1,8 ± 1,5	1,3 ± 1,1
250	3,2 ± 1,1	3,8 ± 1,1	3,2 ± 1,3	3,0 ± 1,5
500	3,9 ± 1,0	4,5 ± 0,8	3,9 ± 1,2	4,0 ± 1,1
1000	3,9 ± 1,0	4,1 ± 0,7	3,4 ± 1,1	3,7 ± 1,1
2000	3,4 ± 0,5	3,5 ± 0,4	3,2 ± 0,7	3,2 ± 0,8
4000	3,0 ± 0,5	3,2 ± 0,3	2,8 ± 0,7	2,8 ± 0,8

A análise do Tempo de Decaimento Inicial com essa distribuição de fontes, mostra que a sensação de reverberação está sendo percebida pelo ouvinte, embora apresentando resultados ligeiramente menores que o TR, os valores são altos, conseqüentemente interferindo no bom entendimento do discurso e da música executados na Basílica estão prejudicados.

4.3.1.3 Definição (D50)

A Figura 42 apresenta uma planta esquemática da Basílica identificando os valores de Definição em 500 Hz, em percentagem.

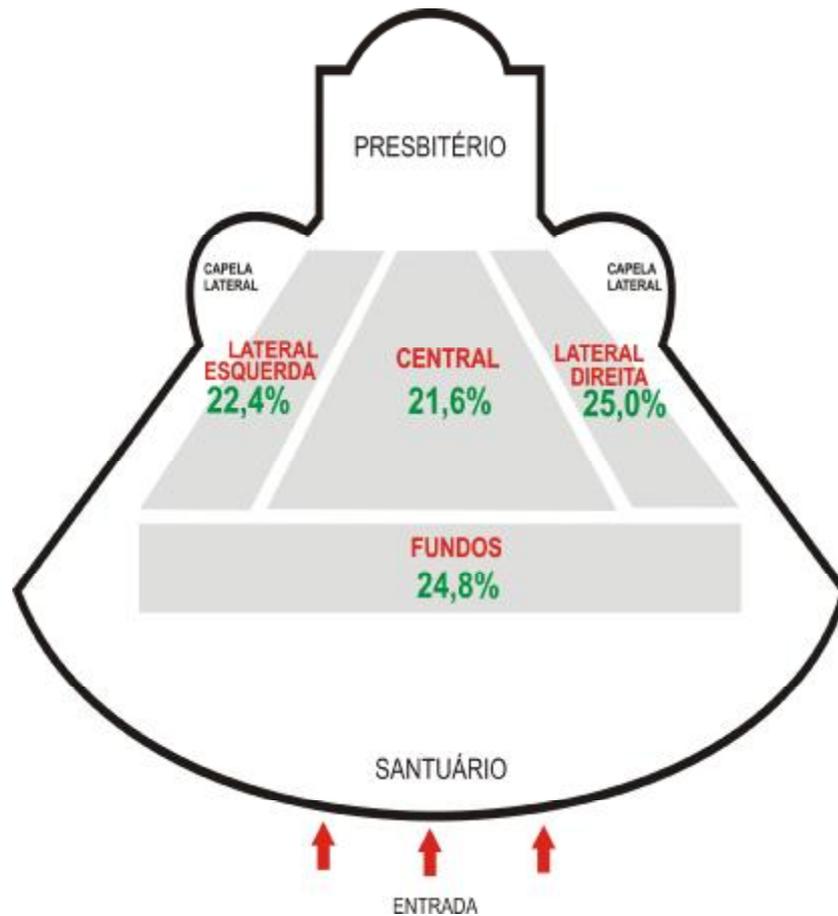


Figura 42: planta esquemática com a distribuição de Definição

Ao analisar a planta esquemática e o gráfico, apresentado na Figura 43, constata-se o maior valor na região *Lateral Direita* (LD), atingindo 25%. A área *Central* está desfavorecida no que se refere ao bom entendimento do discurso, com essa distribuição de fonte, pois apresenta um baixo índice de 21,6%. Possivelmente a energia sonora não alcança com eficácia essa área, onde os pontos estão mais afastados das fontes.

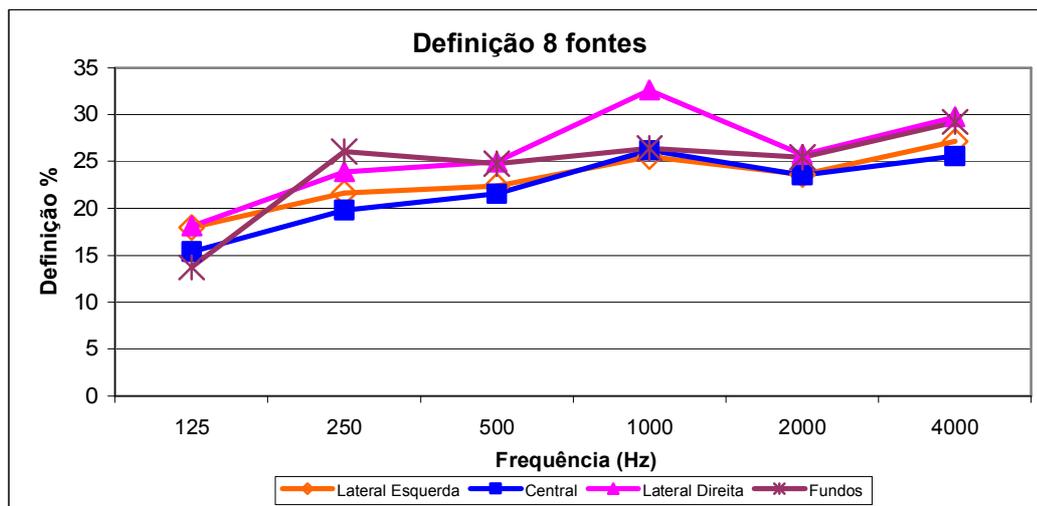


Figura 43: gráfico de Definição por regiões

Quanto ao desvio padrão, representado na Tabela 18, as regiões que apresentam maiores índices são aquelas localizadas mais próximas das fontes. Isso pode ser explicado pelo fato de se ter pontos próximos da localização de emissão do sinal e outros com uma distância considerável, na mesma área de análise. A região *Central* apresentou menores valores, pois ali todos os pontos de recepção do sinal impulsivo possuem distâncias consideráveis das fontes de emissão do sinal, com esta distribuição.

Tabela 18: Médias de Definição em todas as frequências e desvio padrão.

	Lateral Esquerda	Central	Lateral Direita	Fundos
125	18,0 ± 12,5	15,4 ± 8,7	18,1 ± 11,4	13,7 ± 9,9
250	21,6 ± 10,7	19,8 ± 8,6	23,9 ± 14,8	26,1 ± 12,2
500	22,4 ± 15,3	21,6 ± 10,9	25,0 ± 16,1	24,8 ± 16,2
1000	25,5 ± 17,8	26,2 ± 13,6	32,6 ± 19,3	26,4 ± 15,0
2000	23,6 ± 12,0	23,5 ± 9,5	25,7 ± 15,3	25,5 ± 15,1
4000	27,2 ± 13,3	25,5 ± 9,6	29,7 ± 15,3	29,2 ± 16,4

Levando-se em conta essa configuração de emissão dos sinais sonoros, os resultados de Definição demonstram que a edificação não está adequada para o discurso, tendo em vista que o maior valor encontrado é de 32%, para frequência de 1000 Hz apenas na região *Lateral Direita*.

4.3.1.4 Clareza (C80)

A Figura 44 ilustra uma planta esquemática da Basílica apresentando os resultados de Clareza em 500 Hz, em dB.

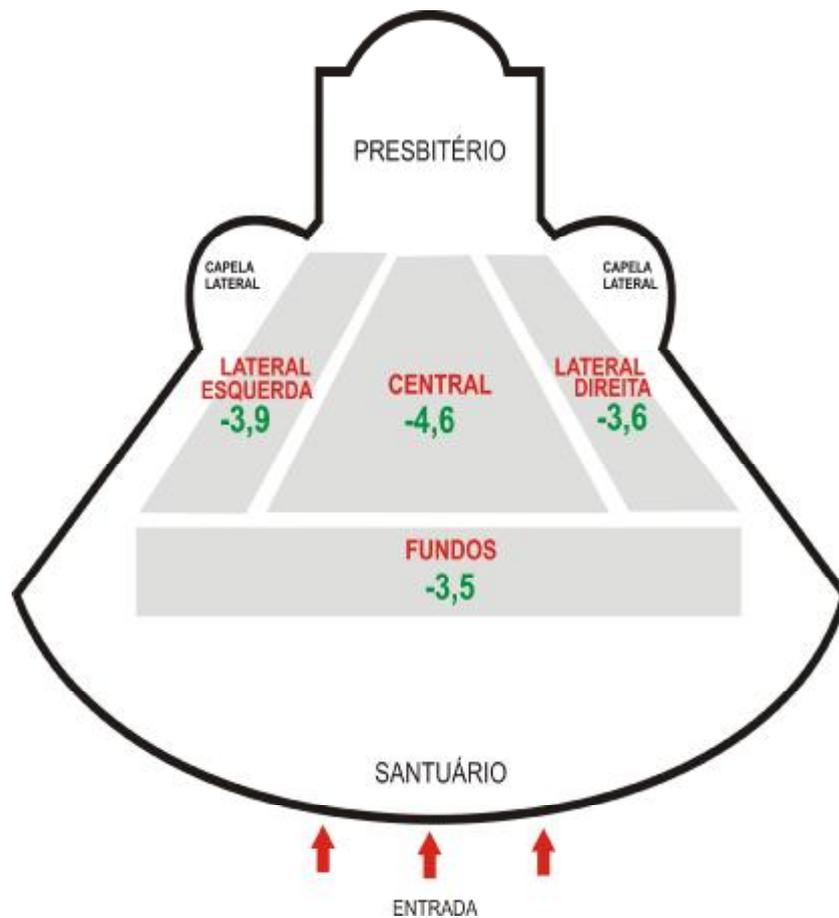


Figura 44: planta esquemática com a distribuição de Clareza

Ao analisar o parâmetro Clareza, na planta esquemática e no gráfico apresentado na Figura 45, verifica-se que há um evidente excesso de reflexões tardias, ou seja, após 80 ms, em todas as regiões, pois existe superioridade de resultados negativos. A área *Central* apresenta os menores valores, atingindo -4,6 dB em 500 Hz, constatando-se que nesse local a Clareza para a música encontra-se em maior prejuízo.

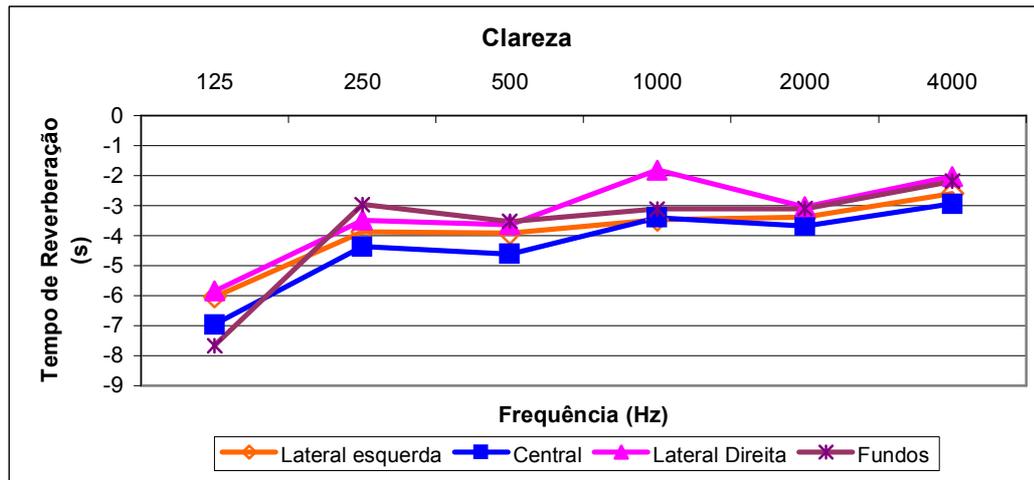


Figura 45: gráfico de Clareza por regiões

O desvio padrão apresentado na Tabela 19, mostra que existe uma notória variabilidade de resultados em função do ponto de medição, indicando que o comportamento de C80 é disperso e irregular em todas as regiões da Basílica, apontando que quanto mais próximo da fonte sonora, a energia sonora entre 0-80 ms tende a ser superior.

Tabela 19: Médias de Clareza em todas as frequências e desvio padrão

	Lateral Esquerda	Central	Lateral Direita	Fundos
125	-6,0 ± 3,8	-7,0 ± 3,3	-5,9 ± 3,6	-7,7 ± 4,1
250	-3,9 ± 2,5	-4,4 ± 2,1	-3,5 ± 3,0	-3,0 ± 2,4
500	-3,9 ± 2,9	-4,6 ± 2,3	-3,6 ± 3,0	-3,5 ± 3,2
1000	-3,5 ± 3,4	-3,4 ± 2,5	-1,8 ± 3,3	-3,1 ± 2,9
2000	-3,4 ± 2,3	-3,7 ± 1,9	-3,0 ± 2,9	-3,1 ± 3,0
4000	-2,6 ± 2,4	-2,9 ± 1,8	-2,0 ± 2,7	-2,2 ± 3,1

Os resultados confirmam que a clareza musical não se encontra perfeitamente adequada, pois o bom entendimento das notas musicais e também da letra cantada estão prejudicados para o estilo musical executado na Basílica, para o qual os limites indicados no manual explicativo do programa computacional dB Bati (01 dB, 2000) recomenda entre -2 dB até +2 dB. Valle (2007) indica valores entre 0 dB a 4 dB para instrumentos de cordas e corais.

4.3.1.5 Índice de Transmissão da fala (STI)

O parâmetro STI foi calculado a partir da resposta impulsiva da mesma medição que originou os dados para os parâmetros anteriores, onde a Figura 46 ilustra uma planta esquemática da Basílica dividida por regiões com os respectivos valores médios de STI apresentados.

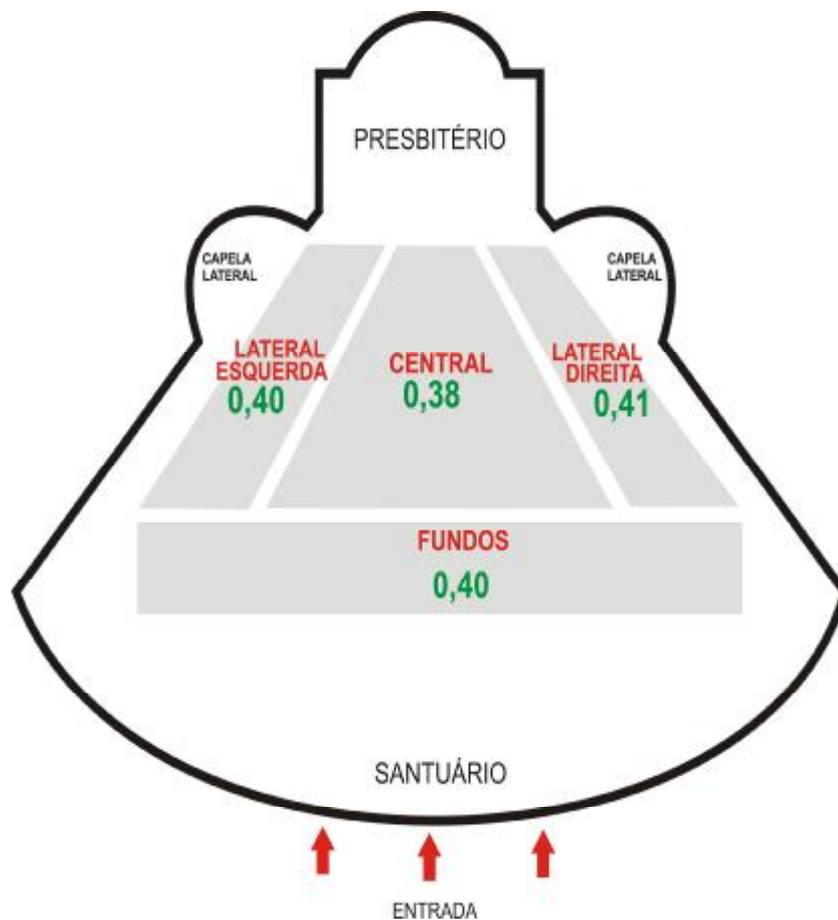


Figura 46: planta esquemática com a distribuição de STI

Conforme se observa na planta esquemática todas as regiões classificam-se como *Pobre* sendo que a área mais prejudicada é a *Central*, na qual resultou o menor STI, ou seja, o valor de 0,38.

Os desvios padrões, apresentados na Tabela 20, constituem-se de valores semelhantes, mas indicam a existência de variabilidade entre os resultados. A região *Central* apresenta a menor alteração. Salienta-se, no entanto, que mesmo pequena essa variação pode ocasionar uma troca nos índices de classificação do STI.

Tabela 20: desvio padrão do STI.

	Desvio Padrão
Lateral Esquerda	0,06
Central	0,05
Lateral Direita	0,07
Fundos	0,07

Os resultados de STI indicam que a inteligibilidade do discurso na Basílica não está satisfatória, sendo que o maior valor encontra-se na região *Lateral Direita*, que alcançou 0,41, classificando-se como *Pobre*.

4.4 Comparativo das diferentes distribuições de fontes

Um trabalho de comparação de resultados entre as várias disposições de emissão do sinal foi efetuado. A análise dos parâmetros acústicos como TR, EDT, D50, C80 foi realizada a partir de dois ensaios realizados *in loco* e que totalizaram 528 medições.

O primeiro ensaio caracterizou-se por 3 fontes distribuídas em frente ao presbitério e o segundo com 8 fontes distribuídas ao longo da Basílica, segundo a localização das caixas de som, utilizadas como reforço sonoro.

