

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE MESQUITAS A MESQUITA CENTRAL DE LISBOA

CARINA PATRÍCIA TEIXEIRA DE FREITAS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha família e amigos

O sucesso na vida está nas atitudes e actos de cada um. Conceitos como humildade, persistência, luta e força são cruciais para atingir qualquer objectivo.

Carina Freitas

AGRADECIMENTOS

Aproveito este momento para agradecer a todos aqueles que tornaram este trabalho possível.

Ao meu orientador, Professor Doutor A. P. Oliveira de Carvalho, por todo apoio, partilha de conhecimentos, paciência, boa disposição e acima de tudo, todo o interesse demonstrado durante a realização desta dissertação.

Ao Engenheiro António Eduardo Costa por todo o apoio prestado durante os ensaios e pelas suas sugestões na fase de tratamento de dados.

À Mesquita Central de Lisboa, mais propriamente ao Xeiqe David Munir e ao funcionário da secretaria da mesquita, Mahomed Shaquil Khwaja Mahomed pelo interesse e dedicação durante a realização dos ensaios e pela disponibilização de informações sobre a mesquita.

Aos autores Peter Mapp, Wayne Lee e Benjamin Markland pela cedência dos seus estudos sobre mesquitas.

Aos meus pais e irmã por tornarem este sonho realidade e, por todo o apoio e compreensão demonstrados ao longo de todo o curso. Sem eles não seria possível atingir este objectivo.

Aos meus amigos, por todo apoio, amizade e por todos os momentos que me proporcionaram durante o meu percurso académico.

A todos o meu muito obrigado!

RESUMO

Verifica-se, actualmente um crescente interesse no estudo da área de acústica com o objectivo de controlar os níveis de ruído e o ambiente sonoro interior, para proporcionar assim, um melhor nível de bem-estar à sociedade. O dimensionamento acústico de um espaço é feito com base na utilização prevista para este e, depende entre outros parâmetros, da forma, do volume, das áreas e da absorção sonora das superfícies. Contudo, existem espaços, como é o caso dos locais de culto e das salas de espectáculos, onde este tema assume um papel acrescido contribuindo para uma utilização mais agradável e adequada.

O âmbito desta dissertação centra-se na caracterização acústica dos locais de culto da comunidade islâmica, ou seja, das mesquitas e, de um caso de estudo particular – a Mesquita Central de Lisboa. É feita a análise das bases em que se fundamenta esta religião, nomeadamente nas suas práticas de culto. Só assim é possível optar pelos parâmetros acústicos mais apropriados a quantificar. É também feito um paralelo com a religião Católica.

Com o caso de estudo, procede-se à caracterização acústica da Mesquita Central de Lisboa, mais propriamente da sala de culto principal e das mulheres. Torna-se por isso importante conhecer fisicamente o espaço e proceder a medições acústicas realizadas em diferentes pontos no local.

Neste espaço são analisados, a inteligibilidade da palavra, ou seja, o nível de percepção desta pelas pessoas que a estão a ouvir e, o ruído de fundo associado quer aos equipamentos mecânicos quer ao ruído de tráfego.

Na análise objectiva, os parâmetros estudados são o tempo de reverberação (TR), o RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) e o nível sonoro do ruído de fundo (L_A).

O tempo de reverberação foi medido em bandas de oitava entre 125 Hz e os 4000 Hz. O RASTI foi medido em duas situações distintas, uma com o uso do sistema de reforço electroacústico instalado no recinto e a outra sem ele. O ruído de fundo é analisado sem o funcionamento do sistema de AVAC, visto este não existir na mesquita.

Para a sala de culto principal obteve-se um tempo de reverberação médio de 2,8 s, um RASTI médio de 0,48 e um nível sonoro de 49 dB. Por sua vez, a sala de culto das mulheres apresentou um tempo de reverberação médio de 2,6 s, um RASTI médio de 0,38 e um nível sonoro similar ao da sala de culto principal.

De forma a avaliar o grau de incomodidade existente na sala, os valores dos níveis de pressão sonora de ruído de fundo medidos no local, para cada banda de frequência, foram confrontados com as curvas de incomodidade, *Noise Criteria* (NC). Embora estas curvas pretendam avaliar o ruído produzido por equipamentos tipo AVAC. Para as salas de culto principal e das mulheres obteve-se um NC44.

É feita também uma comparação com estudos realizados noutras mesquitas e com igrejas que apresentam volumetria semelhante.

A breve análise subjectiva realiza-se com base na opinião do Xeiq Munir sobre o uso desta sala.

Por fim, apresentam-se sugestões de desenvolvimentos futuros, ou seja, aspectos que se poderiam aprofundar numa continuação deste estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Mesquitas, acústica, tempo de reverberação, RASTI, ruído de fundo.

ABSTRACT

There is currently a growing interest in studying the area of acoustics in order to control noise levels and interior acoustic environment to provide a better level of wellbeing for society. The acoustic design of a space is based on its intended use, and depends, among other parameters, on the shape, volume, area and the sound absorption of the surfaces. However, there are spaces, such as places of worship and concert halls where this assumes an increased role in contributing to a more pleasant, appropriate use.

The scope of this dissertation is focused on the acoustic characterization of places of worship of the Islamic community, in other words, mosques, and a particular study case – Lisbon's Mosque. An analysis was carried out into the bases on which this religion is founded, in particular with regard to patterns of worship. Only then, can the most appropriate acoustic parameters be chosen to quantify. A parallel with the Catholic religion has also been carried out.

Regarding the case study, there was an acoustic assessment of the Central Mosque of Lisbon, more specifically in the main hall of worship and women. It is important to know the physical space and conduct the noise measurements in different points within the space.

In this space the intelligibility of speech, i.e. the perception level of the listeners, and background noise associated with mechanical equipment noise or traffic were analyzed.

In objective analysis, the parameters studied are the reverberation time (RT), the RASTI (Rapid Speech Transmission Index) and the level of background noise (L_A).

The reverberation time was measured in octave bands between 125 Hz and 4000 Hz. The RASTI was measured in two different situations, one with the use of an electroacoustic reinforcement system installed in the enclosure and the other without it. The background noise was analyzed without the operation of the HVAC system, since this does not exist at the mosque.

For the main hall of worship an average reverberation time of 2,8 s, average RASTI of 0,48 and a noise level of 49 dB were obtained. In turn, the hall of worship for women had an average reverberation time of 2,6 s, an average RASTI of 0,38 and a noise level similar to the main hall of worship.

In order to evaluate the degree of nuisance existing in the room, the values of sound pressure levels of background noise measured on space for each frequency band were compared with the curves of nuisance, Noise Criteria (NC), although these curves are intended to evaluate the noise produced by HVAC equipment type. For the main hall of worship and the one for women an NC44 was obtained.

A comparison with studies in other mosques and churches that have similar volume was also made.

A brief subjective analysis was performed, based on the opinion of Sheik Munir on the use of this room.

Finally, we present suggestions for future developments, i.e. aspects that could be further deepened through continuation of this study.

KEYWORDS: Mosques, acoustics, reverberation time, RASTI, background noise.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	1
1.2. ESTRUTURA	2
2. A ACÚSTICA	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. NOÇÕES BASE	4
2.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM E OS CONCEITOS DE SOM E RUÍDO	4
2.2.2. PRESSÃO SONORA	5
2.2.3. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA	5
2.2.4. NÍVEIS	6
2.2.5. FREQUÊNCIA	7
2.2.6. CURVAS DE PONDERAÇÃO	9
2.2.7. ABSORÇÃO SONORA	11
2.2.8. CAMPO DIRECTO E REVERBERADO	12
2.2.9. PERCEÇÃO DA PALAVRA	13
2.2.10. SISTEMAS DE REFORÇO ELETROACÚSTICO	14
2.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS	15
2.3.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	15
2.3.2. STI E RASTI	17
2.3.2.1. STI	17
2.3.2.2. RASTI	17
2.3.2.3. Comparação entre o STI e o RASTI	17
2.3.3. RUÍDO DE FUNDO – CURVAS DE INCOMODIDADE	20
3. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E RELIGIOSO	23
3.1. ISLAMISMO	23