Para fins de análise, com a distribuição de 8 fontes foi possível fazer uma terceira comparação, na qual retirou-se as respostas dos dois emissores impulsivos localizados nos fundos, perto das portas de entrada, obtendo-se uma distribuição com apenas 6 pontos de fonte situados próximos das paredes laterais da Basílica. Essa simulação foi realizada

levando-se em conta o fato dos bancos, na região considerada *Fundos* estarem distantes das portas de acesso, caracterizando um grande espaço vazio, utilizado apenas nos grandes eventos, por pessoas em pé.

Os resultados dos parâmetros acústicos nessa análise comparativa estão distribuídos conforme as regiões: Lateral Esquerda (LE), Central (C), Lateral Direita (LD) e Fundos (F). Cada parâmetro (TR, EDT, D50, C80 e STI) possui quatro gráficos, cada um representando uma região. São mostradas as médias dos resultados obtidos em cada região, com as diferentes disposições de emissão do sinal impulsivo, respectivamente: três, seis e oito fontes.

Com o propósito de facilitar a interpretação dos resultados, o desvio padrão é indicado através das barras localizadas em cada coluna representativa das médias.

4.4.1 Tempo de reverberação e respectivos desvios padrões

As Figuras 47, 48, 49 e 50 apresentam os resultados de Tempo de Reverberação com as três configurações de emissão do sinal impulsivo, ou seja: 3, 6 e 8 fontes. As barras representam o desvio padrão.

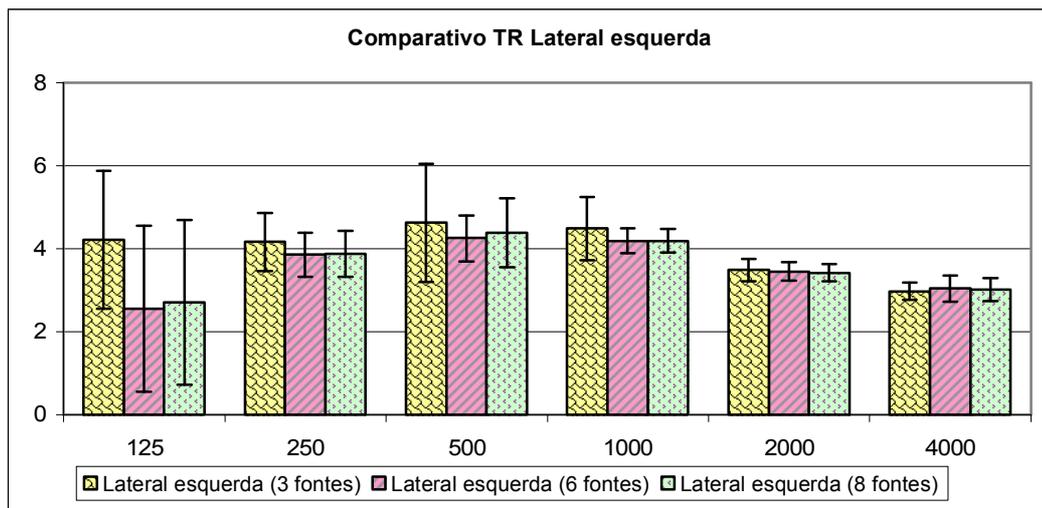


Figura 47: TR médio com as três diferentes configurações de fonte, região *Lateral Esquerda*

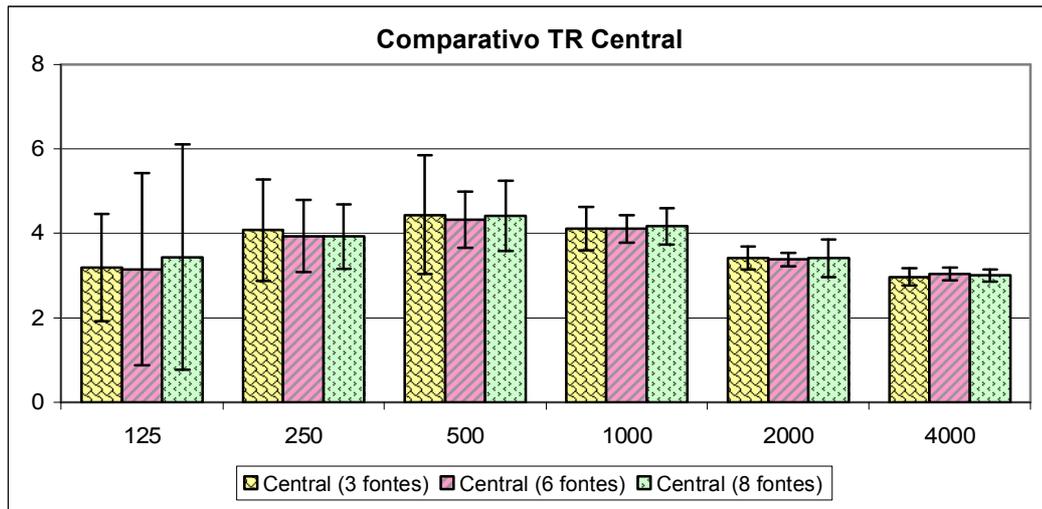


Figura 48: TR médio com as três diferentes configurações de fonte, região *Central*

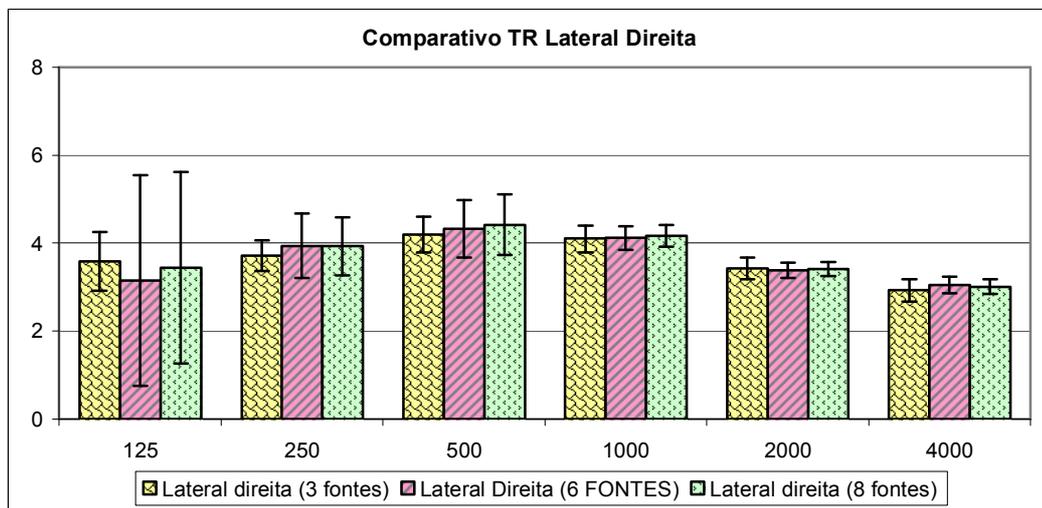


Figura 49: TR médio com as três diferentes configurações de fonte, região *Lateral Direita*

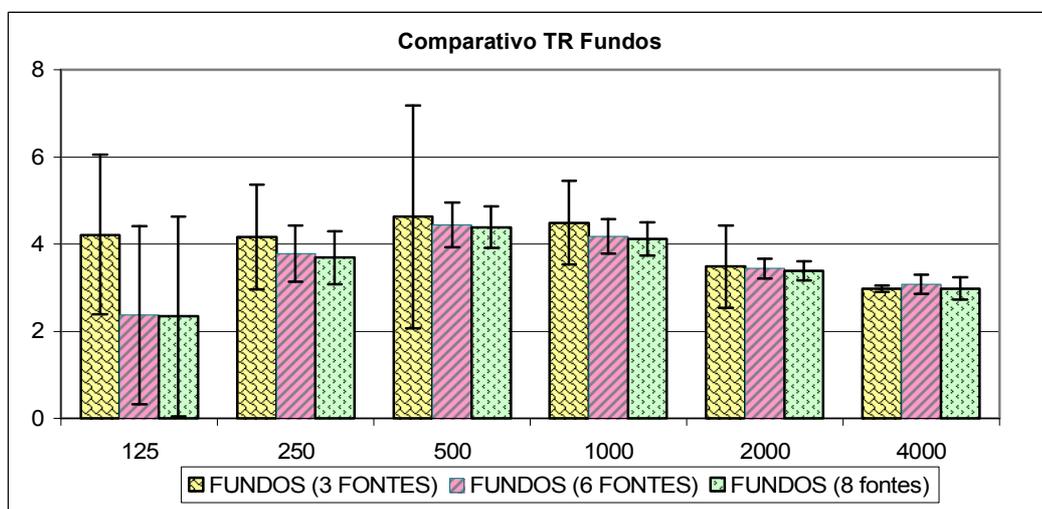


Figura 50: TR médio com as três diferentes configurações de fonte, região *Fundos*

Ressalta-se que o TR é maior nas frequências de 500 e 1000 Hz. Essa característica é verificada em todas as distribuições de fonte e também nas quatro regiões de análise. O valor do TR em 500 Hz, que é uma frequência de interesse para fala, gira em torno de 4 segundos. Essa faixa de valores para o tempo de reverberação é verificada em todas as regiões analisadas (LE,C,LD e F), ocorrendo algumas variações decorrentes das características físicas e geométricas da Basílica e da precisão do dispositivo impulsivo.

O desvio padrão é grande especialmente nas baixas frequências, onde já se sabe que o dispositivo não é tão preciso.

O TR de 4 segundos em 500 Hz mostra que esse valor está acima do índice de 1s recomendado por Méndez et. al. (1994) e Egan (1988) para salas, com volume semelhante ao da Basílica, onde se executa o discurso. No que se refere à execução de música, os resultados mostram a inadequação do ambiente também para essa finalidade, onde a bibliografia técnica recomenda valor em torno de 2 segundos. Valle (2007) indica um valor específico para igrejas contemporâneas, indicando 1,5s para um volume em torno de 10.000 m³. O autor não diferencia TR para música ou fala no caso dessas igrejas, pois sabe-se que nessas edificações se faz o uso dos dois instrumentos de propagação das doutrinas religiosas. A NBR 12179 (1992) também fornece um TR médico para Igrejas Católicas, cujo índice é em torno de 2,2 segundos.

4.4.2 Tempo de decaimento inicial e respectivos desvios padrões

As Figuras 51, 52, 53 e 54 apresentam os resultados de Tempo de Decaimento Inicial com as três configurações de emissão do sinal impulsivo, ou seja: 3, 6 e 8 fontes. As barras representam o desvio padrão.

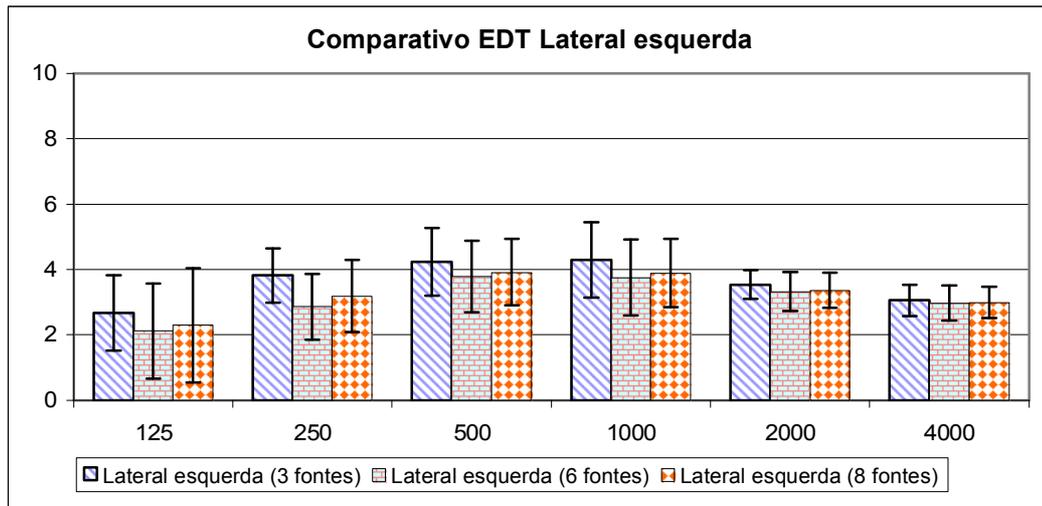


Figura 51: EDT médio com as três diferentes configurações de fonte, região *Lateral Esquerda*

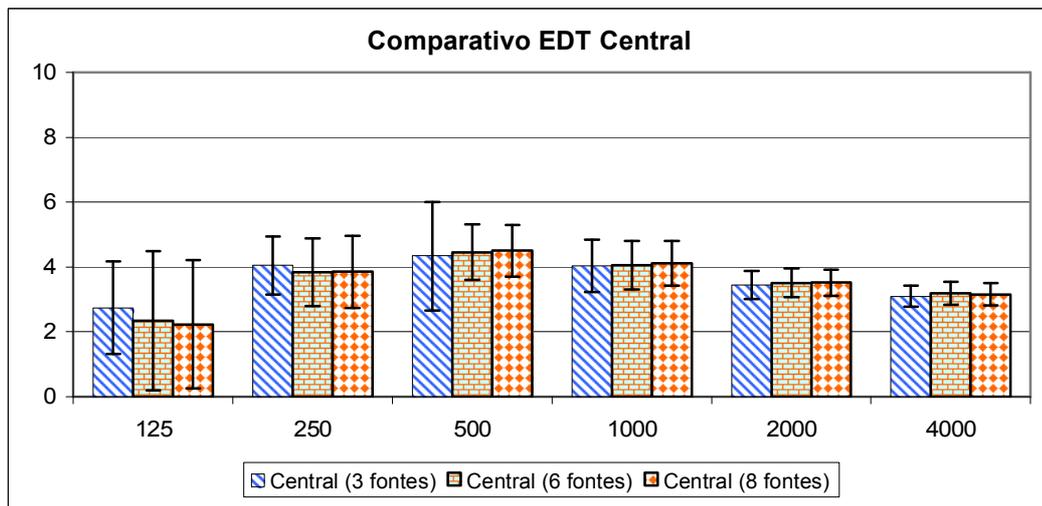


Figura 52: EDT médio com as três diferentes configurações de fonte, região *Central*

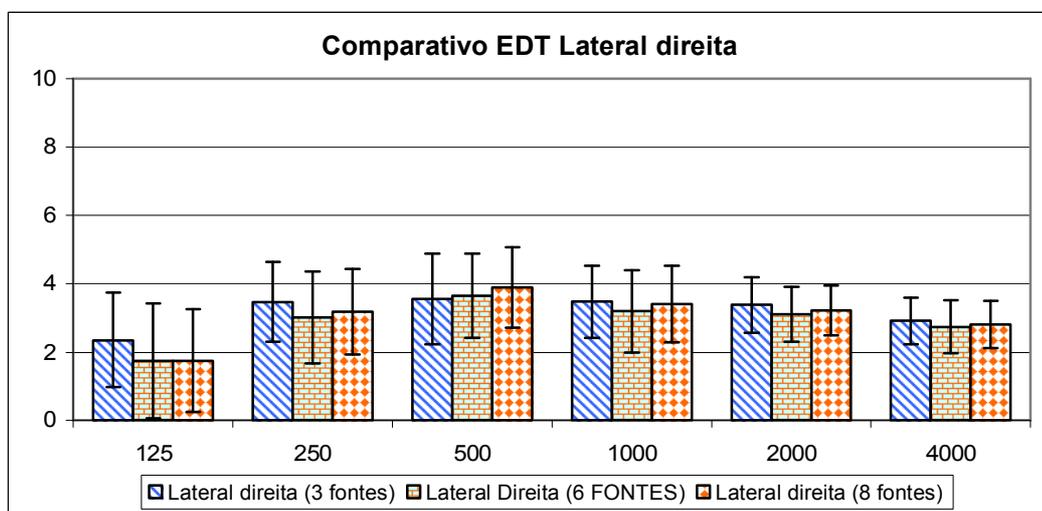


Figura 53: EDT médio com as três diferentes configurações de fonte, região *Lateral Direita*

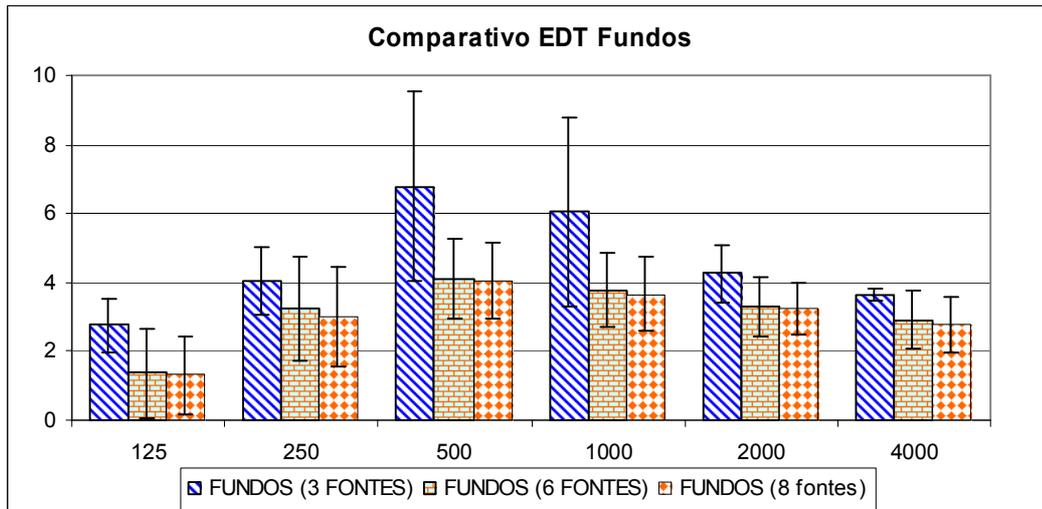


Figura 54: EDT médio com as três diferentes configurações de fonte, região *Fundos*

Os resultados de EDT são semelhantes ao TR, com exceção de *Fundos* que mostrou maior diferença para a composição de 3 fontes, o que se pode relacionar ao fato dos pontos localizados nessa região possuírem distâncias expressivas da origem do sinal. Tendo em vista que o EDT é um parâmetro que se relaciona mais fortemente à percepção de reverberação pelo ouvinte que o TR, os resultados entre 3,5s e 4s, em 500 Hz, são altos, prejudicando o desempenho acústico da edificação.

A dispersão das respostas representadas pelos desvios padrões, caracterizam certa homogeneidade, com exceção de *Fundos*, que apresenta a maior disparidade de valores, em especial em 500 e 1000 Hz, bandas de frequência importantes para o discurso.

4.4.3 Definição e respectivos desvios padrões

As Figuras 55, 56, 57 e 58 apresentam os resultados de Definição (D50) com as três configurações de emissão do sinal impulsivo, ou seja: 3, 6 e 8 fontes. As barras representam o desvio padrão.

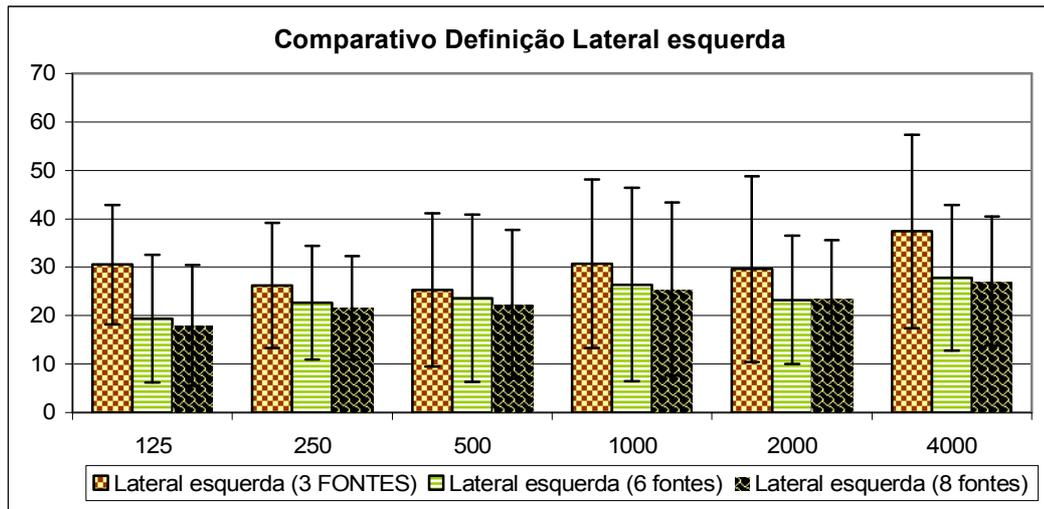


Figura 55: Definição média com as três diferentes configurações de fonte, região *Lateral Esquerda*

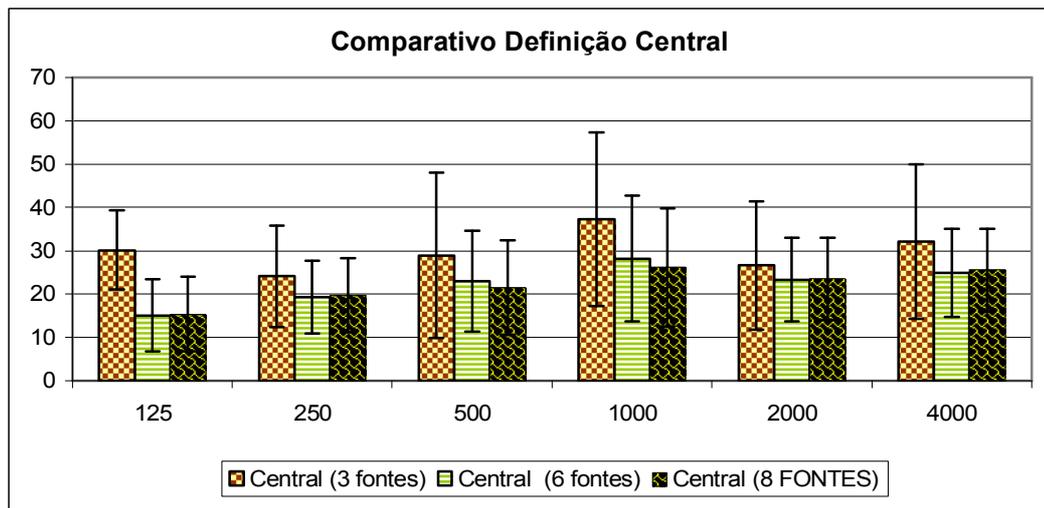


Figura 56: Definição média com as três diferentes configurações de fonte, região *Central*

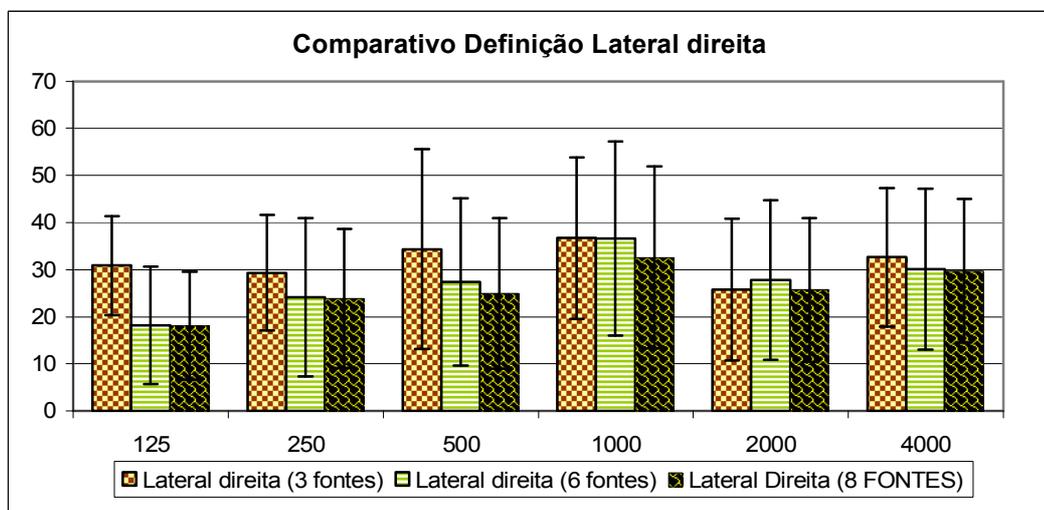


Figura 57: Definição média com as três diferentes configurações de fonte, região *Lateral Esquerda*

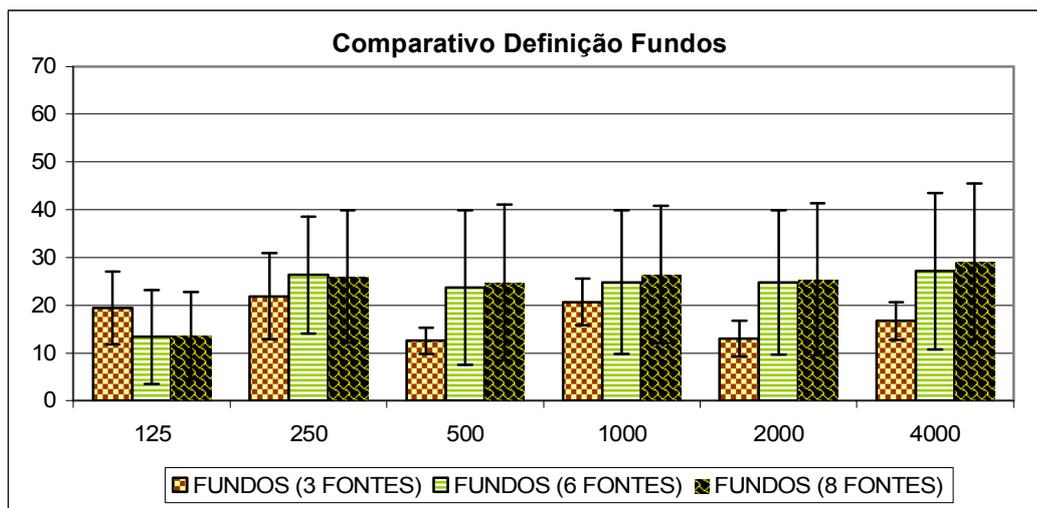


Figura 58: Definição média com as três diferentes configurações de fonte, região *Fundos*

Com base nos resultados apresentados, observa-se que a Definição atinge pico próximo de 40%, na região *Central*, com 3 fontes e na *Lateral Direita* com 3 e 6 fontes, em 1000 Hz. A região *Fundos* possui um baixo índice de definição do discurso não atingindo 30% para nenhuma das configurações de fonte. As melhores respostas obtidas na região *Fundos* ocorreu com o emprego das 8 fontes, o que pode ser explicado pela menor distância entre fonte-receptor, devido a presença das duas fontes colocadas próximas a parede de entrada da Basílica.

Os baixos valores de Definição, mesmo após a inserção de fontes mais próximas dos pontos localizados em *Fundos* podem estar sendo influenciados pelo ruído de fundo do local.

Ao se analisar o alto índice de desvio padrão, fica claro que os valores de D50 estão dispersos, variando conforme a posição de medição. A relação de distância entre fonte-receptor influencia nesse alto desvio, pois ao mesmo tempo em que existem microfones bem próximos às fontes, também se observa outros bem afastados, ocasionando uma oscilação dos resultados. A baixa dispersão em *Fundos* com a distribuição de 3 fontes, se deve ao fato de que todos os pontos localizados nessa região apresentam distâncias aproximadamente homogêneas.

4.4.4 Clareza e respectivos desvios padrões

As Figuras 59, 60, 61 e 62 apresentam os resultados de Clareza (C80) com as três configurações de emissão do sinal impulsivo, ou seja: 3, 6 e 8 fontes. As barras representam o desvio padrão.

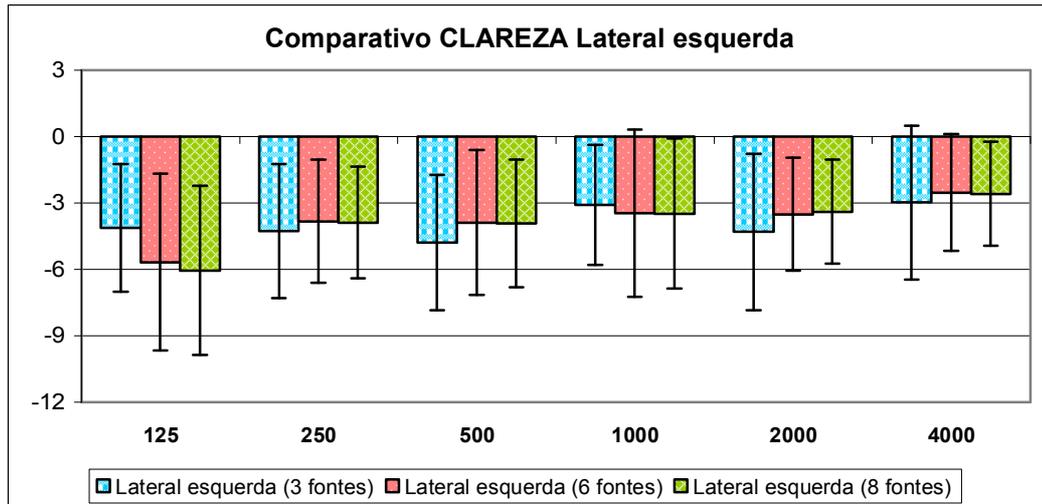


Figura 59: Clareza média com as três diferentes configurações de fonte, região *Lateral Esquerda*

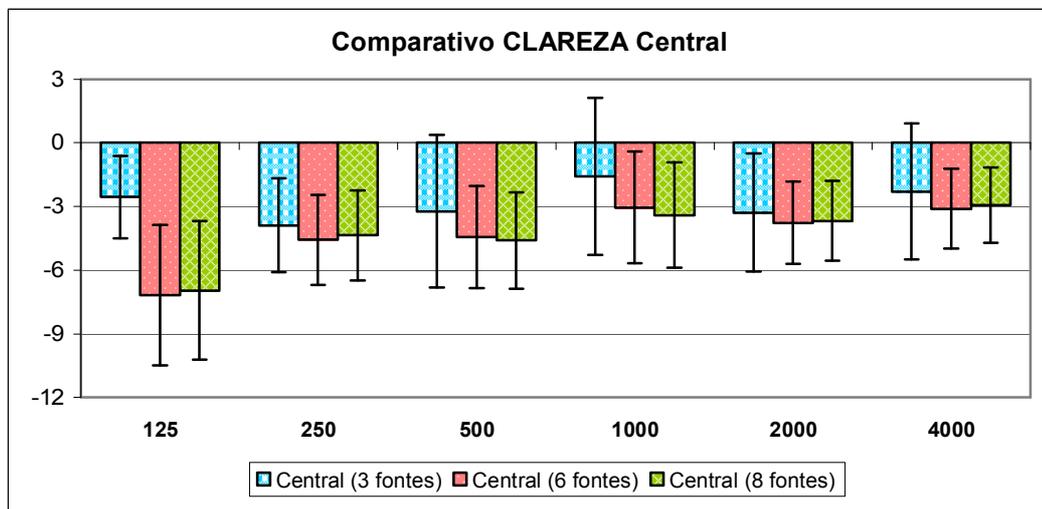


Figura 60: Clareza média com as três diferentes configurações de fonte, região *Central*

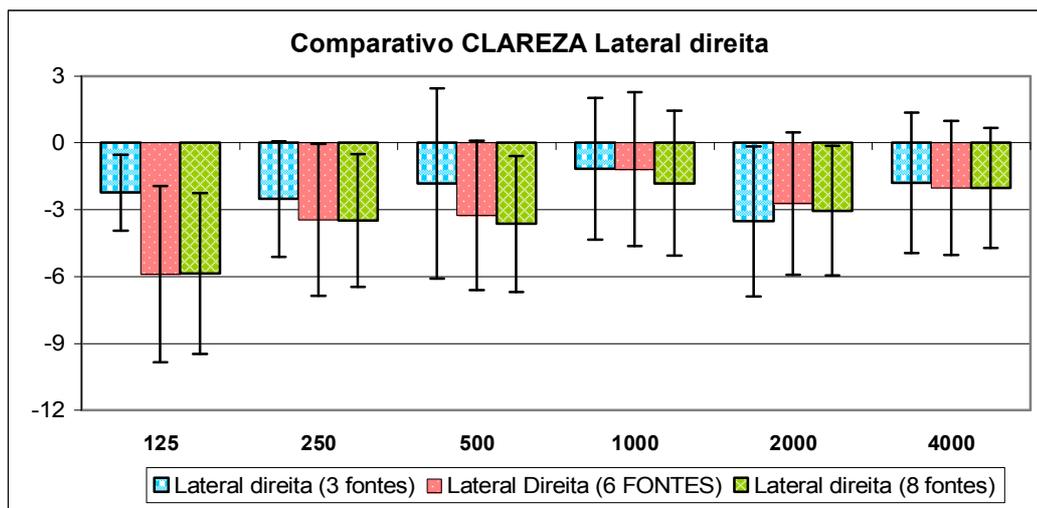


Figura 61: Clareza média com as três diferentes configurações de fonte, região *Lateral direita*

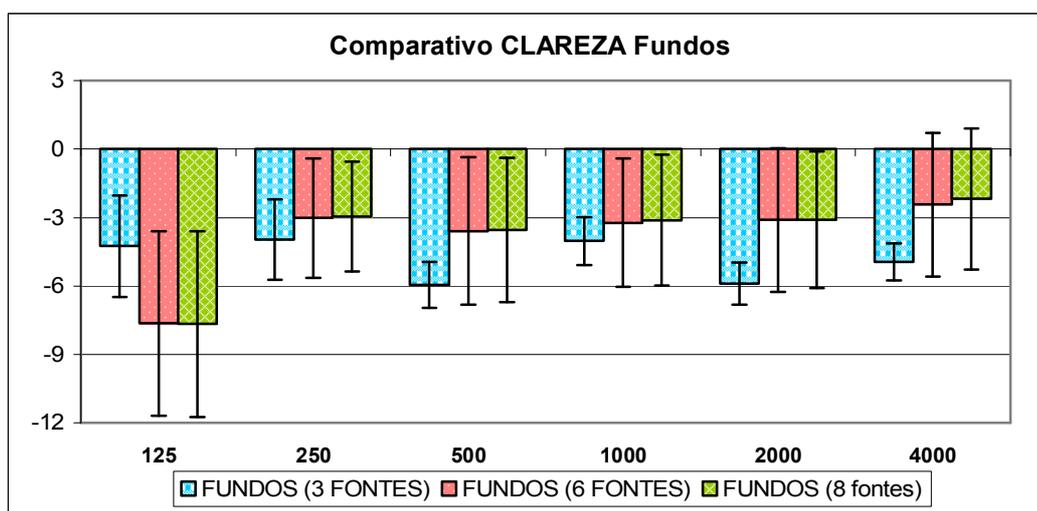


Figura 62: Clareza média com as três diferentes configurações de fonte, região *Fundos*

Ao analisar os gráficos, observa-se que o parâmetro Clareza se apresenta bastante disperso e irregular em todas as frequências e nas variadas distribuições das fontes sonoras. A locação de 3 fontes apresentou alguns valores ligeiramente vantajosos nas áreas denominadas *Lateral Direita* e *Central*. Isso, porém, não representa a situação real de emissão sonora no dia-dia da Basílica, devido a presença dos alto-falantes laterais e no fundo.

A configuração de 8 fontes, sendo a mais próxima da realidade entre as três distribuições, resultou em índices inadequados e grande variabilidade das respostas indicando a ocorrência do excesso das reflexões tardias, ou seja, após 80 ms. Esses resultados podem ser relacionados tanto ao alto tempo de reverberação, que tende a tornar a percepção musical obscura, quanto às características físicas e geométricas da edificação.