3.2. CARACTERIZAÇÃO ARQUITECTÓNICA – A CIVILIZAÇÃO ISLÂMICA 30

4. A ACÚSTICA NAS MESQUITAS 43

4.1. INTRODUÇÃO 43

4.2. ESTUDO 1: MESQUITA *SHAH ALAM* 45

4.3. ESTUDO 2: MESQUITA *KING ABDULLAH* 46

4.3.1. DESCRIÇÃO 46

4.3.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO 47

4.3.3. NÍVEL SONORO E RASTI 48

4.3.4. SOLUÇÕES PROPOSTAS 48

4.4. ESTUDO 3: MESQUITA DO *ESTADO DO KUWAIT* 50

4.4.1. DESCRIÇÃO 50

4.4.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO 50

4.4.3. RASTI 51

4.5. ESTUDO 4: COMPARAÇÃO DE MESQUITAS E IGREJAS BIZANTINAS 53

4.5.1. DESCRIÇÃO 53

4.5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO 55

4.5.3. NÍVEL DE ACRÉSCIMO DE INTENSIDADE SONORA 56

4.5.4. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DO PAVIMENTO 57

4.6. ESTUDO 5: MESQUITAS DA ARÁBIA SAUDITA 57

4.6.1. DESCRIÇÃO 57

4.6.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO 60

4.6.3. NÍVEL SONORO 62

4.6.4. STI 64

4.7. ESTUDO 6: DESEMPENHO ACÚSTICO DE MESQUITAS USANDO MODELOS COMPUTACIONAIS 66

4.7.1. DESCRIÇÃO 66

4.7.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO 67

4.7.3. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA E NÍVEL SONORO 68

4.8. ESTUDO 7: SOLUÇÕES ACÚSTICAS NA ARQUITECTURA OTOMANA CLÁSSICA 70

4.8.1. INTRODUÇÃO 70

4.8.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO 71

4.8.3. RESSOADORES DE CAVIDADE NAS CÚPULAS 71

4.8.4. LOCALIZAÇÃO DO *MUEZZIN'S MAHFIL* 73

4.9. ESTUDO 8: MESQUITA DARUSSHOLAH	74
4.9.1. DESCRIÇÃO	74
4.9.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	77
4.9.3. RASTI	78
4.10. ESTUDO 9: PARÂMETROS ACÚSTICOS NAS MESQUITAS	80
4.10.1. INTRODUÇÃO	80
4.10.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	80
4.11. ESTUDO 10: MESQUITA DE ATLANTA	81
4.12. OUTROS ESTUDOS	82
4.13. RESUMO	82
5. A MESQUITA CENTRAL DE LISBOA	85
5.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	85
5.2. CARACTERIZAÇÃO DA MESQUITA CENTRAL DE LISBOA	89
5.3. CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA	94
5.3.1. DESCRIÇÃO	94
5.3.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	94
5.3.2.1. Metodologia	94
5.3.2.2. Resultados	96
5.3.2.3. Comparação com valores recomendados	98
5.3.3. RASTI	99
5.3.3.1. Metodologia	99
5.3.3.2. Resultados	100
5.3.4. NÍVEL SONORO.....	105
5.3.4.1. Metodologia	105
5.3.4.2. Resultados	106
5.3.4.3. Curvas de Incomodidade	108
5.3.5. ANÁLISE SUBJECTIVA	109
5.3.6. COMENTÁRIOS FINAIS	109
6. COMPARAÇÃO DA MESQUITA CENTRAL DE LISBOA COM OUTRAS MESQUITAS E IGREJAS COM VOLUMETRIA SEMELHANTE	111

6.1. COMPARAÇÃO COM OUTRAS MESQUITAS	111
6.1.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	111
6.1.2. RASTI	113
6.1.3. NÍVEL SONORO DO RUÍDO DE FUNDO	116
6.2. COMPARAÇÃO COM IGREJAS COM VOLUMETRIA SEMELHANTE	117
6.2.1. INTRODUÇÃO	117
6.2.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	118
6.2.3. RASTI	119
6.2. CONCLUSÕES	120
7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	121
7.1. CONCLUSÕES	121
7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Oscilação de uma partícula ao longo de um período de tempo. As zonas representadas a verde correspondem a zonas de compressão e as brancas, de rarefação [16].	4
Figura 2.2 - Evolução da pressão sonora total, P_t , em função do tempo num ponto qualquer do espaço. [Adaptado de 13].	5
Figura 2.3 – Representação gráfica da <i>inverse square law</i> [Adaptado de 19].	6
Figura 2.4 - Oscilogramas (à esquerda) e espectrogramas (à direita) de dois sons puros e a soma destes (som complexo ou composto) [15].	7
Figura 2.5 - Espectro de um ruído em bandas de 1/1 oitava e 1/3 oitava [15].	9
Figura 2.6 – Curvas de Ponderação A, B, C e D [Adaptado de 22].	10
Figura 2.7 – Comportamentos dos materiais <i>porosos</i> e <i>fibrosos</i> , <i>ressoadores</i> e <i>membranas</i> por frequência [Adaptado de 15].	12
Figura 2.8 - Evolução do nível relativo de pressão sonora (ΔL) em função da distância à fonte (r) normalizada em relação à distância crítica, D_c [Adaptado de 13].	13
Figura 2.9 - Evolução temporal da energia sonora correspondente à emissão de uma vogal e de uma consoante subsequente num espaço fechado [Adaptado de 13].	16
Figura 2.10 - Princípios da teoria dos parâmetros STI e RASTI (No quadro à direita os elementos referentes à modelação do STI estão a azul claro e os do RASTI a castanho). Classificação qualitativa do parâmetro RASTI no canto inferior esquerdo da figura [31].	18
Figura 2.11 – Espectro de um sistema sonoro enganoso para o RASTI [27].	18
Figura 2.12 - Erros associados às medições do RASTI [Adaptado de 27].	19
Figura 2.13 - Correlação entre o STI e o RASTI [27].	19
Figura 2.14 – Curvas do método <i>Noise Criteria - NC</i> [Adaptado de 34].	20
Figura 3.1 - Localização geográfica da Península Arábica [Adaptado de 44].	24
Figura 3.2 - <i>Caaba</i> (pedra negra) na cidade de Meca [Adaptado de 45].	25
Figura 3.3 - Calendário Islâmico [Adaptado de 46].	26
Figura 3.4 - Mesquita do Profeta em Medina [47].	26
Figura 3.5 - Elementos auxiliares para oração (Corão, <i>hadiths</i> e <i>Masbaha</i>) na Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora]	28
Figura 3.6 - Pilares da Prática na Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora]	29
Figura 3.7 - Ruela com alguns comerciantes, na cidade de Jerusalém [55].	31
Figura 3.8 - Mausoléu de <i>Halicarnasso</i> [59].	31
Figura 3.9 - Mausoléu <i>Taj Mahal</i> , na Índia [62].	32
Figura 3.10 - Mesquita <i>Al Aqsa</i> em Jerusalém [65].	33

Figura 3.11 – Identificação dos elementos arquitectónicos base: Arcos, Cúpula e Minarete. Mesquita da Foz do Iguaçu, Brasil [Adaptado de 67].	33
Figura 3.12 - Mesquita Nacional da Malásia [69].	34
Figura 3.13 - Mesquita do Profeta em Medina [70].	34
Figura 3.14 – Identificação do Pátio e do <i>Iwan</i> na maquete da Mesquita <i>Jame</i> em <i>Isfahan</i> com 4 <i>Iwan</i> [Adaptado de 71].	35
Figura 3.15 - Mesquita <i>Djuma</i> , Khiva [72].	35
Figura 3.16 - Pátio da Mesquita Azul, Istambul. Identificação dos elementos <i>Haram</i> e <i>Sahn</i> [Adaptado de 73].	35
Figura 3.17 - Mesquita <i>Badshahi</i> em Lahore, Paquistão [74].	36
Figura 3.18 – Mesquita em Meca [75].	36
Figura 3.19 - Mesquita em Londres [76].	36
Figura 3.20 - Mesquita em Ottawa, Canadá [77].	37
Figura 3.21 – Mesquita na aldeia New Ngelepen, Indonésia [78].	37
Figura 3.22 – Identificação das salas de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora]	37
Figura 3.23 – Identificação dos elementos <i>Mihrab</i> , <i>Minbar</i> e <i>Dikka</i> na Mesquita <i>Sutan Hassan</i> , Cairo, Egípto [79].	38
Figura 3.24 - Fórum Islâmico, Alemanha [81].	39
Figura 3.25 - Interior da mesquita <i>Cologne</i> , Alemanha [82].	39
Figura 3.26 – Interior da mesquita <i>Sakirin</i> , Istambul [83].	39
Figura 3.27 - Mesquita Flutuante, Dubai [84].	40
Figura 4.1 – Modos de Culto: à esq. e à dir. - Oração (<i>Prayer</i>), no centro e à dir. - Sermão (<i>Preaching</i>) [5].	43
Figura 4.2 – Exterior da Mesquita <i>Shah Alam</i> , Malásia [88].	45
Figura 4.3 - Interior da Mesquita <i>Shah Alam</i> , Malásia [89].	45
Figura 4.4 - Exterior da Mesquita <i>King Abdullah</i> , Amman, Jordânia [90].	47
Figura 4.5 - Interior da Mesquita <i>King Abdullah</i> , Amman, Jordânia [91].	47
Figura 4.6 – Tempos de reverberação recomendados para algumas situações e os medidos na mesquita <i>King Abdullah</i> após tratamento acústico [Adaptado de 2].	48
Figura 4.7 – Tratamento das diferentes superfícies, cúpula, paredes verticais e inclinadas e respectivos pormenores na mesquita <i>King Abdullah</i> [2].	49
Figura 4.8 - Exterior da Mesquita do <i>Estado do Kuwait</i> [93].	50
Figura 4.9 - Interior da Mesquita do <i>Estado do Kuwait</i> [94].	50
Figura 4.10 - Tempo de reverberação medido na mesquita do <i>Estado do Kuwait</i> por banda de frequência [Adaptado de 3].	51

Figura 4.11 - Medições do RASTI na sala de culto principal da mesquita do <i>Estado do Kuwait</i> sem o equipamento electroacústico a funcionar. A parede esquerda corresponde à <i>Quibla</i> (orientada para Meca) [3].	51
Figura 4.12 - Medições do RASTI na sala de culto principal da mesquita do <i>Estado do Kuwait</i> com o equipamento electroacústico a funcionar para a disposição inicial. A parede localizada superiormente na imagem corresponde à <i>Quibla</i> (orientada para Meca) [3].	52
Figura 4.13 - Medições do RASTI na sala de culto das mulheres da mesquita do <i>Estado do Kuwait</i> com o equipamento electroacústico a funcionar para a disposição inicial [3].	52
Figura 4.14 - Medições do RASTI na sala de culto principal da mesquita do <i>Estado do Kuwait</i> com o equipamento electroacústico a funcionar para a nova disposição. A parede localizada superiormente na imagem corresponde à <i>Quibla</i> (orientada para Meca) [3].	53
Figura 4.15 - Medições do RASTI na sala de culto das mulheres da mesquita do <i>Estado do Kuwait</i> com o equipamento electroacústico a funcionar para a nova disposição. A parede esquerda corresponde à <i>Quibla</i> (orientada para Meca) [3].	53
Figura 4.16 - Exterior da mesquita <i>Suleymanie</i> , Istambul [Adaptado de 95].	54
Figura 4.17 - Interior da mesquita <i>Suleymanie</i> , Istambul [Adaptado de 96].	54
Figura 4.18 - Exterior da mesquita <i>Selymie</i> , Istambul [97].	54
Figura 4.19 - Interior da Mesquita <i>Selymie</i> , Istambul [98].	54
Figura 4.20 - Exterior da Mesquita <i>Sokullu</i> , Istambul [99].	54
Figura 4.21 - Interior da Mesquita <i>Sokullu</i> , Istambul [Adaptado de 100].	54
Figura 4.22 - Exterior da Igreja <i>S. Sergius & S. Bacchus</i> , Istambul [101].	55
Figura 4.23 - Interior da igreja <i>S. Sergius & S. Bacchus</i> , Istambul [Adaptado de 102].	55
Figura 4.24 - Valores do Tempo de Reverberação em função do volume e respectivas funções de regressão [4].	56
Figura 4.25 - Valores do Tempo de Reverberação por gama de frequência para as respectivas mesquitas em estudo [4].	56
Figura 4.26 - Valores do parâmetro G para igrejas e mesquitas e respectivas funções de regressão [4].	57
Figura 4.27 – Configuração das várias mesquitas da Arábia Saudita por grupo de análise [5].	59
Figura 4.28 – Tempo de Reverberação recomendado em função do volume das mesquitas por vários autores: A (para sala grandes, Stephen & Bate; B (para a frequência de 500 Hz, Smith, Peters e Owen); C (para salas de conferência Templeton, Sacre, Mapp e Saunders); D (para as frequências médias: 500-1000 Hz, Stein e Reynolds); E (tempo de reverberação máximo para salas grandes, Stein e Reynolds) [5].	61
Figura 4.29 - Tempo de Reverberação para as frequências médias (500-1000 Hz) em função do volume quando está desocupada ○, 1/3 ocupada ◆, 1/1 ocupada ●. Na zona a sombreado pode-se encontrar os valores ideais sugeridos na Figura 4.28 [5].	61
Figura 4.30 - Tempo de Reverberação por banda de frequência para os respectivos grupos de mesquitas da Arábia Saudita em análise [5].	61

Figura 4.31 - Comparação do nível de ruído de fundo com os níveis NC para as diferentes condições de funcionamento dos equipamentos. I-muito silencioso a silencioso, II-moderadamente ruidoso a ruidoso, III-muito ruidoso, IV-extremamente ruidoso [5].	62
Figura 4.32 - Média dos Níveis de Pressão Sonora do Ruído de Fundo por bandas de frequência das mesquitas da Arábia Saudita em análise em comparação com as curvas NC em diferentes situações de funcionamento dos equipamentos [Adaptado de 5].	63
Figura 4.33 - Níveis de inteligibilidade da palavra, STI em função da distância orador-ouvinte com e sem utilização do sistema SRS para as mesquitas da Arábia Saudita [5].	64
Figura 4.34 - Comparação do STI das várias mesquitas da Arábia Saudita com e sem o sistema SRS a funcionar [5].	65
Figura 4.35 - Localização dos vários pontos na mesquita tipo sujeitos a avaliações computacionais [8].	67
Figura 4.36 - Tempo de Reverberação por bandas de frequência obtidos por computação para cada tipo de mesquita com 1/3 da ocupação e para o modo de culto <i>oração</i> [8].	67
Figura 4.37 – Distribuição dos níveis de inteligibilidade da palavra (STI) admitindo um ruído de fundo dado pelo espectro NC25, assumindo que a mesquita tipo está lotada durante o modo de culto <i>oração</i> [8].	68
Figura 4.38 – Distribuição dos níveis de inteligibilidade da palavra (STI) admitindo um ruído de fundo dado pelo espectro NC25, assumindo que a mesquita tipo está lotada durante o modo de culto <i>sermão</i> [8].	69
Figura 4.39 – Comparação dos diferentes valores do STI por percentagem de ouvintes para cada configuração de mesquita no modo de culto <i>oração</i> [8].	69
Figura 4.40 – Comparação dos diferentes valores do STI por percentagem de ouvintes para cada configuração de mesquita no modo de culto <i>sermão</i> [8].	69
Figura 4.41 – Variação do STI em função da distância entre a fonte e o receptor para os diferentes tipos de mesquitas [8].	70
Figura 4.42 – Valores óptimos de tempo de reverberação em função volume para mesquitas, recomendados pelo autor Kayili [9].	71
Figura 4.43 - Ressorador de Cavidade [9].	71
Figura 4.44 – Comportamento da energia sonora na cúpula: à esq., corte da cúpula; à dir., vista da cúpula em planta [9].	72
Figura 4.45 – Corte de um ressoador encontrado na Mesquita Azul em Istambul, na Turquia [9].	72
Figura 4.46 – Abertura de ressoadores na cúpula da mesquita <i>Suleymanie</i> em Istambul, na Turquia [9].	73
Figura 4.47 – Localização do <i>muezzin's mahfil</i> (galeria onde se realiza o chamamento para oração) e das <i>muezzin's balconies</i> (pequenos balcões) para reforçar a energia sonora na mesquita <i>Suleymanie</i> em Istambul, na Turquia [9].	73
Figura 4.48 - Localização do <i>muezzin's mahfil</i> (galeria onde se realiza o chamamento para oração) na mesquita <i>Selymie</i> em Istambul, na Turquia [9].	74

Figura 4.49 - Exterior da Mesquita <i>Darussholah</i> , Java Oriental, Indonésia [105].	75
Figura 4.50 - Interior da Mesquita <i>Darussholah</i> , Java Oriental, Indonésia [106].	75
Figura 4.51 – Dois tipos de cúpulas em análise na mesquita <i>Darussholah</i> [Adaptado de 6].	75
Figura 4.52 – Três tipos de anéis das cúpulas usados nas simulações para a mesquita <i>Darussholah</i> [Adaptado de 6].	76
Figura 4.53 - Posições seleccionadas para a análise da inteligibilidade da palavra na mesquita <i>Darussholah</i> [6].	77
Figura 4.54 – Tempos de reverberação previstos pelas fórmulas de <i>Sabine</i> e <i>Eyring</i> com uma humidade relativa de 30% e 40% para o modelo 1 [6].	77
Figura 4.55 - Valores do RASTI para os modelos 1 e 11 em função do número de lugares na mesquita <i>Darussholah</i> [6].	78
Figura 4.56 – Índices de inteligibilidade da palavra (RASTI) para os diferentes modelos de análise da mesquita <i>Darussholah</i> (<i>Sermão</i>) [6].	78
Figura 4.57 – Índices de inteligibilidade da palavra (RASTI) para os diferentes modelos de análise da mesquita <i>Darussholah</i> (<i>Oração</i>) [6].	79
Figura 4.58 – Níveis de inteligibilidade da palavra medido através de um modelo físico de escala [6].	80
Figura 4.59 - Tempo de Reverberação recomendado em função do volume das mesquitas [10].	81
Figura 4.60 - Gama de tolerância para os tempos de reverberação por banda de frequência [10].	81
Figura 4.61 – Exterior da Mesquita <i>Al Farooq Masjid</i> , Atlanta, EUA [108].	82
Figura 4.62 - Interior da Mesquita <i>Al Farooq Masjid</i> , Atlanta, EUA [109].	82
Figura 5.1 - Exterior da Igreja S. Pedro de Lourosa, Oliveira do Hospital [118].	86
Figura 5.2 - Interior da Igreja S. Pedro de Lourosa, Oliveira do Hospital [118].	86
Figura 5.3 - Palácio do Príncipe Real, Lisboa [121].	88
Figura 5.4 - Mesquita <i>Aicha Siddika</i> , Odivelas [122].	88
Figura 5.5 - Mapa do Google com a localização da Mesquita Central de Lisboa [123].	89
Figura 5.6 - Localização da Mesquita Central de Lisboa [124].	89
Figura 5.7 – Entrada principal da Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora].	90
Figura 5.8 - Planta da Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora].	91
Figura 5.9 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de culto principal e sala de culto das mulheres no piso superior [Foto da Autora].	91
Figura 5.10 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de culto principal [Foto da Autora].	92
Figura 5.11 - Mesquita Central de Lisboa: <i>Mihrab</i> [Foto da Autora].	92
Figura 5.12 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de culto das mulheres [Foto da Autora].	92
Figura 5.13 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de ablução associada à sala de culto principal [Foto da Autora].	92

Figura 5.14 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de ablução associada à sala de culto das mulheres [Foto da Autora]	92
Figura 5.15 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de ablução dos mortos e Xeique Munir [126].	92
Figura 5.16 – Mesquita Central de Lisboa: Pátio da Biblioteca [Foto da Autora].....	93
Figura 5.17 – Mesquita Central de Lisboa: Pátio da Mesquita [Foto da Autora].....	93
Figura 5.18 – Mesquita Central de Lisboa: Minarete [Foto da Autora].	93
Figura 5.19 – Mesquita Central de Lisboa: À esquerda, cúpula da sala de culto principal; à direita, cúpula da biblioteca; no centro, minarete [Foto da Autora]......	93
Figura 5.20 – Mesquita Central de Lisboa: Interior da cúpula da sala de culto principal [Foto da Autora].	93
Figura 5.21 – Mesquita Central de Lisboa: Interior da cúpula localizada no pátio da biblioteca [Foto da Autora].	93
Figura 5.22 – Mesquita Central de Lisboa: Colunas colocadas nos cantos da sala de culto principal [Foto da Autora].	94
Figura 5.23 – Mesquita Central de Lisboa: Sistema de som no pátio [Foto da Autora].....	94
Figura 5.24 - Fonte Emissora <i>Brüel & Kjær</i> modelo 4224 [Foto da Autora].....	95
Figura 5.25 - Sonómetro <i>Brüel & Kjær</i> modelo 2260 [Foto da Autora].	95
Figura 5.26 - Mapa de pontos de medição do tempo de reverberação na sala de culto principal (seis pontos de recepção e um, E, de emissão) na Mesquita Central Lisboa.....	95
Figura 5.27 - Mapa de pontos de medição do tempo de reverberação na sala de culto das mulheres (três pontos de recepção e um, E, de emissão) na Mesquita Central de Lisboa.....	95
Figura 5.28 - Tempo de reverberação medido nos seis pontos na sala de culto principal da Mesquita Central de Lisboa.....	97
Figura 5.29 - Tempo de reverberação medido nos três pontos na sala de culto das mulheres da Mesquita Central de Lisboa.....	97
Figura 5.30 - Tempo de reverberação médio medido nas salas de culto principal e das mulheres da Mesquita Central de Lisboa.....	98
Figura 5.31 - Fonte emissora RASTI da <i>Brüel & Kjaer</i> modelo 4225 [Foto da Autora].....	100
Figura 5.32 – Receptor RASTI da <i>Brüel & Kjaer</i> modelo 4419 [Foto da Autora].	100
Figura 5.33 - Mapa de pontos de medição do RASTI na sala de culto principal (nove pontosreceptores e um, E, emissor) na Mesquita Central de Lisboa.	100
Figura 5.34 - Mapa de pontos de medição do RASTI na sala de culto das mulheres (três pontos receptores e um, E, emissor) na Mesquita Central de Lisboa.	100
Figura 5.35 - Valores do RASTI obtidos para as várias posições na sala de culto principal e das mulheres sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa. .	102
Figura 5.36 - Valores do RASTI obtidos para as diferentes posições na sala de culto principal e das mulheres e no pátio com o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.	103