Com base nos dados apresentados e na constatação da supremacia de valores negativos, observa-se que a edificação não apresenta boa Clareza das articulações musicais, como mostram os índices recomendado no manual explicativo do programa computacional dB Batti (01 dB, 2000) que aconselha valores entre -2 a +2 dB para edificações onde se executa o estilo musical encontrado na Basílica.

4.4.5 Índice de Trasmissão da fala e respectivos desvios padrões

A Figura 63 apresenta os resultados do STI com as três configurações de emissão do sinal impulsivo, ou seja: 3, 6 e 8 fontes. As barras representam o desvio padrão.

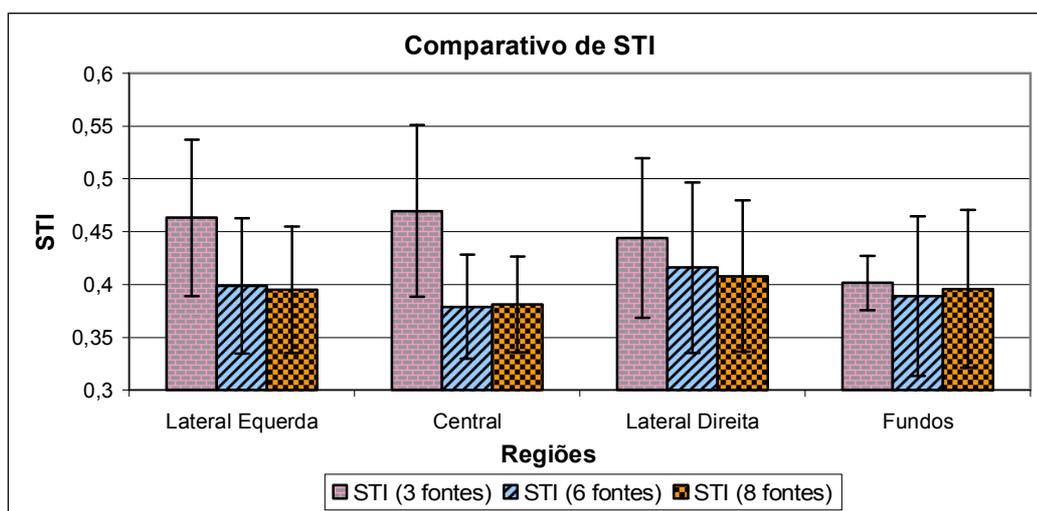


Figura 63: gráfico do STI com três distribuições de fontes

Analisando os resultados de STI, constata-se que a configuração de 3 fontes apresentou ligeira superioridade em relação às outras distribuições, indicando o maior valor de 0,47 na região *Central*, enquadrando-se em *Razoável*.

Em relação às outras configurações de fonte (6 e 8), os resultados são semelhantes. Os maiores índices são na área *Lateral Direita*, embora classificando o ambiente como *Pobre*. A região *Fundos* apresentou resultados mais homogêneos de STI com as três distribuições de fonte, Devido a acentuada queda no valor decorrente de 3 fontes.

Os desvios padrões indicam oscilações demonstrando que a variabilidade entre os resultados pode provocar uma mudança nos índices de classificação do STI.

Analisando o parâmetro STI, detecta-se que a inteligibilidade do discurso está prejudicada na Basílica, pois a mesma classifica-se como *Pobre*, porque os únicos resultados que se encontram em *Razoável*, são oriundos da emissão de apenas três fontes, o que não representa a situação real da edificação, que seria melhor representada pela distribuição com 8 fontes. Além disso, os índices que levam à classificação *Razoável* possuem valores muito próximos do indicativo de Índice de Transmissão da fala *Pobre*.

4.5 Pesquisa de Opinião

A pesquisa de opinião se baseou em entrevistas semi-estruturadas com os freqüentadores das missas, bem como com os celebrantes, ou seja, os músicos, padres e comentaristas. Os Apêndices A e B apresentam os modelos das entrevistas com os freqüentadores e os celebrantes, respectivamente.

O propósito de realizar um levantamento da maneira como as pessoas observam a qualidade sonora na Basílica tem por objetivo analisar se os índices medidos estão coerentemente relacionados com as respostas dos ouvintes e das pessoas que participam de atividades durante a missa.

As entrevistas, realizadas após o término das missas, foram coletadas em celebrações ocorridas em todos os horários existentes, ou seja, 10:00, 15:00 e 18:00.

Foram entrevistados 77 freqüentadores, com idades variadas (entre 20 e 65 anos), que se encontravam em pontos distintos da Basílica e 8 celebrantes (idades entre 30 e 60 anos).

4.5.1 Resultados da pesquisa de opinião

As entrevistas mostram que as pessoas sentem algum desconforto no que se refere à qualidade sonora, pois o item *Razoável* representa a maioria das respostas, como expõe o gráfico da Figura 64.

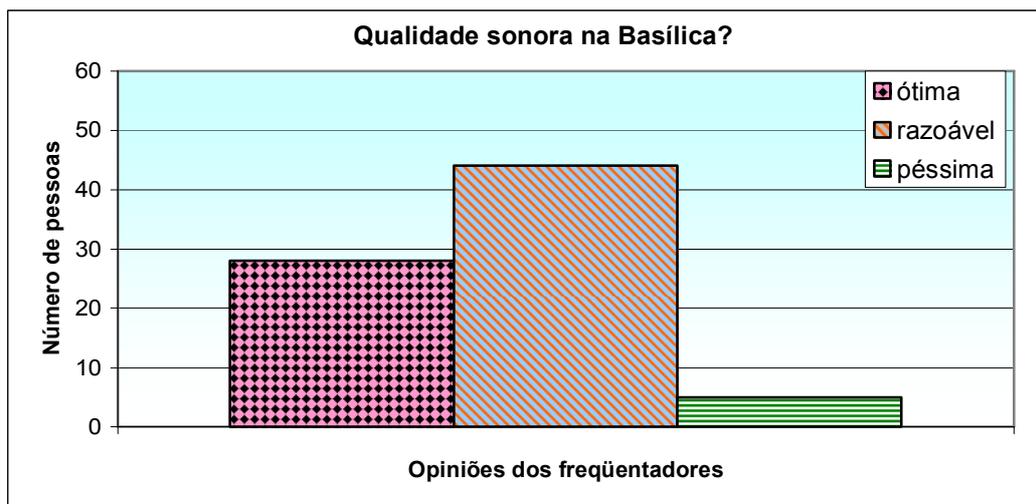


Figura 64: gráfico sobre qualidade sonora

Em relação às outras perguntas, que tiveram o intuito de observar se os frequentadores conseguem identificar onde estão os maiores problemas, constata-se que as pessoas não percebem exatamente onde se apresenta o maior déficit no entendimento. Isso pode ser atribuído pelo fato dos participantes não possuírem o conhecimento técnico do assunto, além de que se observou uma regularidade entre os fiéis, sendo que vários relataram que têm as músicas e as orações decoradas. Vale ressaltar que as pessoas acompanham as músicas e os comentários da equipe litúrgica através do livro de cantos e orações, não sentindo maior necessidade de compreensão das respectivas letras, como indica a Figura 65.

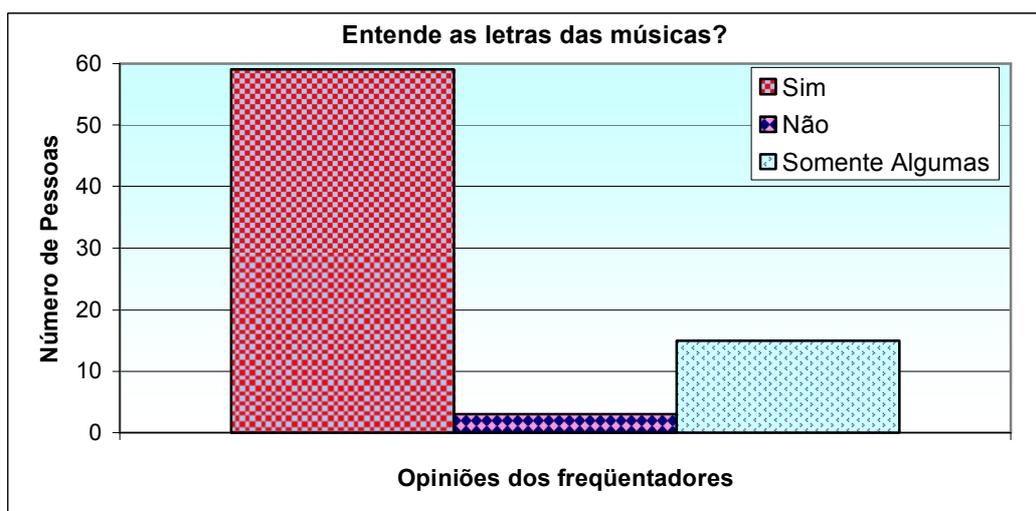
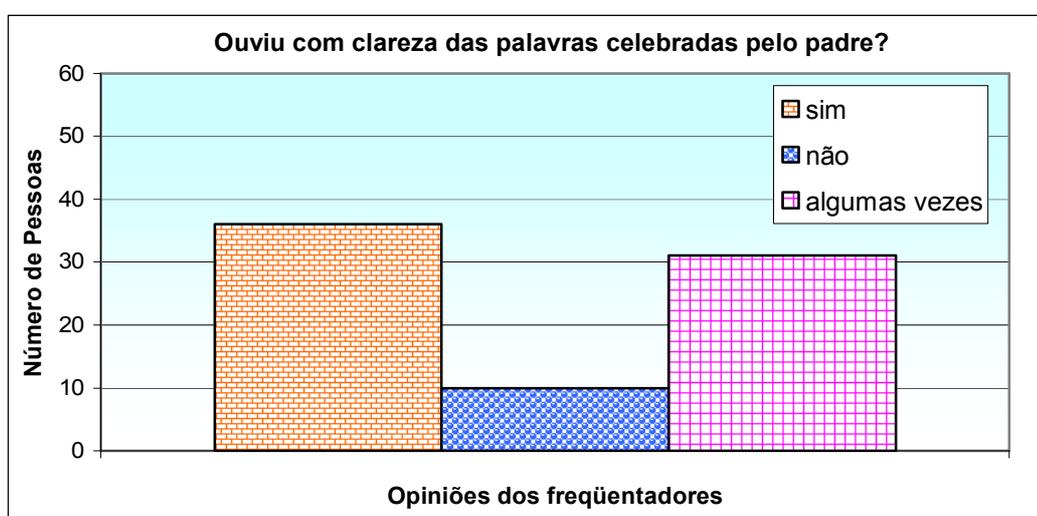
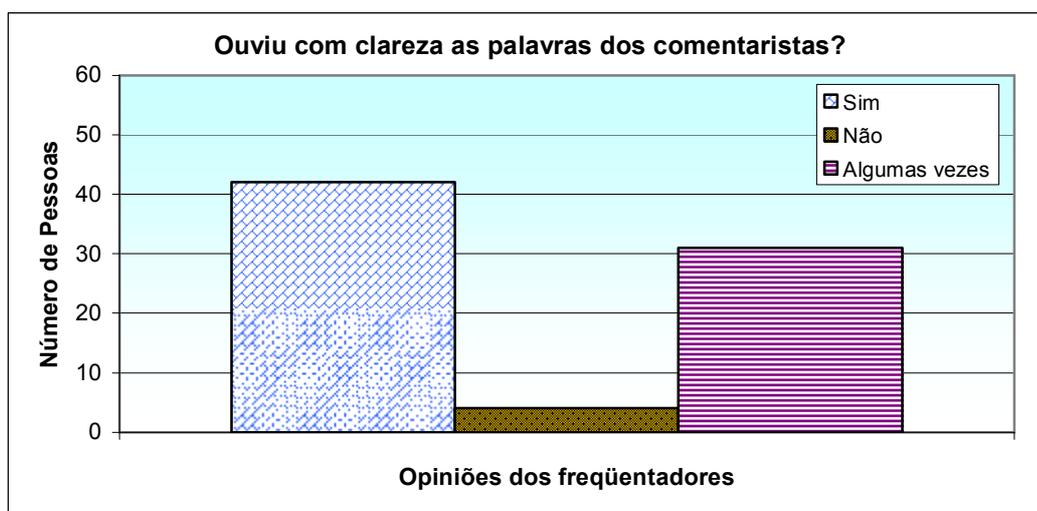


Figura 65: gráfico de entendimento musical

Nas Figuras 66 e 67 vê-se que a clareza com que as pessoas entendem os padres e os demais comentaristas é distinta, concentrando-se a maior dificuldade no entendimento dos sacerdotes. Isso pode ser avaliado pelo fato de que os leitores apresentam textos bíblicos conhecidos ou pequenos comentários, ao contrário do *sermão*, que se trata de um comentário específico do padre. Além disso, o fator dicção pode ser considerado relevante, pois como mostra a Figura 68 há alteração nas respostas dependendo do celebrante e da equipe encarregada da organização/celebração da missa.



Figuras 66: gráfico do entendimento das palavras celebradas pelo padre



Figuras 67: gráficos do entendimento das palavras dos comentaristas

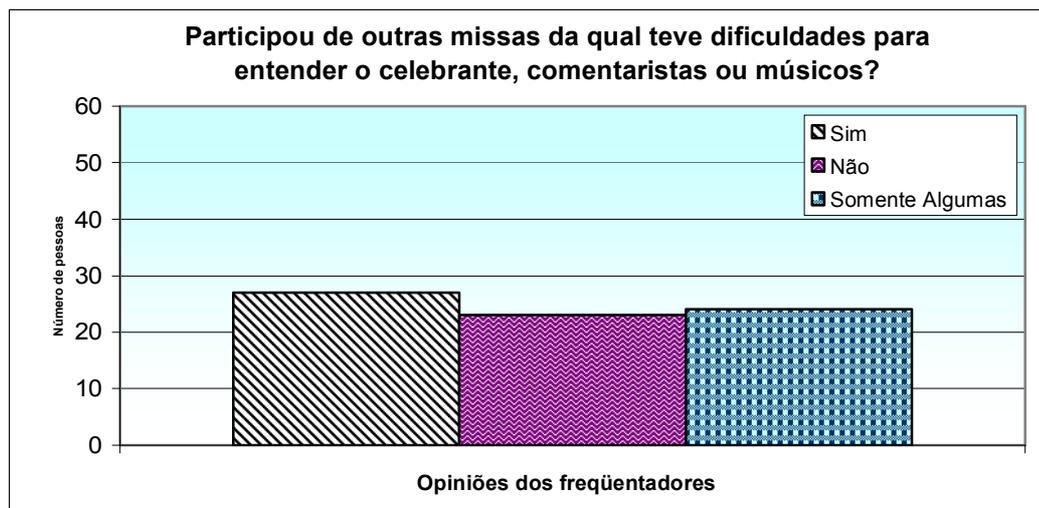


Figura 68: gráfico comparativo entre várias missas

Foi observado que os fiéis tendem a se aglomerar primeiramente nas regiões laterais, como pode ser identificado na figura 69. Um dos fatores que levam a esse comportamento é a preocupação de localizarem-se próximos aos equipamentos de reforço eletroacústico, e os ventiladores presentes nas laterais. A imagem da Figura 70 e o gráfico da Figura 71 são indicativos dessa atitude.



Figura 69: aglomeração dos fiéis nas laterais



Figura 70: fiéis aglomerados na lateral, onde se observa a presença de caixas sonoras e ventiladores

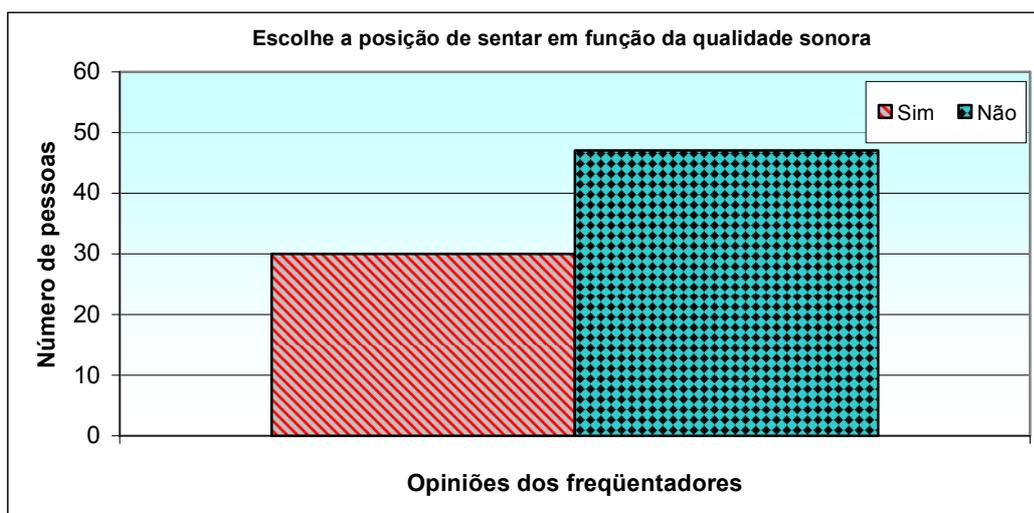


Figura 71: posição de sentar em função da qualidade sonora

Após a entrevista com os fiéis presentes nas missas, também foram realizadas entrevistas com os celebrantes (padres, comentaristas e músicos). Desse setor, a perspectiva era que tivessem um conhecimento maior da problemática, pois convivem diretamente com a execução da palavra e da música.

Dentre os celebrantes entrevistados, constata-se que 37,5 % consideram a qualidade sonora da Basílica *Ótima*, enquanto 50% identificaram como *Razoável* havendo relatos de que, algumas vezes, já receberam reclamações de frequentadores sobre a dificuldade de

entendimento da missa. Apenas uma das pessoas entrevistadas localizou os fundos e a área central como as referidas pelos reclamantes.

A maioria dos músicos não é profissional da área, mas apenas devotos que colaboram nas celebrações. Um dos entrevistados da equipe dos celebrantes classificou a qualidade sonora da Basílica como *Péssima*. Vale salientar que se trata de profissional da área de Música, com formação superior e docente nessa área. Esse colaborador também relatou que já observou reclamações dos fiéis por dificuldade no entendimento da missa. A pessoa também relatou que o equipamento sonoro de amplificação precisa melhorar, onde um dos principais problemas é a falta de retorno.

As entrevistas detectaram que os frequentadores e a maioria das pessoas responsáveis pela execução das missas observam que há uma deficiência sonora no recinto.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa caracterizou acusticamente a Basílica de Nossa Senhora Medianeira, localizada na cidade de Santa Maria-RS.

Para a efetivação do trabalho utilizou-se uma fonte de impacto manual, a qual foi inicialmente validada. Para a validação da fonte foram realizados ensaios onde se comparou as respostas do ambiente à excitação como o estouro de balões e com o sinal disparado pela fonte de madeira que funciona por força manual. Também se fez o levantamento das áreas de absorção dos materiais de composição do ambiente, para o cálculo analítico do TR feito a partir da Fórmula de Sabine.

Após a verificação dos resultados, foi possível detectar que o dispositivo de madeira confeccionado no Setor de Acústica da UFSM a partir de um modelo descrito em artigo científico, é capaz de proporcionar respostas confiáveis possibilitando o levantamento dos dados com esse equipamento, constatando-se que a evolução tecnológica tem colocado à disposição dos profissionais da Engenharia e da Arquitetura, materiais alternativos. Além disso a validação da fonte contribui com pesquisadores que não possuem à disposição os equipamentos necessários para esse tipo de estudo, pois é um equipamento de baixo custo, de fácil manuseio e transporte, que pode proporcionar a realização de outras pesquisas nessa área.

As medições realizadas *in loco* permitiram identificar que o Ruído de Fundo verificado no interior da Basílica, que gira em torno de 56 dB(A) está acima dos níveis recomendados na NBR 10152/87, que destaca como sendo 40-50 dB(A) os valores aceitáveis de ruídos intrusos nas Igrejas ou Templos destinados a cultos meditativos. Esses valores são influenciados pelo tráfego de veículos existente na avenida onde a Basílica se localiza. Como a porta de entrada liga diretamente o Santuário ao exterior, o ruído externo não encontra obstáculos. O ideal é a construção de um recinto de entrada, como uma antecâmara, que dificulte a passagem do ruído de tráfego diretamente ao interior da Basílica.

O Tempo de Reverberação, que apresentou uma resposta em torno de 4 segundos, indicou que o ambiente encontra-se inadequado às suas finalidades essenciais, que é a execução da fala e da música, tomando-se por base a referência de 1,5 s recomendada por Valle (2007) para igrejas contemporâneas com volume semelhante e 2,2 s indicado na NBR 12179(1992) para igrejas católicas. As respostas também possibilitaram verificar que esse

parâmetro está mais relacionado às características físicas do ambiente, como o grande volume, a forma diferenciada e o excesso de materiais acusticamente pouco absorventes.

O Tempo de Decaimento Inicial permitiu a constatação de que esse parâmetro, que se identifica como uma sensação de reverberação captada pelo ouvinte, encontra-se alto, com valores entre 3,5 e 4 segundos, indicando que o ouvinte sente a reverberação, o que acarreta no déficit de entendimento do discurso e defeitos na clareza musical.

Quanto ao parâmetro Definição analisado no ambiente, constata-se que a relação da distância entre o microfone de captação do sinal e os pontos de localização da fonte impulsiva influencia nos resultados de D50. Assim o local em que um freqüentador se posiciona altera o entendimento do sermão do padre e dos comentários da equipe litúrgica, pois esse índice de Definição, avaliado nos primeiros 50 milissegundos, é indicado para a análise da execução do discurso.

Contudo, a inserção de várias fontes distribuídas ao longo do interior da edificação, com o intuito de se aproximar da situação real, ou seja, a presença de alto-falantes nas paredes laterais e posterior do recinto, não significou melhorias na Definição do ambiente. A medição com a distribuição de oito fontes, não proporcionou resultados melhores em se tratando de um adequado desempenho acústico.

O índice Clareza (C80), que analisa a performance musical em um ambiente, indicando se existe um bom entendimento das notas musicais bem como das letras cantadas, verificou também a inadequação do local para esse programa. Constatou-se que as reflexões tardias, ou seja, após 80 ms, possuem demasiada energia em relação às reflexões iniciais, isto é, entre 0-80 ms. A dispersão dos resultados mostra que a percepção de clareza musical se modifica conforme o posicionamento do ouvinte dentro da Basílica.

O Índice de Transmissão da Fala que indica a inteligibilidade do discurso num determinado ambiente considerando seus interferentes, como Ruído de Fundo e Tempo de Reverberação, mostrou que o entendimento das palavras comentadas encontra-se insatisfatório variando entre *Pobre* e *Razoável*. Os resultados mudam conforme a posição de captação do sinal, demonstrando que o entendimento do discurso pode ser distinto influenciado pela localização do ouvinte dentro da Basílica.

A realização das entrevistas, que teve por objetivo captar a opinião dos freqüentadores, permitiu a verificação que os fiéis percebem a irregularidade sonora da Basílica, porém não conseguem identificar onde estão os agravantes dessa situação, o que se pode atribuir à falta de conhecimento técnico. Foi constatada uma assiduidade entre os freqüentadores, permitindo concluir que algumas pessoas já possuem conhecimento prévio das músicas, além de que é

possível acompanhar as letras musicais bem como os comentários da equipe litúrgica através do livro de cantos e orações, disponibilizado em todas as celebrações.

Por fim, constatou-se que a Basílica da Medianeira não apresenta as condições ideais para suas execuções, acarretando num insatisfatório desempenho acústico que pode afetar no conforto dos fiéis dentro da edificação, que muitas vezes pela dificuldade de entendimento, acabam não prestando a devida atenção nos ensinamentos o que reflete no objetivo principal da religião, que é proporcionar qualidade de vida no sentido espiritual dos indivíduos.

O trabalho vai além do setor científico, podendo contribuir para a sociedade, tendo em vista que se trata de um local de grande concentração de público que ultrapassa as barreiras da cidade de Santa Maria, pois se verifica a assiduidade de visitantes de todo o Rio Grande do Sul bem como de outros estados brasileiros e do exterior. A pesquisa colabora com os responsáveis pela conservação da Basílica, visando futuros tratamentos para qualificação acústica do ambiente, pois já se discute uma possível reforma do interior da edificação, sendo que já foi relatado, por parte dos profissionais encarregados pela manutenção da edificação, a possibilidade de uma troca de materiais como o carpete existente no presbitério e nas capelas laterais por outro elemento mais reflexivo como, por exemplo, o mármore. O trabalho também despertou neles a informação da necessidade de estudos nessa área para aumentar o conforto da edificação.

A pesquisa fornece informações que podem servir de base para novos estudos tanto em igrejas quanto em acústica de salas, utilizando a fonte impulsiva, prática e econômica, facilitando as atividades dos profissionais da Acústica Arquitetônica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 10152**: Acústica – Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 12179**: Tratamento Acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992

BERANEK, L. **Noise and Vibration Control**. Revised Edition. Washington, DC: Institute of Noise Control Engineering, 1988, 672 p.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering: principles and applications**. 4. ed. New York: Wiley Interscience Publications, 1992.

BISTAFA, Sylvio R., **Acústica aplicada ao controle do ruído**. Edgard Blücher, São Paulo, 2006

BISTAFA, SYLVIO REYNALDO. **Acústica Arquitetônica: Qualidade Sonora em Salas de Audição Crítica**. 2003. <http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/acuarq.htm>. Acesso em: 20 jul. 2007.

BOTTAZZINI, M. C., BERTOLI, S.R., Características arquitetônicas e a qualidade acústica de igrejas barrocas mineiras. In: XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 2008, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: UFMG, 2008. p. 88-93

CARVALHO, A. P. O., The Use of The Sabine And Eyring Reverberation Time Equations to Churches .In MEETING OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA , **Anais...** , Washington D.C. (E.U.A.),1995. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~carvalho/asa129.pdf>. Acesso em 10/09/2007

CARVALHO, A. P. O., FREITAS, D., The New Megachurch For The Sanctuary Of Fátima. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, 2003, Estocolmo. **Anais...**, Estocolmo: 2003. Disponível em: < <http://paginas.fe.up.pt/~carvalho/>> Acesso em: 10/09/2007

CARVALHO, A. P. O., et al. Relationships between speech intelligibility and objective acoustical parameters or architectural features in Catholic churches. In: NOISE-CON '97, 1997, EUA, **Anais...**p. 355-360. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~carvalho/nc97.pdf>> Acesso em 08/03/2008

CATHOLIC ENCYCLOPEDIA. Disponível em: <www.newadvent.org/cathen/02325a.htm> Acesso em 20/06/2007

CERDA', A. B., et al. Room acoustical parameters: A factor analysis approach. **Applied Acoustics**, 70, 97-109, 2009.

COSTA, E. C., **Acústica Técnica**. 1 ed. Blucher. São Paulo, 2003.

DESARNAULDS, V., CHAUVINA, P., Carvalho, A. P. Acoustic effectiveness of pulpit reflector in churches. In: ICA 2001, **Anais...** Roma, 2001. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~carvalho/>> Acesso em: 08/03/2008.

EGAN M. D., **Architeturual Acoustics**. McGraw-Hill, New York, NY, 1988.

FARINA, A., et al., Old churches as concert halls: a non-sabinian approach to optimum design of acoustic correction Proceedings. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 1992, Beijing, **Anais...**1992.

FARINA, Angelo. Acoustic Quality of Theatre: Correlations between Experimental Measures and Subjective Evaluations. **Applied Acoustics**, 62, p. 890-916, 2001.

FARINA, A., TRONCHIN, L., TARABUSI, V., Comparison between Opera houses: Italian and Japanese cases. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROOM ACOUSTICS: DESIGN AND SCIENCE RADS 2004, Hyogo (Japan) 11-13 April 2004, Disponível em: <<http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/191-RADS2004.pdf>> Acesso em: 5/04/2008

FASOLD, W.; VERES, E. **Schallschutz und Raumakustik in der Praxis**. Planungsbeispiele und Konstruktive Lösungen. Huss-Medien GmbH, Verlag Bauwesen, Berlin, 2003.

FERNANDES, J. C. Avaliação da Inteligibilidade Acústica em uma Igreja pelos Métodos Subjetivo e Analítico. In: XIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 2000, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. p. 300-305

FIGUEIREDO, L. F.; MASIERO, B.; IAZZETTA, F. **Análise de Parâmetros Acústicos Subjetivos: Critérios para Avaliação da Qualidade Acústica de Salas de Música**. In: 4ta. REUNION ANUAL DE LA SOCIEDAD ARGENTINA PARA LAS CIENCIAS COGNITIVAS DE LA MÚSICA, 2004, Tucumán. **Anais...**Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán, 2004.

GERGES, S.N Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2. ed. Florianópolis: S.N.Y.Gerges, 2000.

GIL, C. A.; **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 6242 - Building construction – Expression of user’s requirements – Part 3: Acoustical requirements, 1992.

_____. ISO 3382:2001, Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Genova, 2001

KUTTRUFF, H. **Room acoustics**. 2. ed. London: Applied Science Publishers, 1979.

LABCON - IGREJAS Disponível em
http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5661/trabalhos_2002-1/Acustica_Arquitetonica/igrejas.htm . Acessado em 13/06/2007

LIMA et al. Espaços educativos- uso e construção. Brasília: MEC/CEDATE, 1988.

MAKRINENKO, L., I., translated by Mrs. R. S. Ratner (1994) **Acoustics of Auditoriums in Public Buildings**, Woodbury, EUA.

MALAFAIA, S., TENENBAUN, R. A. Estudo Psicoacústico dos Parâmetros Utilizados para caracterizar a Qualidade Acústica de Salas de Concerto. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 2000, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: UFMG, 2000. p. 318-323

MARCO, C. S. de – **Elementos da Acústica Arquitetônica**- editora Nobel, 1982

MARTELLOTA, F., CIRILLO, E., Experimental studies of sound absorption by church pews. **Applied Acoustics**, **70**, 441-449, 2008

MARTELLOTA, et al. Guidelines for acoustical measurements in churches, **Applied Acoustics**, **70**, 378-388, 2008.

MÉNDEZ, A. M.; Stornini, A. J.; Salazar, E.B.; Giuliano, H. G.; Velis, A. G.; Amarilla, B. C., (1994). **Acústica Arquitectonica**. Universidade del Museo Social Argentino, Buenos Aires, Argentina.

MÜLLER, S. Medir o STI. In: II Seminário de Música, Ciência e Tecnologia, 2005, **Anais...** São Paulo, SP, Brasil [online] Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/smct/n1/n1a16.pdf>> Acesso em 15/08/2008

NEUBAUER, R. Classroom acoustics: do existing reverberation time formulae provide reliable values? In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 17., Rome. **Proceedings...** Rome, 2001.

NEWMAN, R. B., **Acústica Arquitetônica**. Editora Eucatex, Brasil (19--)

NICOLAS, P. A., **O Segredo das Catedrais**, 1.2d. TRION, 2001.

PAIXÃO, Dinara X. da. Análise das condições acústicas em sala de aula. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Educação- UFSM, 1997.

PAIXÃO, Dinara X. da. Caracterização Do Isolamento Acústico De Uma Parede De Alvenaria, Utilizando Análise Estatística De Energia (Sea). **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção- UFSC, 2002.

PAIXÃO, D. X. da, **Pe. Ignácio Valle SJ e a devoção à N. Sra. Medianeira**. Pallotti, 2003.

PHYSIKALISCH-TECHNISQUE BUNDESANSTALT. PTB. Alemanha, Disponível em: http://www.ptb.de/index_en.html Acesso em 26/12/2008.

REUNION ANUAL DE LA SOCIEDAD ARGENTINA PARA LAS CIENCIAS COGNITIVAS DE LA MÚSICA. SACCOM. Buenos Aires, 2004.

Disponível em: < http://gsd.ime.usp.br/acmus/publi/saccom_2004.pdf >

Acesso em 13/07/2007

ROSE, M. S. **Igrejas modernas, “feias como o pecado” X Igrejas tradicionais, antecâmaras do Céu**, Disponível em :

<<http://www.catolicismo.com.br/materia/materia.cfm?IDmat=B1D30CD4-3048-560B-1C40426C34447D00&mes=Agosto2006>> . Acesso em 23/06/07

SANTOS, O. R., OITICICA, R., G., da L. M., Análise da Qualidade Acústica em Templos religiosos - Estudo de Caso. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E V ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Maceió. **Anais...**, Maceió:UFAL, 2005 p.1741-1747.

SILVA, P. **Acústica Arquitetônica**. 6ed. Edital, Belo Horizonte, 2006.

SOUZA, L., C., L., ALMEIDA, M., G., BRAGANÇA, L. (2003). **Bê-a-Bá da Acústica Arquiteônica**. LCL, Bauru, Brasil.

STEFFEN, M. J. C. (Coord.). **Guia de Informações para Projeto e Execução de Igrejas**. Porto Alegre, 2005.

SUMARC-PAVLOVIC, D., MIJIC, M., KURTOVIC, H., A simple impulse sound source for measurements in room acoustics. **Applied Acoustics**, 69, 378–383, 2008.

TREVOR J. C., D'ANTONIO, P., **Acoustic Absorbers and Diffusers**. Theory, Design and Application Spon Press 2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - LABCON - IGREJAS Disponível em: http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5661/trabalhos_2002-1/Acustica_Arquitetonica/igrejas.htm . Acesso em: 13/06/2007

VALLE, S. **Manual Prático de Acústica**. 2 ed. Música & Tecnologia. Rio de Janeiro, 2007

ZANNIN, P. H. T. et al., Comparação entre tempos de reverberação calculados e medidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 75-85, 2005.

01 dB, **dBati32**, São Paulo, SP. Versão 4.901, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Modelo da Entrevista com os freqüentadores



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Entrevista de opinião dos freqüentadores da Basílica da Medianeira quanto à
qualidade sonora do ambiente**

Mestranda: Marselle Nunes Barbo

1) Você considera que a qualidade sonora dentro da Basílica é:

Ótima **Razoável** **Péssima**

2) Você ouviu com clareza as palavras celebradas (padre) ?

Sim **Não** **Algumas vezes**

3) Você ouviu com clareza as palavras dos comentaristas e leitores?

Sim **Não** **Algumas vezes**

4) Você conseguiu entender as letras cantadas durante as músicas?

Sim **Não** **Somente algumas**

5) Você já participou de outras missas aqui na Basílica, nas quais teve problemas para entender o celebrante e/ou equipes de liturgia e música?

Sim **Não** **Somente algumas**

6) Você escolhe a posição de sentar em função da qualidade do som? (música e/ou fala)

Sim **Não**

Sexo do participante: **M** **F**

Idade:.....

APÊNDICE B

Modelo da Entrevista com os celebrantes



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Entrevista de opinião dos celebrantes da Basílica da Medianeira quanto à
qualidade sonora do ambiente**

Mestranda: Marselle Nunes Barbo

1) Você considera que a qualidade sonora dentro da Basílica é:

Ótima **Razoável** **Péssima**

2) Você já recebeu alguma reclamação de fiéis quanto a dificuldade de entendimento das palavras e/ou músicas proferidas durante as missas?

Sim **Não** **Algumas vezes**

Qual a faixa etária:.....

Localização dentro da Basílica:.....

3) Você já recebeu alguma reclamação da equipe de música quanto a qualidade sonora da Basílica?

Sim **Não** **Algumas vezes**

4) Você já recebeu alguma reclamação da equipe de liturgia quanto a qualidade sonora da Basílica?

Sim **Não** **Algumas vezes**

5) O que você pensa do equipamento de som da Basílica?

Ótimo **Ruim** **Precisa melhorar**

6) Quem faz a regulagem do equipamento de som nas missas que você celebra?

.....

Idade:.....