Figura 5.37 - Valores de RASTI obtidos para as várias posições na sala de culto principal com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.....	104
Figura 5.38 - Valores do RASTI obtidos para as várias posições na sala de culto das mulheres com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.	104
Figura 5.39 - Medição do ruído de fundo na sala culto principal [Foto da Autora].	105
Figura 5.40 - Medição do ruído de fundo na sala de culto das mulheres [Foto Autora].	105
Figura 5.41 - Mapa de pontos de medição do ruído de fundo na sala de culto principal na Mesquita Central de Lisboa.	106
Figura 5.42 - Mapa de pontos de medição do ruído de fundo na sala de culto das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.....	106
Figura 5.43 - Níveis de pressão sonora médios nas salas de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.....	107
Figura 5.44 - Níveis sonoros médios com aplicação do filtro A nas salas de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.....	108
Figura 5.45 - Método <i>Noise Criteria (NC)</i> aplicado à sala de culto principal na Mesquita Central de Lisboa.	109
Figura 5.46 - Método <i>Noise Criteria (NC)</i> aplicado à sala de culto das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.	109
Figura 6.1 - Valores dos tempos de reverberação (500, 1000 Hz) das mesquitas em função do volume.....	111
Figura 6.2 - Tempo de Reverberação (500, 1000 Hz) das mesquitas em função do volume e a função de regressão.....	112
Figura 6.3 - Tempos de Reverberação por banda de frequência do Grupo E das mesquitas na Arábia Saudita e da mesquita Central de Lisboa.	113
Figura 6.4 - Valores médios do RASTI medidos na sala de culto principal nas mesquitas com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS).	114
Figura 6.5 - Valores médios do RASTI medidos na sala de culto das mulheres nas mesquitas do Estado do Kuwait e Central de Lisboa com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico.	115
Figura 6.6 - Níveis sonoros nas mesquitas <i>King Abdullah (Amman)</i> , diversas na Arábia Saudita e na Central de Lisboa.	116
Figura 6.7 - Valores <i>Noise Criteria (NC)</i> para as mesquitas da Arábia Saudita e Central de Lisboa.	117
Figura 6.8 - Tempo de Reverberação médio em função do Volume das igrejas (volumes compreendidos entre 5100 e 7200 m ³).....	118
Figura 6.9 - Tempo de Reverberação médio em função do volume das igrejas e da mesquita e respectiva função de regressão.	119
Figura 6.10 - Valores médios do RASTI para as igrejas seleccionadas e para a Mesquita Central de Lisboa.	119

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Conversão das grandezas para níveis e os respectivos valores de referência [Adaptado de 15].....	6
Quadro 2.2 – Frequências centrais das bandas de 1/3 oitava e 1/1 oitava [Adaptado de 15].	8
Quadro 2.3 – Valores numéricos das ponderações do filtro A para as bandas 1/3 oitava e 1/1 oitava [Adaptado de 15].	10
Quadro 2.4 - Valores para a curva de referência do método do α_w [Adaptado de 15].	11
Quadro 2.5 - Classes de absorção sonora (método α_w) [Adaptado de 15].....	12
Quadro 2.6 - Valores de tempo de reverberação recomendados para diferentes espaços [Adaptado de 13].....	15
Quadro 2.7 - Valores de STI e RASTI para três sistemas de reforço electroacústico com e sem ruído de fundo [Adaptado de 27].	20
Quadro 2.8 – Valores de Curvas NC recomendados para algumas utilizações tipo [Adaptado de 13].....	21
Quadro 4.1 – Tempos de Reverberação medidos na mesquita <i>King Abdullah</i> antes do tratamento acústico [Adaptado de 2].....	47
Quadro 4.2 - Características físicas das mesquitas seleccionadas na Arábia Saudita. [Adaptado de 5].....	58
Quadro 4.3 - Tempo de Reverberação por banda de frequência para os respectivos grupos das mesquitas da Arábia Saudita em análise [Adaptado de 5].	60
Quadro 4.4 - Níveis de Ruído de Fundo para cada mesquita e respectivos valores NC para a situação de não haver nenhum equipamento a funcionar (RF), no caso das ventoinhas estarem ligadas (Vent.), no caso do ar condicionado estar a funcionar (A/C), e no caso dos dois equipamentos estarem a funcionar (A/C + Vent.) [Adaptado de 5].	64
Quadro 4.5 - Informações geométricas das mesquitas modelos. [Adaptado de 8].	66
Quadro 4.6 - Descrição dos modelos de análise da mesquita <i>Darussholah</i> . Os modelos com * têm um número diferente de secções. [Adaptado de 6].	76
Quadro 4.7 – Quadro Resumo dos estudos abordados neste capítulo.....	83
Quadro 4.8 - Valores ideais dos parâmetros tempo de reverberação e NC.....	84
Quadro 4.9 - Limites para a classificação do parâmetro RASTI [3].....	84
Quadro 5.1 - Tempos de reverberação medidos na sala de culto principal da Mesquita Central de Lisboa.	96
Quadro 5.2 - Tempos de reverberação medidos na sala de culto das mulheres da Mesquita Central de Lisboa.	96
Quadro 5.3 - Quadro resumo dos valores do tempo de reverberação recomendados nos estudos do capítulo 4 e respectivos valores do tempo de reverberação medidos na Mesquita Central de Lisboa nas salas de culto principal e das mulheres.	99

Quadro 5.4 - Valores do RASTI medidos na sala de culto principal sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.....	101
Quadro 5.5 - Valores do RASTI medidos na sala de culto das mulheres sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.....	101
Quadro 5.6 - Valores do RASTI medidos na sala de culto principal com o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.....	102
Quadro 5.7 - Valores do RASTI medidos na sala de culto das mulheres com o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.....	103
Quadro 5.8 - Valores do RASTI medidos no pátio com o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.....	103
Quadro 5.9 - Quadro resumo dos cinco RASTI médios na Mesquita Central de Lisboa.....	105
Quadro 5.10 - Níveis de pressão sonora medidos em cada ponto na sala de culto principal na Mesquita Central de Lisboa.....	106
Quadro 5.11 - Níveis de pressão sonora medidos na sala de culto das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.....	106
Quadro 5.12 - Níveis de pressão sonora médios na sala de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.....	107
Quadro 5.13 - Níveis sonoros com aplicação do filtro A nas salas de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.....	107
Quadro 6.1 - Tempos de Reverberação por banda de frequência para as mesquitas pertencentes ao grupo E na Arábia Saudita e à mesquita Central de Lisboa.....	113
Quadro 6.2 – Caracterização das igrejas sujeitas a comparação com a Mesquita Central de Lisboa e respectivos parâmetros TR (s) para médias frequências (500 e 1000 Hz) e RASTI [11]......	117
Quadro 6.3 - Valores recomendados para os parâmetros tempo de reverberação e RASTI relativamente à qualidade acústica para a Palavra e para a Música [Adaptado de 11].	118
Quadro 7.1 - Quadro Resumo dos valores médios medidos na Mesquita Central de Lisboa e os valores obtidos pelo método <i>Noise Criteria</i> (NC).	125
Quadro 7.2 – Quadro resumo da qualidade subjectiva dos parâmetros medidos na mesquita Central de Lisboa.	125

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- α – Coeficiente de absorção sonora
- α_w – Coeficiente de absorção sonora ponderado e ajustado
- ΔL – Variação do nível de pressão sonora [dB]
- ΔL_A – Variação do nível sonoro [dB]
- ΔTR – Variação do tempo de reverberação [s]
- $\Delta RASTI$ – Variação do RASTI
- λ – Comprimento de onda [m]
- θ – Temperatura do ar [°C]
- $\%AL_{cons}$ – Percentagem de perda de consoantes
- A – Área de absorção sonora equivalente [m²]
- A' – Amplitude [Pa]
- c – Celeridade [m/s]
- C₅₀ – Claridade [dB, base 50 ms]
- D₅₀ – Definição
- D_c – Distância crítica [m]
- E – Emissor (Fonte Sonora)
- f – Frequência [Hz]
- f₀ – Frequência central de banda [Hz]
- f₁ – Frequência limite inferior de banda [Hz]
- f₂ – Frequência limite superior de banda [Hz]
- G – Acréscimo de Intensidade Sonora [dB]
- H_{máx} – Altura máxima [m]
- I – Intensidade sonora [W/m²]
- I₀ – Intensidade sonora de referência [W/m²]
- K – Constante que toma o valor de 1 ou 1/3 consoante a banda de frequência ser 1 ou 1/3
- L_A – Nível sonoro [dB(A)]
- L_D – Nível de campo directo [dB]
- L_I – Nível de intensidade sonora [dB]
- L_P – Nível de pressão sonora [dB]
- L_R – Nível de campo reverberante [dB]
- L_W – Nível de potência sonora [dB]

NC – *Noise Criteria*

NRC – *Noise Reduction Coefficient*

P – Pressão sonora [Pa]

P_0 – Pressão sonora de referência [Pa]

P_t – Pressão sonora total [Pa]

Q – Coeficiente de direccionalidade

r – Distância à fonte [m]

R – Constante relacionada com a capacidade de absorção das superfícies

RASTI – *Rapid Speech Transmission Index*

RF – Ruído de fundo [dB]

S – Área [m²]

STI – *Speech Transmission Index*

t – Tempo [s]

T – Período [s]

TR – Tempo de reverberação [s]

TR (500, 1000Hz) – Média entre TR (500 Hz) e TR (1000 Hz)

V – Volume [m³]

W – Potência sonora [W]

W_0 – Potência sonora de referência [W]

A/C – Ar condicionado

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

B&K – *Brüel & Kjaer*

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MTF – Matriz da função transferência

SCP – Sala de culto principal

SCM – Sala de culto das mulheres

SRS – Sistema de reforço electroacústico

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

As mesquitas são edifícios com uma arquitectura única onde se realizam actividades muito próprias atendendo ao cariz religioso inerente à sua construção e uso. As mesquitas são construídas com o intuito de reunir os fiéis muçulmanos com único propósito, adorar Alá. Esta adoração pode ser feita de dois modos específicos, individualmente ou em grupo. No caso da adoração em grupo é importante existirem boas condições de inteligibilidade da palavra.

Em certos países como a Malásia, Jordânia, Turquia, Kuwait, Arábia Saudita e Indonésia existem alguns estudos sobre caracterizações acústicas de mesquitas [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Noutros países, como os Estados Unidos da América, as mesquitas novas já são dimensionadas atendendo à ciência da acústica [7]. Existem ainda outros estudos com base na modelação computacional com o objectivo de fornecerem valores e relações entre parâmetros (ou condições geométricas do espaço) de forma a colmatar esta falta de informação [8, 9, 10]. Como neste momento ainda não foi possível obter valores específicos recomendados e universalmente aceites para mesquitas, existem certos autores que aconselham os valores recomendados para salas onde a inteligibilidade da palavra é importante. Contudo, verifica-se ainda escassez de trabalhos científicos realizados para caracterizar mesquitas, mas no entanto, este interesse tem vindo a crescer nos últimos anos.

Em Portugal existe uma pequena comunidade islâmica que conta com quatro mesquitas e alguns locais de culto espalhados pelo país. Esta dissertação tem como objectivo iniciar e impulsionar o interesse e estudo da acústica nas mesquitas em Portugal. A mesquita escolhida para a primeira caracterização acústica foi a Mesquita Central de Lisboa.

Este estudo pretende caracterizar acusticamente a Mesquita Central de Lisboa através de uma análise objectiva e subjectiva. Relativamente à objectiva, serão efectuadas medições *in situ* dos parâmetros tempo de reverberação, RASTI e nível de pressão sonora do ruído de fundo existente na sala. A análise subjectiva será realizada com base nas informações fornecidas pelo Xeiue Munir. Esta análise será feita em duas salas de culto diferentes, a principal e das mulheres, que por questões religiosas têm que orar separadamente. A sala de culto das mulheres encontra-se no piso superior separada da principal unicamente por um reguado aberto de madeira.

Após tratados os dados obtidos nos ensaios pretende-se comparar os resultados com outras mesquitas para avaliar as diferenças e semelhanças existentes e por fim, efectua-se uma comparação com igrejas católicas portuguesas de volumetria semelhante. Em relação às igrejas, em Portugal já é possível encontrar bastantes informações a nível acústico. As informações recolhidas para esta dissertação

pertencem aos estudos levados a cargo no programa de Investigação em Acústica de Igrejas [11] liderado pelo Professor Doutor A. P. Oliveira de Carvalho.

1.2. ESTRUTURA

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos:

- O primeiro capítulo pretende mostrar o porquê desta dissertação e quais os objectivos associados a esta;
- O segundo capítulo tem como objectivo esclarecer todos os conceitos e fenómenos acústicos que serão aplicados posteriormente;
- O terceiro capítulo foi introduzido com o propósito de dar a conhecer e esclarecer os princípios e as bases da religião islâmica que por vezes são erradamente interpretados;
- O quarto capítulo corresponde a uma compilação de estudos relacionados com mesquitas, incluindo medições efectuadas em algumas mesquitas bem como valores considerados ideais para este tipo de espaço. Neste capítulo também foram incluídos os objectivos acústicos associados às mesquitas;
- O quinto capítulo é dedicado unicamente à Mesquita Central de Lisboa e inclui uma abordagem história sobre o islamismo em Portugal, a caracterização geométrica da mesquita e por fim, a descrição dos ensaios com a respectiva apresentação dos resultados para cada parâmetro;
- O sexto capítulo pretende dar a conhecer as diferenças e semelhanças existentes entre a Mesquita Central de Lisboa e as mesquitas apresentadas no capítulo 4. Este capítulo inclui ainda uma comparação com igrejas portuguesas com volumetria semelhante de forma a perceber as relações existentes entre a mesquita e essas igrejas;
- O sétimo capítulo tem como objectivo dar a conhecer todas as conclusões que foram possíveis obter com esta dissertação bem como alguns elementos que poderiam ter sido introduzidos no estudo de forma a complementar a análise mas, por condicionalismos de tempo não foram abordados.

2

A ACÚSTICA

2.1. INTRODUÇÃO

A acústica é uma das ciências clássicas mais recentes. O primeiro documento escrito onde se conjuga os conceitos arquitectónicos e acústicos surgiu no século I a.C. na obra “*De Architectura*” do romano Vitruvius [12]. Na sua opinião a geometria dos teatros ao ar livre estava baseada numa definição prévia da acústica mas adequada a cada caso. Esta ciência até aos finais do século XIX era inexacta existindo teorias erradas e sem base científica que a tentavam desmitificar. Uma das teorias baseava-se na crença que a acústica de uma sala de concertos melhorava com o passar do tempo. A obtenção de uma acústica adequada ao tipo de sala dependia fundamentalmente do intuito, da experiência e fundamentalmente da sorte da escolha das formas e dos materiais construtivos. Havia mesmo compositores que compunham as suas músicas para serem tocadas em recintos específicos. Basicamente em vez da sala estar adequada ao tipo de música era a música que se adequava à sala em questão [13].

As igrejas protestantes são um bom exemplo do efeito das exigências acústicas. Quando se verificou que volumes mais pequenos melhoravam a inteligibilidade da palavra, como consequência da diminuição do tempo de reverberação, surgiu uma nova vaga de construções com volumes mais reduzidos [13].

Em 1877 o físico inglês lord Rayleigh publicou um livro com o título “*Theory of Sound*” [14] que ainda nos dias de hoje serve de referência. Este livro incluiu fundamentos teóricos da acústica com explicações sobre a acústica das salas [13, 15].

A principal razão pelo desenvolvimento lento da ciência da acústica estava relacionado com a falta de equipamentos capazes de efectuar medições objectivas que permitissem caracterizar o comportamento do som. O único elemento capaz de avaliar o som na altura era o ouvido humano mas, a sua rápida adaptação a qualquer tipo de recinto impossibilitava ser usado como instrumento fiável de medida [13].

Em 1895, Wallace Clement Sabine, Professor do Departamento de Física da Universidade de Harvard, EUA, desenvolveu o seu trabalho de aplicação da acústica na arquitectura. O seu estudo nesta área iniciou-se quando o reitor da universidade pediu que tratasse da péssima acústica de uma das salas. Apesar dos meios arcaicos disponíveis conseguiu tratar a sala acusticamente e, logo após este estudo, foi encarregue de tratar da acústica do “Boston Symphony Hall” a ser construído. E foi a rever os dados que tinha compilado para o estudo anterior que descobriu que a reverberação de um recinto era inversamente proporcional à quantidade de absorção sonora do mesmo. Foi assim que surgiu a famosa “*Fórmula de Sabine*” [13].

Em 1919 surgiram equipamentos eléctricos como o microfone, amplificadores a válvulas e altifalantes. Posteriormente com o desenvolvimento dos equipamentos de medição electrónicos foi possível desenvolver correlações entre uma série de parâmetros subjectivos como a inteligibilidade da palavra, a clareza e a reverberação a partir de medições efectuadas *in situ*. A evolução tecnológica hoje possibilita a previsão de determinados comportamentos a partir de modelos de escala e programas informáticos, no entanto, ambos apresentam limitações. Para colmatar esta falha no final da década de 1990 apareceram os sistemas de criação de som virtuais denominados por auralização. Estes permitem escutar por intermédio de altifalantes ou de auriculares (preferível) a mensagem em qualquer ponto do recinto de forma virtual. Esta evolução permitiu um avanço na aplicação da acústica durante a fase de projecto ajudando na tomada de decisões e na caracterização de espaços existentes através da previsão de parâmetros acústicos com base na forma e nos materiais constituintes [13].

2.2. NOÇÕES BASE

2.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM E OS CONCEITOS DE SOM E RÚIDO

O som corresponde a uma vibração mecânica que se propaga através de um meio material elástico e denso (ar, água, entre outros) sob a forma de ondas esféricas concêntricas que é capaz de produzir uma sensação auditiva. A geração do som acontece quando a fonte sonora (elemento que origina o som) entra em vibração sendo esta transmitida às partículas adjacentes sucessivamente. As partículas não mudam de posição com a vibração simplesmente oscilam em torno da sua posição de equilíbrio (Figura 2.1). Assim, criam-se zonas de compressão e rarefacção de moléculas que se propagam no espaço [13, 15].

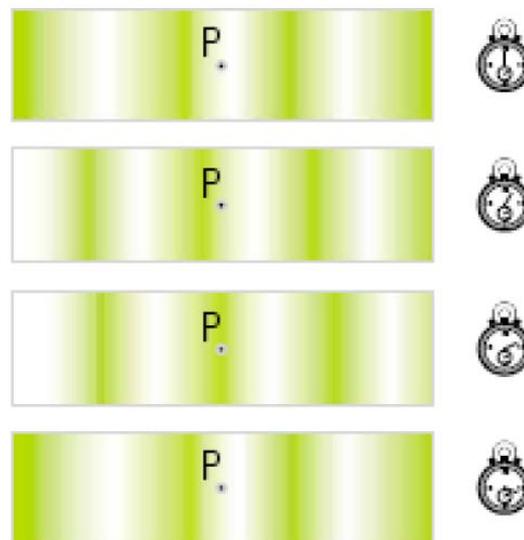


Figura 2.1 – Oscilação de uma partícula ao longo de um período de tempo. As zonas representadas a verde correspondem a zonas de compressão e as brancas, de rarefacção [16].