APÊNDICE C

TEMPO DE REVERBERAÇÃO COM A DISTRIBUIÇÃO DE 3 FONTES (em segundos)

	Freq.(Hz)	F1	F2	F3		Freq.(Hz)	F1	F2	F3
P1	125	2,7	3,3	6,4	P9	125	1,6	1,9	2,1
	250	3,3	3,6	3,8		250	3,8	3,2	2,9
	500	3,7	3,7	4,1		500	3,6	3,2	3,6
	1000	3,6	3,8	4,0		1000	3,9	3,4	3,5
	2000	3,1	3,2	3,3		2000	3,2	3,0	3,1
	4000	2,7	2,7	2,8		4000	2,8	2,7	2,7
P2	125	4,4	3,9	3,4	P10	125	2,6	1,8	2,6
	250	5,9	3,8	4,5		250	4,1	4,0	3,9
	500	4,8	4,3	8,4		500	4,1	4,2	4,3
	1000	5,9	5,8	4,3		1000	4,3	4,1	4,0
	2000	3,6	3,4	3,5		2000	3,4	3,4	3,6
	4000	2,9	3,0	2,9		4000	3,1	3,0	2,9
P3	125	2,8	3,1	7,8	P11	125	2,9	4,2	2,5
	250	4,1	4,5	4,1		250	4,3	3,6	3,6
	500	4,5	4,8	3,4		500	3,9	4,5	4,7
	1000	4,3	4,5	4,2		1000	4,3	4,6	4,7
	2000	3,7	3,7	4,0		2000	3,7	3,8	3,7
	4000	3,3	3,3	3,2		4000	3,2	3,2	3,2
P4	125	2,1	2,1	2,6	P12	125	7,3	3,2	-----
	250	3,6	4,4	3,4		250	4,0	4,6	-----
	500	5,8	5,2	6,0		500	-----	-----	-----
	1000	4,2	4,8	4,5		1000	-----	5,0	-----
	2000	3,7	3,6	3,6		2000	-----	6,9	-----
	4000	3,3	3,3	3,1		4000	-----	3,3	
P5	125	3,9	2,6	0,6	P13	125	3,2	5,4	2,1
	250	4,8	4,3	4,6		250	4,2	5,9	4,3
	500	5,3	5,1	5,0		500	9,5	0,8	27,4
	1000	7,2	6,5	5,2		1000	6,1	4,8	4,2
	2000	3,7	3,8	3,7		2000	3,5	3,8	4,3
	4000	3,4	3,4	3,3		4000	3,3	3,3	3,4
P6	125	3,3	3,2	6,2	P14	125	3,3	4,4	3,6
	250	4,3	4,6	8,6		250	3,9	4,3	3,8
	500	5,0	9,8	4,3		500	4,8	4,5	4,2
	1000	4,5	5,4	4,5		1000	4,5	4,5	4,1
	2000	3,8	3,7	3,6		2000	3,7	3,6	3,6
	4000	3,2	3,2	3,2		4000	3,2	3,2	3,1
P7	125	2,5	3,8	3,5	P15	125	3,8	2,9	3,9
	250	4,0	3,9	3,7		250	4,0	3,7	3,6
	500	4,5	3,8	4,3		500	4,4	4,2	4,2
	1000	3,8	4,0	4,3		1000	4,3	4,2	3,9
	2000	3,4	3,5	3,4		2000	3,5	3,6	3,4
	4000	3,0	3,0	3,0		4000	3,0	3,0	2,8
P8	125	5,9	3,9	2,9	P16	125	4,8	2,8	2,8
	250	3,5	3,4	3,9		250	3,6	3,5	3,0
	500	4,1	3,6	4,5		500	4,2	4,1	3,2
	1000	3,6	3,4	3,9		1000	4,0	3,8	3,5
	2000	3,1	3,0	3,4		2000	3,3	3,3	2,9
	4000	2,7	2,7	2,9		4000	2,8	2,8	2,4

APÊNDICE D

TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL COM A DISTRIBUIÇÃO DE 3 FONTES (em segundos)

	Freq.(Hz)	F1	F2	F3		Freq.(Hz).	F1	F2	F3
	P1	125	1,8	3,2		10,4	P9	125	0,9
250		3,0	3,5	4,3	250	3,8		2,2	3,8
500		2,5	4,2	4,0	500	3,4		0,7	3,4
1000		2,1	3,5	4,0	1000	3,9		2,0	3,0
2000		2,6	3,3	3,4	2000	3,2		3,0	2,7
4000		2,5	2,6	2,7	4000	2,8		2,7	2,4
P2	125	4,2	2,9	3,5	P10	125	2,2	3,1	2,8
	250	2,9	4,4	3,9		250	4,1	3,6	3,7
	500	4,4	4,1	6,3		500	4,3	4,6	4,1
	1000	5,9	5,8	4,2		1000	4,4	4,2	4,0
	2000	3,4	3,6	3,6		2000	3,7	3,6	3,4
	4000	2,8	3,1	3,0		4000	3,3	3,1	2,9
P3	125	2,4	0,7	7,8	P11	125	1,7	2,5	2,6
	250	3,0	5,4	3,9		250	3,8	3,6	3,6
	500	4,2	4,9	3,5		500	4,6	4,7	4,9
	1000	4,4	4,6	4,2		1000	4,3	4,7	4,7
	2000	3,8	4,1	4,0		2000	3,6	3,9	3,7
	4000	3,7	3,8	3,4		4000	3,4	3,4	3,4
P4	125	2,1	2,1	2,6	P12	125	7,3	3,3	0,5
	250	5,6	2,5	3,1		250	4,3	3,0	8,1
	500	4,0	5,2	6,0		500	11,4	-----	10,0
	1000	4,0	5,1	4,5		1000	4,7	5,0	4,7
	2000	4,1	4,0	3,9		2000	19,2	6,7	4,1
	4000	3,7	3,8	3,5		4000	3,5	3,5	3,6
P5	125	3,9	2,0	0,6	P13	125	3,2	5,4	0,8
	250	4,7	3,8	4,8		250	3,9	7,5	4,8
	500	5,3	4,6	5,0		500	9,5	0,8	27,4
	1000	5,3	6,5	5,2		1000	9,5	13,5	4,7
	2000	4,1	4,1	3,7		2000	3,9	4,1	4,2
	4000	3,9	3,6	3,4		4000	3,6	3,8	4,0
P6	125	3,3	1,9	4,0	P14	125	2,4	2,3	3,6
	250	6,0	3,6	4,2		250	2,8	5,4	2,7
	500	5,3	9,8	4,3		500	4,7	4,5	4,6
	1000	4,6	5,4	4,5		1000	4,5	4,3	4,1
	2000	4,2	3,7	3,5		2000	4,1	3,7	3,9
	4000	3,6	3,4	3,3		4000	3,5	3,6	3,3
P7	125	2,8	2,0	3,0	P15	125	3,2	0,3	0,8
	250	4,0	3,5	3,9		250	4,1	4,8	2,0
	500	4,2	3,4	4,4		500	3,6	4,0	3,1
	1000	4,2	4,1	4,5		1000	3,9	4,1	2,9
	2000	3,6	3,6	3,7		2000	3,7	4,1	2,8
	4000	3,1	3,1	3,1		4000	3,3	3,3	2,3
P8	125	40,7	3,4	7,4	P16	125	4,7	1,3	2,6
	250	4,6	4,6	6,2		250	3,2	3,9	2,3
	500	3,5	3,8	4,5		500	3,6	3,8	0,3
	1000	2,8	3,7	3,8		1000	3,6	2,7	1,2
	2000	2,4	3,1	3,6		2000	3,3	3,3	1,6
	4000	2,8	2,7	2,9		4000	2,8	2,6	1,5

APÊNDICE E

DEFINIÇÃO (D50) COM A DISTRIBUIÇÃO DE 3 FONTES (em porcentagem %)

	Freq.(Hz)	F1	F2	F3		Freq.(Hz)	F1	F2	F3
	P1	125	34,6	29,0		31,8	P9	125	44,4
	250	53,3	21,5	37,4		250	30,5	61,3	37,2
	500	59,2	21,3	40,2		500	28,3	71,6	40,2
	1000	61,9	39,7	50,8		1000	40,6	82,7	63,3
	2000	66,4	35,6	51,0		2000	25,4	61,9	39,8
	4000	69,9	48,5	59,2		4000	23,1	73,4	52,6
P2	125	47,9	26,2	17,5	P10	125	24,6	29,7	27,5
	250	23,2	25,0	10,5		250	22,7	18,5	9,8
	500	29,9	23,6	10,6		500	16,9	22,5	18,4
	1000	33,7	18,7	10,9		1000	26,3	33,4	30,6
	2000	32,5	25,4	16,1		2000	20,6	26,4	26,1
	4000	43,5	41,5	21,1		4000	20,3	33,3	29,9
P3	125	36,9	42,9	7,8	P11	125	26,3	24,6	20,9
	250	23,1	28,9	12,9		250	22,9	28,1	17,8
	500	16,8	13,9	12,1		500	23,9	23,1	12,6
	1000	22,1	25,7	12,9		1000	26,3	19,9	15,7
	2000	18,1	13,4	7,7		2000	22,1	15,3	6,3
	4000	22,2	17,7	12,5		4000	24,1	19,4	12,6
P4	125	17,0	24,8	19,5	P12	125	20,9	16,2	8,1
	250	26,2	36,2	11,9		250	14,8	16,2	7,2
	500	16,2	11,5	8,0		500	8,6	14,8	12,6
	1000	26,7	14,8	17,6		1000	18,7	19,5	22,7
	2000	19,9	15,9	9,4		2000	15,3	11,7	9,9
	4000	24,5	19,2	13,1		4000	19,9	18,0	16,9
P5	125	19,3	25,3	13,2	P13	125	16,2	14,3	38,3
	250	24,5	28,5	13,8		250	26,9	33,4	23,0
	500	12,7	13,6	12,2		500	11,5	17,5	11,5
	1000	16,2	30,2	17,4		1000	15,4	25,0	24,0
	2000	7,7	17,7	10,1		2000	10,3	14,2	13,3
	4000	11,2	17,2	11,4		4000	13,5	15,8	19,4
P6	125	22,6	30,5	18,2	P14	125	14,3	24,7	24,8
	250	28,8	14,4	16,6		250	26,9	25,3	20,4
	500	18,4	20,1	13,1		500	16,4	24,4	13,4
	1000	30,9	29,8	13,9		1000	24,0	29,6	24,4
	2000	16,6	20,4	12,4		2000	10,4	18,7	17,1
	4000	20,9	21,1	15,6		4000	13,7	23,7	27,8
P7	125	36,3	30,9	19,7	P15	125	24,9	49,2	34,6
	250	28,6	18,1	10,5		250	22,6	23,6	30,0
	500	26,9	20,8	15,9		500	37,7	25,1	33,8
	1000	37,3	22,1	22,7		1000	20,8	32,6	38,0
	2000	28,0	20,2	13,8		2000	13,7	20,8	40,0
	4000	33,5	27,5	19,3		4000	17,7	30,5	44,1
P8	125	39,9	41,5	18,8	P16	125	27,4	40,8	37,0
	250	26,2	22,3	20,8		250	18,9	37,7	58,6
	500	65,1	67,7	16,0		500	24,3	52,0	81,6
	1000	69,4	66,1	39,7		1000	33,6	52,7	74,7
	2000	55,1	44,9	23,3		2000	17,1	39,3	54,5
	4000	60,8	62,2	28,1		4000	28,6	53,9	53,7

APÊNDICE F

CLAREZA (C80) COM A DISTRIBUIÇÃO DE 3 FONTES (em dB)

	Freq.(Hz)	F1	F2	F3		Freq.(Hz)	F1	F2	F3
	P1	125	-1,7	-3,0		-3,8	P9	125	0,0
	250	2,3	-3,7	-7,7		250	-2,6	2,3	-1,0
	500	2,9	-4,6	-4,9		500	-2,7	4,9	-0,7
	1000	3,3	-0,9	-5,1		1000	-0,9	7,3	2,9
	2000	4,0	-1,8	-5,0		2000	-3,5	3,0	0,0
	4000	4,6	0,5	-2,2		4000	-3,8	5,2	1,4
P2	125	-5,5	-4,8	-7,7	P10	125	-3,9	-3,0	-2,7
	250	-5,1	-4,5	-7,6		250	-4,5	-5,3	-7,1
	500	-8,0	-5,8	-6,1		500	-6,2	-4,6	-4,7
	1000	-4,0	-4,5	-3,6		1000	-3,5	-2,4	-2,6
	2000	-5,5	-5,9	-6,9		2000	-5,0	-3,4	-2,2
	4000	-4,3	-4,5	-5,2		4000	-4,5	-2,0	-2,2
P3	125	-1,1	-0,7	-9,0	P11	125	-4,0	-3,6	-3,8
	250	-3,0	-3,0	-6,0		250	-4,5	-3,4	-4,1
	500	-5,0	-5,9	-5,8		500	-4,2	-4,5	-6,3
	1000	-4,1	-3,5	-5,2		1000	-3,6	-5,3	-5,6
	2000	-4,4	-5,6	-7,6		2000	-4,2	-6,3	-6,8
	4000	-4,2	-5,1	-6,4		4000	-4,0	-5,3	-5,6
P4	125	-4,7	-3,7	-3,8	P12	125	-5,5	-4,8	-7,7
	250	-3,1	-1,6	-5,7		250	-5,1	-4,5	-7,6
	500	-4,7	-5,8	-7,3		500	-8,0	-5,8	-6,1
	1000	-2,7	-5,3	-4,9		1000	-4,0	-4,5	-3,6
	2000	-3,9	-5,4	-6,5		2000	-5,5	-5,9	-6,9
	4000	-3,4	-4,4	-5,5		4000	-4,3	-4,5	-5,2
P5	125	-5,2	-3,1	-5,4	P13	125	-2,5	-6,2	1,2
	250	-3,8	-2,4	-5,0		250	-2,6	-1,8	-4,3
	500	-6,0	-6,0	-5,9		500	-6,4	-4,5	-5,0
	1000	-5,6	-2,3	-4,3		1000	-4,8	-3,1	-3,3
	2000	-7,3	-4,8	-5,9		2000	-6,4	-5,9	-6,2
	4000	-6,2	-4,6	-5,7		4000	-5,9	-5,4	-4,5
P6	125	-4,5	-1,0	-5,8	P14	125	-3,6	-3,4	-4,1
	250	-2,7	-4,8	-6,4		250	-3,2	-3,6	-3,8
	500	-5,8	-4,5	-6,3		500	-5,2	-4,1	-6,8
	1000	-2,4	-2,5	-5,8		1000	-3,8	-2,5	-3,2
	2000	-5,5	-4,1	-5,7		2000	-7,5	-4,8	-5,2
	4000	-4,2	-4,1	-5,3		4000	-6,0	-3,6	-2,5
P7	125	-1,9	-1,7	-3,9	P15	125	-4,1	0,3	-1,8
	250	-2,8	-4,6	-6,8		250	-4,2	-4,5	-1,6
	500	-3,1	-4,5	-6,2		500	-1,4	-3,5	-0,6
	1000	-1,7	-4,5	-4,2		1000	-4,1	-2,4	0,0
	2000	-2,9	-4,6	-5,9		2000	-6,3	-5,0	0,2
	4000	-1,9	-3,1	-4,6		4000	-5,1	-2,7	1,3
P8	125	-1,4	-1,0	-5,2	P16	125	-2,5	-0,5	-0,4
	250	-2,9	-4,7	-4,3		250	-4,0	-1,5	3,8
	500	3,3	3,6	-5,8		500	-3,8	1,6	7,4
	1000	4,1	3,4	-1,2		1000	-2,0	1,7	5,7
	2000	1,7	-0,1	-3,6		2000	-4,7	-1,2	2,8
	4000	2,7	2,9	-2,8		4000	-2,4	1,3	3,4

APÊNDICE G**ÍNDICE DE TRANSMISSÃO DA FALA COM A DISTRIBUIÇÃO DE 3 FONTES**

	F1	F2	F3
P1	0,61	0,50	0,43
P2	0,51	0,47	0,40
P3	0,44	0,43	0,38
P4	0,43	0,42	0,39
P5	0,37	0,43	0,38
P6	0,42	0,44	0,40
P7	0,48	0,42	0,40
P8	0,60	0,59	0,44
P9	0,47	0,69	0,55
P10	0,41	0,45	0,45
P11	0,43	0,42	0,40
P12	0,39	0,40	0,36
P13	0,40	0,42	0,43
P14	0,38	0,41	0,38
P15	0,39	0,41	0,49
P15	0,41	0,51	0,61

APÊNDICE H

TEMPO DE REVERBERAÇÃO COM A DISTRIBUIÇÃO DE 8 FONTES (em segundos)