As solicitações que o ouvido recebe podem ser de dois tipos: som ou ruído. Esta classificação é atribuída de modo pessoal. Quando a solicitação se revela agradável ao ouvinte ou com significado corresponde a um som, se por outro lado, esta for desagradável ou sem significado é considerada um ruído. O estudo do som e do ruído pode ser realizado sob o domínio da pressão, frequência e tempo. Este trabalho focará unicamente os dois primeiros domínios [15].

2.2.2. PRESSÃO SONORA

No caso do ar, a vibração do meio traduz-se numa variação de pressão. Estas variações vêm associadas aos fenómenos de compressão (aumento da pressão sonora total) e de rarefacção (diminuição da pressão sonora total). Assim, o elemento mais importante a ser medido corresponde à variação de pressão provocada pelas ondas sonoras mas tomando como posição de referência a pressão atmosférica normal, P_0 ($\approx 10^5$ Pa). Este fenómeno está ilustrado na Figura 2.2. O ouvido humano consegue detectar variações de pressão desde cerca de 10^{-5} Pa (limiar da audição) até aproximadamente 100 Pa (limiar da dor) [15].

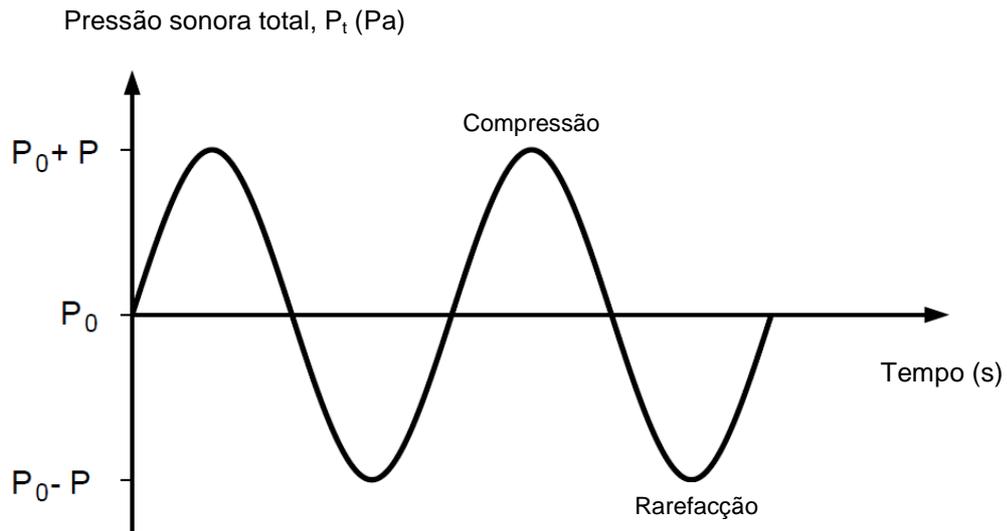


Figura 2.2 - Evolução da pressão sonora total, P_t , em função do tempo num ponto qualquer do espaço. [Adaptado de 13].

À velocidade de propagação das ondas sonoras dá-se o nome de celeridade, c (m/s), e depende da elasticidade e densidade do meio de propagação. No caso do meio ser o ar, esta depende da pressão atmosférica normal e da temperatura. A Equação 2.1 permite calcular a velocidade de propagação da variação de pressão sonora em função da temperatura θ ($^{\circ}\text{C}$) [13, 15].

$$c \text{ (m/s)} = 20,045 \times \sqrt{273,15 + \theta} \quad (2.1)$$

2.2.3. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA

A intensidade sonora, I (W/m^2), corresponde à quantidade média de energia que atravessa uma unidade de área por uma unidade de tempo. A potência sonora, W (W), por sua vez corresponde à energia total que num segundo atravessa uma esfera concêntrica de raio qualquer centrada na fonte. A potência é uma característica intrínseca à fonte. A Equação 2.2 mostra a relação entre estas duas grandezas e a distância à fonte, r (m) [17].

$$I \text{ (W}/\text{m}^2) = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.2)$$

Esta equação dá apoio a uma relação conhecida como *inverse square law* (Figura 2.3) que explica que a energia que atravessa uma determinada superfície é constante independentemente da distância e, a onda aumenta a sua superfície com a distância. Ao duplicar a distância, a intensidade diminui para uma quarta parte [18].

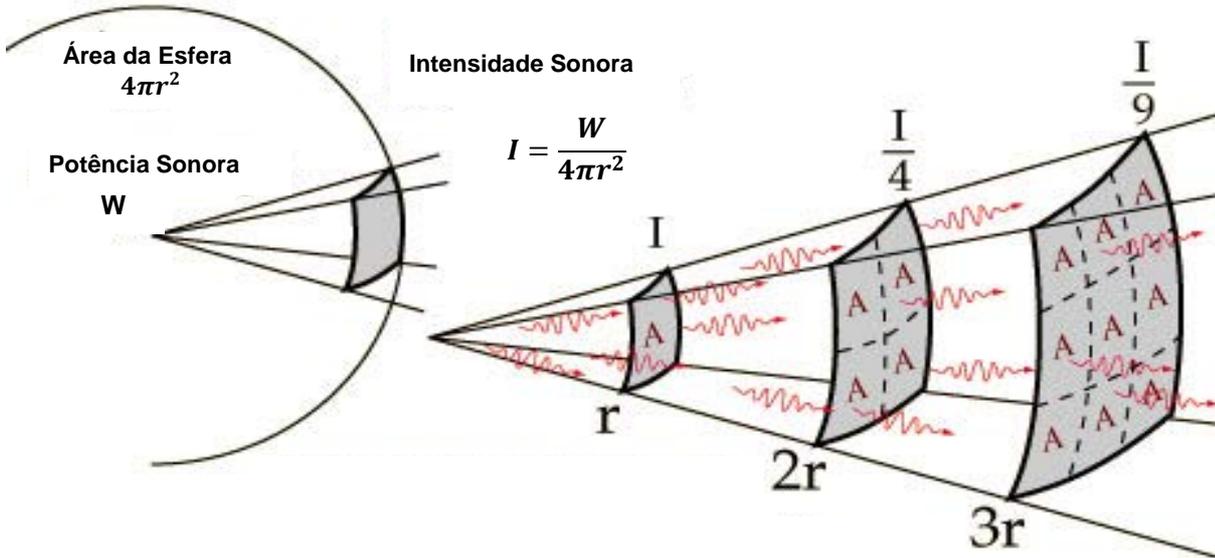


Figura 2.3 – Representação gráfica da *inverse square law* [Adaptado de 19].

2.2.4. NÍVEIS

Os valores das grandezas apresentadas anteriormente (pressão, intensidade e potência sonora) são expressos em termos dos seus níveis considerados em relação a um valor de referência. Uma das vantagens em converter estas grandezas para níveis é reduzir a extensão da escala dos valores absolutos correspondentes, mas a verdadeira razão consiste em aproximar da realidade fisiológica. O nível de uma grandeza física (L_G) é definido como o logaritmo da razão entre o valor medido (G) e o valor de referência (G_o) exprimindo-se em dB. No Quadro 2.1 é possível visualizar os respectivos valores de referência para as grandezas referidas anteriormente e as fórmulas que permitem converter aquelas em níveis. Relativamente ao valor de referência da pressão, este corresponde sensivelmente ao limiar da audição humana [13, 15].

Por fim, a soma de níveis é feita energeticamente, ou seja, não se somam directamente os valores de pressões mas sim, unicamente pressões quadráticas.

Quadro 2.1 – Conversão das grandezas para níveis e os respectivos valores de referência [Adaptado de 15].

Grandezas	Conversão para dB	Valor de referência
Pressão Sonora	$L_p = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_o^2} \right)$	$p_o = 2 \times 10^{-5} Pa$
Intensidade Sonora	$L_I = 10 \log \left(\frac{I}{I_o} \right)$	$I_o = 10^{-12} W/m^2$
Potência Sonora	$L_W = 10 \log \left(\frac{W}{W_o} \right)$	$W_o = 10^{-12} W$

2.2.5. FREQUÊNCIA

A frequência, f (Hz ou *cps*, ciclos por segundo), corresponde ao número de oscilações por segundo da pressão sonora. A gama de frequências que um ouvido humano jovem consegue detectar varia desde os 20 aos 20000 Hz. Este intervalo é normalmente dividido em três grupos de frequências: as graves (20 a 355 Hz), as médias (355 a 1410 Hz) e as agudas (1410 a 20000 Hz). Os sons com frequências inferiores aos 20 Hz são denominados de infra-sons e os sons com frequências superiores aos 20000 Hz são intitulados de ultra-sons [13, 15].

A frequência em conjunto com os parâmetros amplitude, A' (Pa), período, T (s), e comprimento de onda, λ (m), permitem caracterizar o som através de espectrogramas e oscilogramas. O espectrograma consiste na representação gráfica do nível de pressão sonora em função das frequências (Figura 2.4) enquanto que o oscilograma descreve a variação da pressão ao longo do tempo, t (s) (Figura 2.4) [13, 15].

Os sons podem classificar-se em dois tipos, os puros e os complexos ou compostos (Figura 2.4). Os sons puros estão associados a uma única componente em termos de frequência. Os sons complexos por sua vez correspondem à grande maioria dos sons e resultam da sobreposição de dois ou mais sons puros [15].