	Freq (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P1	125	1,6	2,6	2,74	2,51	1,96	-----	3,0	12,0
	250	3,6	3,4	3,71	3,17	3,77	4,48	4,7	3,9
	500	3,7	4,1	4,61	4,20	4,27	4,60	4,6	4,3
	1000	3,6	4	4,50	4,03	4,29	4,43	4,3	4,1
	2000	3	3,4	3,57	3,33	3,59	3,47	3,4	3,3
	4000	2,7	3,0	3,23	2,87	3,10	3,13	3,1	2,9
P2	125	1,9	2,5	1,4	3,0	3,8	5,3	4,1	3,1
	250	3,6	3,5	3,9	3,7	4,7	4,5	3,9	4,2
	500	4,3	3,9	4,4	4,2	4,4	4,4	4,4	7,0
	1000	4,1	4,0	4,3	4,0	4,3	4,4	4,0	4,5
	2000	3,4	3,3	3,5	3,8	3,6	3,5	3,3	3,4
	4000	3,0	2,9	3,1	3,0	3,1	3,1	2,9	3,0
P3	125	2,9	0,9	0,7	4,8	-----	-----	2,8	3,5
	250	3,6	3,2	3,9	4,4	4,7	4,4	3,3	3,7
	500	4,4	4,1	4,2	4,8	4,4	3,7	4,1	4,3
	1000	4,5	3,9	4,1	4,5	4,5	4,3	4,0	4,2
	2000	3,5	3,3	3,4	3,7	3,6	3,5	3,2	3,3
	4000	3,1	2,8	3,0	3,7	3,1	3,1	2,8	2,9
P4	125	3,3	6,3	2,4	10,2	5,0	2,9	2,2	7,5
	250	3,8	3,7	3,5	4,1	3,8	4,0	4,0	3,3
	500	4,7	4,3	3,9	4,7	4,4	4,1	3,9	4,6
	1000	4,5	4,3	4,0	4,5	4,2	3,4	3,7	4,2
	2000	3,5	3,4	3,2	3,7	3,4	3,2	3,1	3,3
	4000	3,2	3,0	2,8	3,3	3,2	1,8	2,6	2,9
P5	125	2,9	2,0	6,5	15,4	4,0	-----	1,2	3,5
	250	4,6	4,2	4,0	3,5	5,2	3,8	3,8	2,9
	500	5,5	4,2	4,6	5,2	4,6	4,8	4,2	4,2
	1000	4,5	4,2	4,3	4,6	4,3	4,6	3,9	3,9
	2000	3,6	3,6	3,4	3,6	3,5	3,5	3,1	3,3
	4000	3,3	3,1	3,2	3,2	3,1	3,3	2,6	2,8
P6	125	1,2	2,1	1,3	6,2	1,3	4,5	4,2	3,5
	250	4,0	3,8	3,9	4,5	3,9	5,1	3,4	3,9
	500	4,2	4,1	4,4	3,2	4,6	4,3	4,3	4,2
	1000	4,3	4,4	4,2	4,4	4,7	3,5	4,0	4,2
	2000	3,5	3,5	3,4	3,5	3,7	3,2	3,3	3,3
	4000	3,2	3,0	3,1	3,2	3,2	1,8	2,9	2,9
P7	125	4,3	6,3	2,9	5,3	3,5	-----	2,7	9,3
	250	4,0	3,7	4,8	4,2	3,8	7,3	4,2	20,5
	500	4,3	4,5	4,7	4,4	4,4	3,2	4,6	5,4
	1000	4,2	4,2	4,5	4,3	4,2	4,8	4,2	4,3
	2000	3,4	3,5	3,5	3,4	3,5	3,6	3,3	3,3
	4000	3,0	3,1	3,2	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0
P8	125	3,7	1,8	2,5	3,0	14,3	3,4	5,7	0,9
	250	3,7	3,8	3,3	3,6	3,6	4,2	3,8	3,9
	500	3,9	4,1	4,8	4,2	4,3	4,8	6,2	4,3
	1000	3,2	3,8	4,1	3,8	4,0	4,3	4,6	4,2
	2000	2,9	3,4	3,4	3,2	3,4	3,4	3,4	3,4
	4000	2,5	3,0	3,2	2,8	3,0	3,2	2,9	2,8

	Freq (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P9	125	2,7	2,8	1,7	2,2	3,8	1,3	2,1	6,6
	250	3,6	3,6	4,0	3,8	3,9	3,6	4,3	4,3
	500	3,8	4,3	5,1	3,9	4,4	4,5	4,6	4,4
	1000	3,7	4,0	4,1	3,6	4,1	4,3	5,4	4,9
	2000	3,1	3,3	3,4	3,1	3,4	3,5	3,4	5,1
	4000	2,8	3,0	3,2	2,7	3,0	3,2	3,0	3,0
P10	125	4,0	3,6	5,7	1,4	2,6	2,3	3,5	4,9
	250	3,4	4,3	3,8	3,7	3,9	3,8	3,8	3,9
	500	4,4	4,2	4,6	4,3	4,1	4,8	5,3	5,1
	1000	4,3	3,8	4,1	3,9	4,0	4,2	4,0	4,3
	2000	3,3	3,4	3,4	3,2	3,3	3,4	3,4	3,4
	4000	3,1	3,0	3,1	2,9	3,0	3,1	3,0	2,9
P11	125	2,5	7,1	5,5	2,4	1,7	2,8	7,8	1,7
	250	3,4	3,6	4,0	3,6	3,4	3,6	3,7	3,6
	500	4,2	4,2	5,0	4,2	4,0	4,3	4,2	4,1
	1000	3,9	4,0	4,3	3,9	4,0	4,0	4,0	3,9
	2000	3,4	3,4	3,5	3,4	3,4	3,4	3,3	3,2
	4000	3,1	3,0	3,1	3,0	2,9	3,0	2,8	2,8
P12	125	2,2	2,8	3,7	1,1	2,6	2,3	2,7	1,1
	250	4,2	4,0	4,0	3,6	3,5	2,9	3,1	3,4
	500	5,1	4,4	4,5	4,4	4,2	3,9	4,2	4,1
	1000	4,1	4,4	4,2	4,3	3,9	3,8	4,0	3,8
	2000	3,5	3,6	3,4	3,5	3,3	3,3	3,3	3,1
	4000	3,1	3,1	3,1	3,2	3,0	2,9	2,7	2,6
P13	125	1,9	2,1	2,2	1,7	0,7	1,2	-----	3,5
	250	3,9	3,6	3,7	4,0	3,4	3,2	3,7	3,4
	500	4,5	4,9	4,4	4,6	4,0	3,6	4,4	4,2
	1000	4,4	4,0	3,8	4,3	3,7	3,2	4,3	4,0
	2000	3,6	3,5	3,6	3,5	3,3	2,7	3,3	3,2
	4000	3,1	3,1	3,0	3,1	2,9	2,4	2,8	2,7
P14	125	5,8	1,8	-----	2,0	9,4	1,6	3,9	3,5
	250	4,0	5,9	3,9	3,4	3,1	3,8	3,6	3,5
	500	4,3	4,1	4,7	4,2	3,8	3,9	4,1	4,3
	1000	4,1	4,0	4,1	4,1	3,5	3,7	4,0	4,0
	2000	3,5	3,4	3,3	3,5	3,0	3,1	3,3	3,3
	4000	3,1	3,0	3,1	3,1	2,6	2,9	2,8	2,8
P15	125	4,0	2,1	4,5	2,3	6,3	2,4	2,3	2,6
	250	3,8	3,9	4,1	3,6	3,2	3,6	3,7	4,2
	500	4,4	3,0	4,6	3,9	3,6	4,3	4,1	4,5
	1000	3,9	3,9	4,2	3,8	3,5	4,0	4,1	4,0
	2000	3,3	3,3	3,4	3,2	2,9	3,3	3,4	3,3
	4000	3,0	3,0	3,1	2,9	2,7	3,0	2,9	2,9
P16	125	1,8	3,1	1,6	4,8	1,7	1,8	2,0	2,4
	250	3,6	4,0	4,8	3,2	3,9	3,5	3,9	3,9
	500	3,9	4,2	4,6	3,6	4,2	4,8	5,4	4,8
	1000	3,7	3,9	4,1	3,5	3,9	4,3	3,9	4,1
	2000	3,2	3,4	3,4	2,9	3,2	3,4	3,3	3,3
	4000	2,8	3,0	3,1	2,5	2,9	3,1	2,9	2,9

APÊNDICE I

TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL COM A DISTRIBUIÇÃO DE 8 FONTES (em segundos)

	Freq (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P1	125	1,2	2,7	2,1	2,5	1,9	4,5	3,7	3,1
	250	2,4	2,1	2,0	2,0	3,2	4,6	4,5	4,4
	500	2,0	3,4	4,6	4,2	4,1	4,7	5,3	3,5
	1000	0,8	3,4	5,0	3,7	4,3	3,7	4,7	4,4
	2000	2,2	3,2	4,0	3,2	3,6	3,5	3,9	3,7
	4000	2,01	2,7	3,6	2,7	3,3	1,7	3,4	3,0
P2	125	2,0	2,3	1,2	3,0	3,8	5,3	1,8	3,1
	250	3,0	1,5	2,5	3,8	3,0	4,5	4,7	4,1
	500	4,03	2,8	4,4	4,6	4,1	4,5	4,3	4,1
	1000	3,9	2,9	4,0	3,9	4,3	4,8	4,6	4,3
	2000	3,4	2,8	3,7	3,4	3,6	3,7	3,5	3,3
	4000	2,8	2,5	3,4	3,0	3,0	3,4	3,1	2,7
P3	125	1,4	0,9	0,9	4,8	1,8	4,5	0,8	1,8
	250	2,7	1,9	2,3	3,6	4,3	3,4	3,3	3,6
	500	4,1	0,8	3,3	4,6	4,2	4,2	4,4	4,3
	1000	4,7	1,2	2,9	4,2	3,5	3,4	3,6	4,1
	2000	3,8	1,9	2,9	3,6	3,2	3,2	3,1	3,4
	4000	3,4	1,6	2,8	3,2	1,8	1,8	2,9	3,1
P4	125	2,0	6,1	1,5	10,2	5,0	2,1	1,0	-----
	250	3,7	4,8	1,1	4,2	3,6	3,9	0,7	2,2
	500	5,3	4,8	1,4	4,6	4,2	3,3	3,2	4,3
	1000	4,7	4,0	2,2	4,1	4,6	3,4	3,1	4,0
	2000	3,9	2,9	1,9	4,0	3,6	2,8	2,7	3,4
	4000	3,6	2,7	1,4	3,4	3,3	1,1	2,2	2,6
P5	125	2,9	0,2	1,9	15,4	4,0	1,0	1,3	3,5
	250	3,8	3,0	0,6	2,4	3,9	3,0	2,7	2,5
	500	5,5	4,8	3,9	4,1	4,0	3,5	3,0	4,8
	1000	4,9	4,4	4,3	4,3	4,2	4,1	0,7	3,8
	2000	3,7	3,5	3,2	3,7	3,7	3,3	2,7	3,8
	4000	3,8	3,3	2,9	3,4	4,0	3,1	1,6	3,0
P6	125	1,2	2,2	1,3	7,9	1,3	4,0	1,7	3,5
	250	3,8	2,3	5,4	4,6	3,6	5,1	2,9	4,0
	500	4,6	4,2	4,8	3,0	4,4	4,7	4,3	4,5
	1000	4,5	4,4	3,9	4,5	4,2	3,5	4,0	4,7
	2000	3,9	3,5	3,5	3,6	3,4	3,0	3,5	3,5
	4000	3,6	3,2	3,0	3,4	3,2	1,8	3,0	3,1
P7	125	4,3	6,3	1,1	7,9	4,1	2,4	0,6	1,3
	250	3,7	3,7	5,8	4,4	4,2	5,1	4,1	4,3
	500	4,3	4,8	5,0	4,8	4,3	5,7	5,2	5,6
	1000	4,4	4,4	5,0	4,0	4,3	4,3	4,5	4,3
	2000	3,5	3,7	3,7	3,6	3,4	3,7	3,9	3,4
	4000	3,1	3,1	3,4	3,2	3,1	3,4	3,4	3,0
P8	125	1,6	1,9	1,0	2,8		1,1	0,5	0,9
	250	2,6	3,0	3,1	4,0	3,8	5,3	3,8	4,7
	500	4,4	4,1	4,9	4,5	5,1	4,8	5,2	4,2
	1000	0,9	3,7	4,4	3,8	4,4	4,8	4,7	4,0
	2000	2,3	3,9	4,1	3,3	3,9	4,1	3,6	3,3
	4000	2,1	3,3	3,7	2,9	3,4	3,6	3,3	2,7

	Freq (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P9	125	0,6	2,8	1,6	2,0	0,9	1,5	0,9	3,1
	250	3,7	4,9	3,0	3,0	3,4	2,2	3,8	4,5
	500	4,0	4,6	5,5	4,4	4,2	4,8	4,5	4,7
	1000	3,8	3,9	4,1	3,1	4,0	4,6	4,4	4,3
	2000	3,1	3,7	4,3	2,5	3,4	4,0	3,7	3,6
	4000	2,9	3,6	3,8	2,4	3,2	3,5	3,3	3,2
P10	125	1,6	3,6	5,7	1,3	2,7	0,7	3,0	3,7
	250	3,2	3,2	3,8	2,6	4,7	4,4	2,0	5,9
	500	3,7	4,2	4,6	4,8	5,0	4,7	5,3	4,5
	1000	3,6	3,8	3,9	3,6	4,2	4,8	4,6	4,2
	2000	3,2	3,5	3,6	3,1	3,6	3,7	3,6	3,4
	4000	3,2	3,0	3,4	2,8	3,1	3,5	3,0	3,1
P11	125	1,0	7,1	5,5	0,5	0,6	2,8	4,3	1,5
	250	4,1	3,8	4,4	5,5	2,8	3,2	4,5	2,3
	500	3,8	4,0	5,1	3,7	3,3	3,9	3,9	4,9
	1000	3,8	4,1	4,3	4,7	3,0	3,7	4,0	4,0
	2000	3,6	3,5	3,5	3,5	2,8	3,2	3,5	3,2
	4000	3,4	3,0	3,2	3,3	2,6	3,0	2,9	2,7
P12	125	0,3	2,8	2,2	0,4	2,1	2,3	1,4	0,6
	250	3,8	3,8	3,1	2,8	4,1	1,4	4,6	2,0
	500	5,0	4,0	4,2	5,1	3,5	4,5	3,9	3,2
	1000	3,9	4,3	3,7	4,6	2,8	2,1	3,9	3,4
	2000	3,8	3,8	3,3	4,3	3,0	2,4	3,2	2,6
	4000	3,5	3,3	2,7	3,7	2,8	1,2	2,6	2,0
P13	125	1,2	1,7	2,2	0,7	0,7	0,6	-----	2,5
	250	3,2	4,2	5,6	4,0	4,2	1,4	3,1	1,2
	500	4,7	4,8	3,9	4,5	3,8	0,7	4,2	4,2
	1000	4,6	4,3	3,5	3,9	3,0	0,3	4,1	3,7
	2000	4,0	3,4	2,9	3,8	3,0	0,5	3,3	3,0
	4000	3,8	3,0	2,3	3,3	2,5	0,5	2,7	2,4
P14	125	1,2	1,8	-----	0,8	1,0	0,6	1,6	3,3
	250	3,8	4,3	3,2	3,6	1,2	2,2	3,4	3,5
	500	4,5	4,0	4,0	4,2	2,1	1,7	4,6	4,8
	1000	4,0	3,9	3,8	3,8	0,8	1,5	4,3	3,5
	2000	4,0	3,3	3,5	3,9	1,8	2,4	3,5	3,3
	4000	3,4	3,0	2,9	3,4	1,1	2,3	2,9	2,5
P15	125	1,0	1,5	4,5	2,3	3,6	0,7	1,4	0,6
	250	3,3	3,3	4,2	3,6	0,7	2,1	2,6	3,6
	500	4,7	2,5	4,2	4,0	2,3	4,3	3,9	4,8
	1000	3,7	3,4	4,0	3,5	0,5	2,8	4,1	4,0
	2000	3,6	3,4	3,6	3,1	1,1	3,2	3,6	3,4
	4000	3,3	3,1	3,1	2,7	1,2	2,9	3,2	2,9
P16	125	0,7	3,1	1,8	4,8	1,0	0,6	1,8	2,4
	250	3,5	4,5	5,1	1,1	3,9	1,3	4,3	4,7
	500	4,0	3,9	4,7	1,3	3,7	5,4	4,7	5,2
	1000	3,4	3,6	4,2	1,9	3,7	4,9	3,9	4,4
	2000	3,2	3,6	3,7	1,9	3,0	3,8	3,7	3,7
	4000	2,8	3,2	3,6	1,4	2,8	3,5	3,3	3,4

APÊNDICE J

DEFINIÇÃO (D50) COM A DISTRIBUIÇÃO DE 8 FONTES (em porcentagem %)

	Freq (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P1	125	36,6	33,10	23,93	11,53	12,17	12,47	9,5	10,1
	250	34,4	29,80	30,40	29,53	9,67	12,60	10,8	22,7
	500	58,3	30,90	18,33	7,60	10,23	12,70	20,1	21,0
	1000	77,7	27,63	14,10	20,13	12,23	12,93	17,6	21,0
	2000	51,1	31,33	15,00	17,97	8,80	14,97	24,2	24,9
	4000	57,9	39,00	22,77	26,43	11,83	17,73	23,0	24,7
P2	125	39,1	23,17	28,37	8,60	3,50	8,57	15,8	6,8
	250	30,9	39,33	32,23	11,37	11,13	9,50	26,9	18,3
	500	22,0	41,17	18,00	18,37	14,00	9,07	27,3	12,3
	1000	26,9	62,13	32,80	18,23	11,87	11,93	38,0	16,9
	2000	32,7	33,17	29,40	16,60	9,70	11,27	29,0	22,9
	4000	38,6	39,33	24,70	18,00	13,63	15,37	25,7	28,6
P3	125	15,67	42,37	30,17	8,70	7,83	2,37	30,8	9,5
	250	20,67	42,70	31,60	10,20	13,73	8,93	19,3	13,0
	500	13,10	70,30	35,20	20,80	10,33	13,37	19,8	12,7
	1000	21,93	58,57	34,97	10,57	10,50	10,03	28,4	14,4
	2000	24,67	47,17	36,30	10,17	10,30	17,73	34,2	12,5
	4000	27,83	56,73	47,33	15,30	13,57	15,30	30,8	17,6
P4	125	15,63	18,80	23,20	6,07	11,87	3,97	27,2	5,6
	250	11,40	32,77	54,00	9,17	30,90	30,90	32,7	23,6
	500	9,60	18,50	46,30	11,27	16,10	19,93	27,8	7,8
	1000	9,60	30,10	32,77	22,00	11,63	21,83	44,6	15,0
	2000	11,27	37,53	45,73	10,73	9,33	26,07	32,9	11,3
	4000	21,97	39,90	56,27	14,50	11,67	27,60	38,9	16,6
P5	125	14,67	12,53	25,73	2,57	8,80	4,17	29,4	2,7
	250	21,17	24,93	48,00	19,37	12,30	12,87	20,3	23,6
	500	6,03	17,17	23,77	16,10	18,70	12,80	58,6	24,3
	1000	12,53	18,83	21,73	17,63	16,70	10,50	56,6	17,0
	2000	6,90	16,77	34,07	13,00	12,30	19,77	43,7	15,7
	4000	8,17	19,00	38,93	16,00	13,23	20,40	57,8	19,2
P6	125	4,87	9,77	7,23	12,87	13,33	3,37	24,9	11,7
	250	17,37	22,70	23,00	12,63	9,47	16,73	19,3	15,3
	500	17,43	23,67	18,77	11,57	12,23	10,57	28,0	20,6
	1000	16,20	26,80	28,33	13,17	7,97	11,20	25,8	18,6
	2000	17,90	19,67	24,37	12,80	14,23	25,40	29,5	25,1
	4000	23,00	22,27	29,43	14,57	11,43	18,37	27,8	23,7
P7	125	15,80	15,30	28,60	9,63	10,17	7,93	29,5	18,5
	250	16,03	24,70	9,60	6,60	9,47	14,47	19,5	9,4
	500	20,40	21,13	22,40	10,50	12,83	13,93	12,3	8,0
	1000	27,77	26,40	19,27	20,67	16,53	16,77	18,1	13,9
	2000	20,60	21,40	25,67	15,73	11,90	14,43	15,1	26,5
	4000	27,50	26,13	33,10	14,53	13,87	19,33	24,6	21,8
P8	125	20,8	20,6	20,6	20,6	24,6	24,6	13,9	9,6
	250	29,5	26,5	26,5	26,5	18,2	18,2	18,1	20,5
	500	56,1	25,9	25,9	25,9	15,1	15,1	18,6	20,9
	1000	81,3	35,0	35,0	35,0	24,5	24,5	15,4	25,6
	2000	52,4	26,4	26,4	26,4	17,2	17,2	19,7	26,5
	4000	58,6	24,6	24,6	24,6	22,2	22,2	24,3	32,8