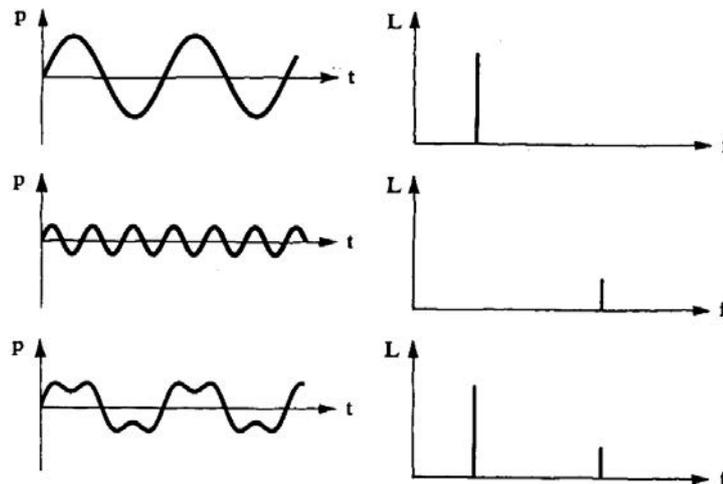


Figura 2.4 - Oscilogramas (à esquerda) e espectrogramas (à direita) de dois sons puros e a soma destes (som complexo ou composto) [15].

Atendendo à vasta gama de frequências existente e com o objectivo de simplificar a análise feita a partir das frequências agrupam-se aquelas em bandas com dimensões normalizadas. As larguras de banda utilizadas mais frequentemente são as de 1/1 oitava e 1/3 de oitava e, podem ser calculadas pelas Equações 2.3 e 2.4. Nestas equações f_1 corresponde ao limite inferior, f_2 ao limite superior e f_0 ao valor médio também denominado por frequência central [15].

$$f_1 = f_0 2^{-\frac{K}{2}}, \quad K = 1 \text{ (1/1 oitava)} \quad e \quad K = 1/3 \text{ (1/3 oitava)} \quad (2.3)$$

$$f_2 = f_0 2^{\frac{K}{2}}, \quad K = 1 \text{ (1/1 oitava)} \quad e \quad K = 1/3 \text{ (1/3 oitava)} \quad (2.4)$$

No Quadro 2.2 é possível visualizar os intervalos de 1/1 oitava e 1/3 oitava normalizados para o domínio do audível. Os valores expostos correspondem à frequência central. A sombreado estão apresentadas as bandas de oitava habitualmente usadas na acústica de edifícios (EN-ISO 140) [20]. Em laboratório, as medições são geralmente efectuadas em bandas de 1/3 oitava de forma a serem obtidos resultados mais detalhados [15].

Quadro 2.2 – Frequências centrais das bandas de 1/3 oitava e 1/1 oitava [Adaptado de 15].

Frequências	Bandas (Hz)	
	1/3 oitava	1/1 oitava
Graves	20	16
	25	
	31	31
	40	
	50	
	63	63
	80	
	100	
	125	125
	160	
	200	
	250	250
Médias	315	
	400	
	500	500
	630	
	800	
	1000	1000
Agudas	1250	
	1600	
	2000	2000
	2500	
	3150	
	4000	4000
	5000	
	6300	
	8000	8000
	10000	
12500		
16000	16000	
20000		

Na Figura 2.5 está apresentado um espectro de um ruído em bandas de 1/1 oitava e 1/3 oitava. Para finalizar, é possível obter os níveis de pressão sonora em bandas de 1/3 de oitava para 1/1 oitava a partir da soma logarítmica dos níveis de pressão referentes às três bandas de frequência que constituem a banda de 1/3 oitava. No Quadro 2.2 é possível visualizar a associação das bandas de frequência de 1/3 para 1/1 oitava [15].

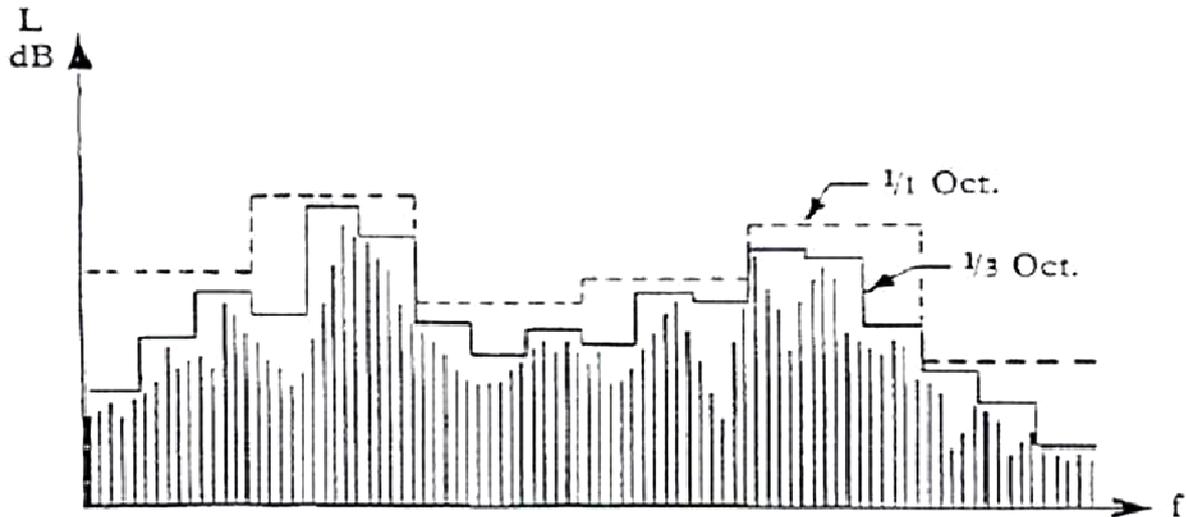


Figura 2.5 - Espectro de um ruído em bandas de 1/1 oitava e 1/3 oitava [15].

2.2.6. CURVAS DE PONDERAÇÃO

O ouvido humano reage de forma distinta às diferentes frequências. A resposta do ouvido em frequência tem uma variação não linear, sendo mais sensível nas frequências altas (2300 aos 2800 Hz) do que nas frequências baixas (inferiores a 125 Hz). Isto deve-se ao facto do sistema auditivo ter-se adaptado ao organismo humano e se ter restringido a certas frequências de forma a que certos sons, como o batimento cardíaco ou o simples piscar de olhos, não afectem o bem estar das pessoas [15, 21].

Os equipamentos electrónicos, como é o caso dos microfones, registam as variações de pressões com igual sensibilidade para as diferentes frequências mas, o ouvido humano interpreta o som e atribui uma maior ou menor importância de acordo com a frequência a que é emitido [13, 15].

Assim, de forma a simular o comportamento do ouvido humano nos equipamentos, como o sonómetro, criaram-se os filtros, também designados por curvas de ponderação. Um dos filtros mais usados é o filtro A. Na Figura 2.6 estão apresentados para além do filtro A os outros tipos de filtros existentes, B, C e D, sendo o último previsto especialmente para o ruído de aviões [15].

O método de aplicação do filtro é muito simples, bastando somar algebricamente, por banda de frequência, as correcções aos respectivos valores medidos. Após a ponderação do filtro A, o nível de pressão sonora passa a ser designado por nível sonoro, tendo uma nova designação L_A ou uma nova unidade dB(A). Na caracterização acústica de fontes de ruído e em estudos de propagação trabalha-se em dB.

No Quadro 2.3 é possível visualizar os valores numéricos das ponderações da curva A a aplicar aos valores do nível de pressão sonora medidos.

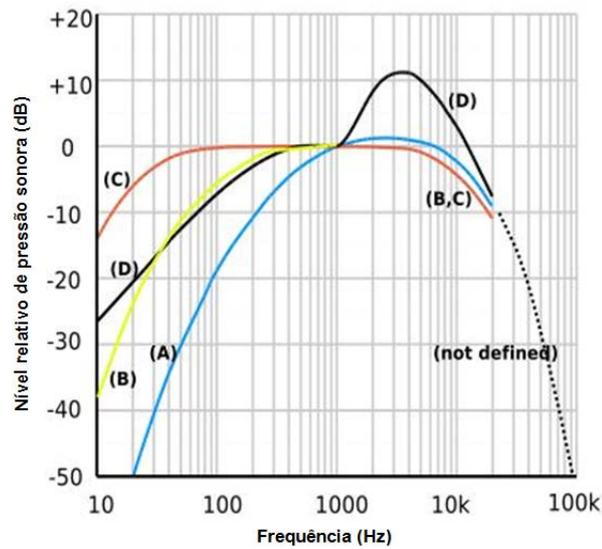


Figura 2.6 – Curvas de Ponderação A, B, C e D [Adaptado de 22].

Quadro 2.3 – Valores numéricos das ponderações do filtro A para as bandas 1/3 oitava e 1/1 oitava [Adaptado de 15].

Banda de Frequência (Hz)	Ponderação do Filtro A (dB)	
	1/3 oitava	1/1 oitava
25	-44,7	
31	-39,4	-40
40	-34,6	
50	-30,2	
63	-26,2	-26
80	-22,5	
100	-19,1	
125	-16,1	-15,5
160	-13,4	
200	-10,9	
250	-8,6	-8,5
315	-6,6	
400	-4,8	
500	-3,2	-3
630	-1,9	
800	-0,8	
1000	0,0	0
1250	0,6	
1600	1,0	
2000	1,2	1
2500	1,3	
3150	1,2	
4000	1,0	1
5000	0,5	
6300	-0,1	
8000	-1,1	-1
10000	-2,5	
12500	-4,3	
16000	-6,6	-7
20000	-9,3	

2.2.7. ABSORÇÃO SONORA

Num recinto a redução da energia associada às ondas sonoras, tanto na sua propagação no ar como quando incidem nas superfícies constituintes, é determinante para avaliar a qualidade acústica do espaço. A absorção sonora permite minimizar a reflexão das ondas sonoras diminuindo o nível de reverberação num mesmo espaço [13].

Assim, a absorção sonora é uma propriedade dos materiais que lhes permite transformar parte da energia sonora incidente em outro tipo de energia, normalmente a térmica e, depende do tipo de superfícies, do ângulo de incidência, da frequência da onda e das condições de aplicação do sistema construtivo [15].

O coeficiente de absorção sonora, α , simboliza a relação entre a quantidade de energia dissipada ou absorvida e a energia incidente. O seu valor varia desde 0 a 1, sendo 1 quando 100% da energia incidente é absorvida pelo material nessa frequência. Por vezes, surgem catálogos com valores superiores a 1, mas isto deve-se somente à metodologia aplicada na determinação experimental. Um material para ser tido como “absorvente” tem que ter um coeficiente de absorção sonora superior a 0,5 [18].