	Freq (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P9	125	11,7	12,5	27,9	15,2	27,6	17,2	26,1	11,2
	250	18,1	14,8	13,1	37,8	29,2	31,7	10,0	33,2
	500	37,2	17,6	10,2	48,8	22,4	18,0	21,7	16,6
	1000	40,1	20,8	21,3	53,5	24,8	24,7	19,2	18,0
	2000	30,3	15,4	16,7	45,7	22,4	19,9	13,9	25,8
	4000	34,2	18,3	21,4	52,1	35,7	30,0	20,5	23,3
P10	125	28,7	6,5	8,7	20,3	16,3	13,4	11,7	7,7
	250	26,6	10,9	9,5	14,4	22,0	16,8	29,5	23,7
	500	33,0	14,2	26,4	31,8	27,0	34,1	12,0	7,0
	1000	42,6	22,4	19,0	37,1	41,2	23,6	14,7	17,8
	2000	33,5	15,9	18,2	29,8	31,4	32,1	16,2	17,8
	4000	22,4	18,3	19,9	18,5	24,0	26,4	21,9	29,6
P11	125	18,0	6,8	2,2	16,4	11,9	25,6	6,4	23,8
	250	17,8	10,9	6,5	24,6	34,2	35,0	18,9	38,6
	500	22,1	12,4	9,0	37,6	42,4	28,6	17,2	25,9
	1000	30,9	18,2	16,9	46,3	47,2	33,0	11,4	39,4
	2000	23,1	9,7	15,7	31,4	31,6	38,3	23,9	48,3
	4000	17,4	15,8	16,4	31,7	38,4	31,3	30,3	47,5
P12	125	10,1	3,2	11,9	31,2	13,1	7,1	8,2	28,8
	250	27,0	15,3	37,1	12,4	26,3	37,4	32,1	29,9
	500	11,4	25,5	14,8	18,9	33,8	41,9	23,8	43,9
	1000	18,2	16,7	15,0	22,1	42,8	48,4	20,5	49,2
	2000	20,0	11,6	17,9	18,4	41,8	52,7	27,1	45,1
	4000	22,2	15,7	18,9	16,3	38,3	50,7	35,8	47,4
P13	125	7,3	13,9	9,9	22,5	23,8	21,7	6,2	9,6
	250	13,8	21,4	28,1	20,6	36,7	59,9	18,1	21,5
	500	12,0	17,7	25,6	30,7	60,1	77,8	10,7	27,2
	1000	16,0	22,2	24,6	34,9	56,4	67,1	13,7	31,7
	2000	15,7	18,9	25,3	25,6	48,6	69,9	12,8	31,1
	4000	11,9	20,1	28,0	32,2	52,0	72,1	17,5	50,4
P14	125	14,0	4,0	1,9	19,3	14,1	33,1	16,9	17,5
	250	20,5	11,8	12,8	19,6	46,3	22,8	28,7	27,0
	500	16,3	12,5	11,6	17,5	48,5	40,9	12,4	27,4
	1000	21,9	14,6	16,7	35,2	74,0	56,1	14,9	32,4
	2000	11,7	18,4	13,4	15,8	50,1	50,3	12,8	29,8
	4000	10,4	15,9	17,5	26,5	58,3	45,6	21,5	43,4
P15	125	14,9	10,2	3,1	25,6	15,2	46,7	18,3	27,9
	250	14,0	12,0	5,8	27,5	65,1	31,1	18,8	24,4
	500	18,2	16,7	9,6	38,2	50,4	34,8	13,2	22,0
	1000	25,3	16,7	19,4	49,1	71,7	47,3	12,5	29,0
	2000	12,5	14,9	15,9	37,3	62,7	37,4	13,5	26,6
	4000	19,6	13,7	15,9	37,0	61,4	44,0	18,9	35,1
P16	125	33,0	7,2	24,6	15,1	21,6	24,4	21,0	4,8
	250	20,9	8,6	6,6	53,5	20,6	38,8	22,6	13,3
	500	33,3	11,0	10,6	73,0	29,4	17,0	19,6	14,9
	1000	37,1	22,1	15,7	71,5	37,3	22,0	21,7	18,0
	2000	19,9	12,5	14,1	53,1	34,5	24,1	14,7	21,3
	4000	21,8	12,3	15,3	55,7	37,8	33,1	23,1	30,2

APÊNDICE L

CLAREZA (C80) COM A DISTRIBUIÇÃO DE 8 FONTES (em dB)

	Freq (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P1	125	-0,6	-1,6	-4,5	-5,9	-3,7	-8,1	-10,0	-8,2
	250	-1,6	-1,2	-0,6	-2,3	-6,2	-7,1	-4,6	-3,3
	500	2,6	-1,8	-4,8	-8,2	-5,7	-6,4	-4,5	-3,7
	1000	5,9	-3,0	-5,5	-4,8	-6,1	-5,8	-4,8	-3,9
	2000	1,7	-1,6	-4,9	-4,9	-6,5	-4,9	-2,9	-3,1
	4000	2,7	-0,3	-3,2	-2,9	-6,1	-4,3	-3,3	-2,8
P2	125	-1,2	-4,6	-2,2	-9,2	-10,5	-7,4	-6,3	-6,8
	250	-2,3	-0,7	-1,7	-7,5	-4,9	-8,4	-3,3	-2,4
	500	-3,8	-0,5	-5,4	-5,5	-5,5	-6,0	-2,8	-3,9
	1000	-3,2	2,9	-1,8	-5,1	-6,4	-6,7	-1,0	-3,3
	2000	-1,6	-1,7	-2,2	-5,1	-5,3	-5,9	-2,1	-2,9
	4000	-0,6	-0,6	-2,8	-4,2	-4,3	-4,2	-2,5	-1,8
P3	125	-7,1	-0,9	-2,7	-9,3	-7,9	-14,5	-2,9	-8,7
	250	-4,8	-0,6	-0,7	-6,9	-4,6	-6,7	-3,5	-6,9
	500	-6,3	4,3	-1,2	-4,3	-6,1	-5,0	-3,4	-6,1
	1000	-4,5	2,5	-0,8	-7,1	-6,1	-6,5	-2,0	-6,1
	2000	-3,7	0,8	-0,9	-6,4	-6,0	-4,0	-1,3	-6,0
	4000	-3,0	2,2	0,9	-5,6	-5,0	-4,2	-1,5	-4,6
P4	125	-5,4	-4,6	-4,5	-11,4	-6,9	-14,5	-2,0	-11,7
	250	-5,8	-2,0	2,2	-6,1	-2,8	-2,1	0,4	-2,8
	500	-7,2	-4,6	0,7	-5,6	-5,1	-3,1	-1,7	-7,4
	1000	-6,0	-2,3	-1,8	-3,6	-5,8	-3,3	0,1	-5,4
	2000	-5,6	-0,1	0,8	-6,5	-6,3	-2,0	-1,6	-6,6
	4000	-3,5	0,6	2,2	-5,4	-5,6	-1,7	-0,1	-4,7
P5	125	-7,3	-8,8	-4,4	-14,3	-8,2	-12,8	-2,5	-11,5
	250	-3,9	-3,4	0,2	-4,5	-5,8	-6,2	-4,4	-4,3
	500	-8,6	-4,6	-3,3	-4,4	-4,5	-5,8	1,9	-4,2
	1000	-5,7	-4,7	-4,3	-4,7	-4,7	-6,5	1,9	-5,8
	2000	-6,5	-3,7	-1,3	-5,6	-6,2	-4,1	0,6	-6,0
	4000	-6,2	-2,7	-0,3	-4,5	-5,6	-3,8	2,8	-5,2
P6	125	-	-7,9	-9,5	-6,4	-5,6	-13,3	-4,0	-9,6
	250	-4,7	-3,5	-2,4	-6,0	-6,0	-4,7	-2,9	-6,5
	500	-5,3	-4,1	-4,9	-7,6	-6,0	-7,1	-3,5	-5,2
	1000	-5,4	-3,8	-2,5	-6,5	-6,7	-5,7	-3,3	-5,4
	2000	-4,6	-4,5	-3,1	-6,4	-5,2	-2,9	-2,5	-3,7
	4000	-4,1	-4,0	-2,0	-5,7	-5,2	-3,8	-2,1	-3,7
P7	125	-6,5	-6,9	-1,9	-9,1	-7,0	-9,4	-3,0	-5,0
	250	-5,6	-3,6	-6,1	-8,2	-7,5	-4,8	-4,7	-6,1
	500	-4,6	-4,5	-4,1	-7,4	-6,5	-6,0	-6,7	-7,1
	1000	-3,4	-3,5	-4,6	-4,5	-4,8	-5,4	-4,8	-4,8
	2000	-4,2	-4,5	-2,9	-5,8	-6,4	-5,7	-5,4	-2,2
	4000	-2,9	-3,3	-1,4	-5,5	-5,4	-4,2	-3,3	-2,3
P8	125	-4,4	-5,6	-2,5	-8,0	-13,3	-5,6	-8,2	-6,5
	250	-1,9	-3,6	-2,9	-4,7	-6,3	-6,6	-4,6	-4,2
	500	1,7	-3,2	-6,4	-6,2	-6,2	-6,5	-3,3	-3,3
	1000	6,9	-2,0	-3,1	-1,1	-4,1	-5,3	-5,5	-3,2
	2000	1,5	-3,7	-4,4	-2,8	-5,6	-4,9	-4,3	-2,5
	4000	2,5	-3,6	-3,4	-1,2	-3,5	-3,0	-3,2	-1,1

	Freq (Hz)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P9	125	-9,2	-7,7	-3,8	-4,5	-3,8	-5,2	-3,5	-7,0
	250	-5,1	-6,6	-5,4	-1,0	-2,7	-1,0	-5,0	-1,1
	500	-1,6	-5,2	-7,0	0,5	-4,5	-5,4	-4,2	-5,8
	1000	-1,0	-4,3	-4,3	1,3	-4,1	-3,8	-3,6	-4,6
	2000	-2,5	-6,1	-5,1	0,5	-4,2	-4,1	-4,9	-3,0
	4000	-1,7	-5,0	-3,8	1,3	-1,5	-2,0	-3,3	-3,6
P10	125	-3,9	-9,5	-9,8	-4,9	-6,5	-6,1	-7,8	-9,6
	250	-3,8	-7,2	-3,1	-5,5	-4,5	-4,3	-2,0	-3,1
	500	-2,6	-6,2	-3,1	-2,3	-3,4	-2,3	-4,6	-8,7
	1000	-0,8	-3,5	-3,6	-1,5	-0,8	-3,5	-5,4	-5,1
	2000	-2,3	-5,1	-4,5	-2,4	-2,6	-2,0	-4,6	-4,6
	4000	-4,2	-4,5	-4,0	-4,4	-3,3	-2,8	-3,2	-2,3
P11	125	-5,9	-7,5	-15,4	-6,5	-8,3	-5,9	-6,8	-4,8
	250	-5,5	-4,8	-8,1	-3,7	-1,7	-1,9	-4,3	-0,3
	500	-4,7	-6,1	-6,7	-1,6	-0,5	-2,5	-5,6	-3,5
	1000	-2,7	-4,4	-5,2	-0,1	0,2	-2,0	-6,6	-1,3
	2000	-3,9	-6,0	-4,9	-2,2	-2,0	-0,4	-3,6	0,5
	4000	-5,2	-4,0	-3,3	-2,1	-0,5	-1,3	-1,9	0,9
P12	125	-9,6	-10,4	-6,2	-2,9	-6,6	-10,0	-9,5	-3,3
	250	-3,8	-4,9	-1,2	-4,4	-3,7	-1,0	-1,9	-1,4
	500	-6,8	-3,2	-4,8	-4,9	-0,9	-0,6	-4,4	0,1
	1000	-3,8	-5,4	-4,7	-3,8	-0,1	0,7	-5,2	1,0
	2000	-3,9	-6,1	-4,1	-4,7	-0,1	1,5	-3,4	0,3
	4000	-3,6	-5,0	-3,2	-4,8	0,0	1,2	-1,5	1,0
P13	125	-9,5	-7,1	-7,6	-8,8	-2,5	-0,7	-11,0	-8,7
	250	-4,6	-5,1	-0,6	-4,0	-3,0	3,4	-5,1	-1,9
	500	-6,3	-6,5	-3,0	-3,4	1,1	6,4	-5,2	-2,7
	1000	-3,9	-4,5	-3,7	-1,9	1,1	5,5	-5,9	-2,3
	2000	-4,7	-5,1	-1,6	-4,6	-0,2	5,2	-5,9	-1,2
	4000	-5,7	-5,4	-0,6	-3,0	0,8	6,0	-4,1	1,5
P14	125	-7,2	-10,4	-14,8	-5,4	-7,3	-1,7	-6,2	-5,4
	250	-2,6	-5,2	-5,7	-3,9	-0,1	-3,5	-3,1	-2,4
	500	-4,6	-5,4	-6,5	-4,6	0,8	-0,4	-6,7	-3,3
	1000	-3,3	-4,5	-4,1	-1,6	5,4	2,2	-4,9	-1,8
	2000	-6,1	-3,8	-5,0	-5,3	1,7	1,4	-5,9	-2,0
	4000	-5,1	-3,9	-3,4	-2,9	3,1	1,2	-3,3	0,4
P15	125	-7,0	-5,7	-12,7	-4,4	-6,6	0,7	-5,3	-3,4
	250	-4,6	-5,8	-7,5	-2,9	3,3	-0,8	-4,3	-3,1
	500	-4,6	-4,4	-7,0	-1,1	0,9	-1,9	-4,1	-4,3
	1000	-3,6	-4,1	-3,7	0,7	4,7	0,4	-5,2	-2,0
	2000	-6,3	-4,4	-4,5	-1,1	3,3	-0,7	-5,1	-3,0
	4000	-4,7	-4,7	-4,2	-0,9	3,0	0,2	-3,2	-1,0
P16	125	-2,5	-3,9	-3,2	-6,6	-4,2	-3,2	-5,1	-9,1
	250	-4,7	-8,6	-7,9	2,8	-4,0	-0,2	-4,1	-4,5
	500	-2,6	-7,6	-6,6	5,1	-2,8	-5,0	-4,3	-6,1
	1000	-1,6	-3,7	-4,6	5,0	-1,2	-4,0	-3,5	-4,8
	2000	-4,6	-6,1	-5,1	2,6	-1,4	-3,5	-4,3	-3,6
	4000	-3,8	-5,7	-4,9	2,7	-0,7	-1,8	-2,8	-2,0

APÊNDICE M

ÍNDICE DE TRANSMISSÃO DA FALA COM A DISTRIBUIÇÃO DE 8 FONTES

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
P1	0,54	0,46	0,37	0,39	0,35	0,33	0,36	0,38
P2	0,42	0,44	0,43	0,38	0,36	0,34	0,41	0,40
P3	0,38	0,53	0,46	0,33	0,36	0,33	0,43	0,33
P4	0,33	0,43	0,50	0,40	0,33	0,40	0,46	0,34
P5	0,32	0,40	0,43	0,30	0,32	0,34	0,52	0,36
P6	0,35	0,37	0,38	0,33	0,34	0,34	0,40	0,38
P7	0,36	0,37	0,39	0,34	0,32	0,33	0,36	0,39
P8	0,54	0,39	0,37	0,42	0,33	0,35	0,37	0,40
P9	0,41	0,34	0,35	0,50	0,41	0,39	0,39	0,38
P10	0,41	0,34	0,36	0,40	0,39	0,41	0,38	0,37
P11	0,37	0,35	0,31	0,39	0,45	0,43	0,38	0,48
P12	0,35	0,33	0,39	0,36	0,44	0,47	0,41	0,49
P13	0,32	0,34	0,42	0,36	0,48	0,63	0,35	0,43
P14	0,34	0,34	0,34	0,37	0,52	0,50	0,36	0,43
P15	0,35	0,40	0,33	0,44	0,57	0,48	0,36	0,42
P15	0,40	0,35	0,33	0,55	0,43	0,40	0,38	0,36