A partir do parâmetro α é possível classificar o material a nível de absorção. O *NRC (Noise Reduction Coefficient)* não é mais que a média aritmética dos coeficientes de absorção para as frequências de 250, 500, 1000 e 2000 Hz, aproximando-se sempre o valor ao múltiplo de 0,05 mais próximo (Equação 2.5). Este parâmetro apresenta algumas limitações ligadas ao facto da média aritmética permitir a materiais com diferentes propriedades de absorção obterem o mesmo valor de *NRC*. A outra limitação está relacionada com o facto de não se considerarem as frequências de 125 e 4000 Hz, não permitindo uma análise nas baixas e altas frequências [13, 15, 18].

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \quad (2.5)$$

O outro método utilizado para classificar as propriedades de absorção sonora dos materiais é denominado por α_w (EN ISO 11654:1997) [23]. O método baseia-se em avaliar as diferenças positivas entre uma curva de referência (Quadro 2.4) e os valores reais de α do material em análise, para as bandas 1/1 oitava (250 aos 4000 Hz). Quando a soma destas diferenças for a mais próxima possível de 0,10 sem ultrapassar este valor (múltiplos de 0,05), o α_w corresponde ao valor lido na frequência dos 500 Hz. Este método permite uma classificação extra sempre que um coeficiente de absorção sonora excede em 0,25 o valor de referência, sendo classificado como baixo (L), médio (M) ou alto (H) conforme essa condição se verifique nas 250/500 Hz, 1000/2000 Hz e 2000/4000 Hz, respectivamente. No Quadro 2.5 podem-se visualizar as diferentes classes deste método [15].

Quadro 2.4 - Valores para a curva de referência do método do α_w [Adaptado de 15].

Bandas de Frequência (Hz)	250	500	1000	2000	4000
Valores para ajuste da curva de referência	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9

Quadro 2.5 - Classes de absorção sonora (método α_w) [Adaptado de 15].

Classes	α_w
A	$\geq 0,90$
B	[0,80;0,85]
C	[0,60;0,75]
D	[0,30;0,55]
E	[0,15;0,25]
Não Classificado	$\leq 0,10$

O coeficiente de absorção sonora pode ser determinado a partir de dois métodos diferentes. O método do tubo das ondas estacionárias (com a limitação de só se referir à incidência perpendicular das ondas) e, o método da câmara reverberante (EN ISO 354:2003) [24] que apresenta como desvantagem a necessidade de possuir uma amostra de grandes dimensões (10 a 12 m²) [15].

Por fim, os materiais e sistemas absorventes podem agrupar-se em três categorias diferentes: os *porosos e fibrosos* (tecidos e alcatifas, por exemplo) são mais eficazes nas altas frequências, os *ressoadores* apresentam melhores resultados nas médias frequências e por fim, as *membranas* são muito eficientes nas baixas frequências. Na Figura 2.7 podem-se visualizar estas conclusões [15].

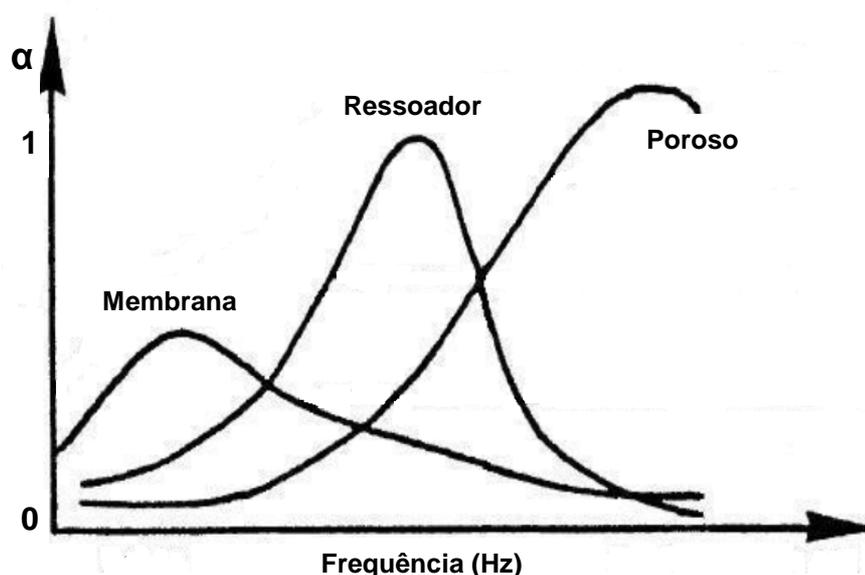


Figura 2.7 – Comportamentos dos materiais *porosos e fibrosos*, *ressoadores* e *membranas* por frequência [Adaptado de 15].

2.2.8. CAMPO DIRECTO E CAMPO REVERBERADO

Admitindo um regime permanente e aplicando exclusivamente a teoria da acústica estática resulta que, a energia sonora total em qualquer ponto num compartimento provem de dois campos distintos e sobrepostos, um de energia variável e outro de energia constante com a distância à fonte sonora. A parcela de valor variável corresponde ao campo directo, ou seja, ao som que chega directamente ao

receptor e diminui à medida que este se afasta da fonte. A parcela de energia constante corresponde ao campo reverberado e resulta das reflexões criadas no compartimento que atingem posteriormente a fonte [13].

Na Equação 2.6 é possível visualizar a expressão que permite obter o nível de pressão sonora total existente num espaço, sendo a soma do nível de potência sonora emitido pela fonte (L_w) com os campos directo e reverberado. Nesta expressão pode-se verificar que o campo directo para além de depender da distância à fonte (r), como já foi referido anteriormente, depende da direccionalidade da fonte sonora (Q), que no caso de ser omnidireccional (emitir a mesma energia em todas as direcções) o seu valor vem igual a 1. O campo reverberado por sua vez, depende das condições de absorção sonora da sala (R) [15].

Na Figura 2.8 pode-se visualizar o efeito que a distância receptor-fonte tem no nível de pressão sonora de um espaço.

$$L_I(dB) = L_w + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right), \quad \text{sendo } R(m^2) = \frac{A}{(1-\bar{\alpha})} \quad (2.6)$$

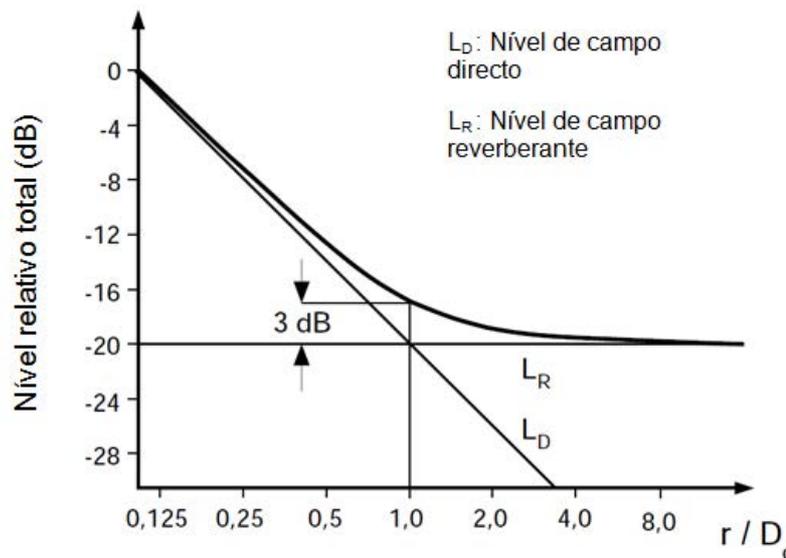


Figura 2.8 - Evolução do nível relativo de pressão sonora (ΔL) em função da distância à fonte (r) normalizada em relação à distância crítica, D_c [Adaptado de 13].

2.2.9. PERCEPÇÃO DA PALAVRA

A inteligibilidade da palavra é uma característica acústica muito importante na medida que reflecte o entendimento das palavras no interior do edifício. Existem espaços como igrejas, salas de conferência, ou mesquitas onde esta se revela como um factor decisivo [13].

A inteligibilidade da palavra depende essencialmente de dois aspectos: das condições interiores do espaço, como por exemplo a forma, revestimentos, volume e da projecção da voz.

A emissão da voz pode ser analisada sob quatro pontos de vista diferentes: frequência, intensidade, duração e direccionalidade. É importante referir que se utiliza mais tempo e mais intensidade a

pronunciar vogais do que consoantes. A nível de pressão sonora a diferença entre o som mais baixo e o mais intenso é de 28 dB. Em relação à frequência, o som mais baixo corresponde à vogal [u] e é emitido nas frequências 150-300 Hz (som mais grave). O som mais alto é conseguido com a consoante [s] e atinge frequências de 3500-7000 Hz (som mais agudo). A compreensão de uma mensagem oral depende fundamentalmente da correcta percepção das suas consoantes, contudo, os sons agudos são mais facilmente mascarados por absorção [15].

Relativamente às condições interiores, estas devem ser cuidadas de forma a não provocarem demasiadas reflexões nos elementos que compõem o espaço. O ruído de fundo também influencia a inteligibilidade da palavra, tendo de ser muito reduzido de forma a não provocar mascaramento das consoantes [15].

Por fim, é importante esclarecer que nem todas as reflexões são maléficas. Existem reflexões que ajudam a tornar um local acusticamente mais agradável. As reflexões que chegam nos primeiros 50 ms são percebidas como um único som (som directo) ajudando a aumentar a intensidade deste proporcionando assim, uma melhor inteligibilidade da palavra. No entanto, existem reflexões denominadas de ecos, que chegam suficientemente atrasadas (superior a 50 ms) e fortes sendo claramente distinguíveis pelo ouvido humano. Deste modo, uma das formas objectivas de caracterizar a percepção da palavra consiste na comparação da energia sonora da resposta impulsiva aos primeiros milissegundos, por exemplo 50, com a energia sonora posterior a esses milissegundos [15].

2.2.10. SISTEMAS DE REFORÇO ELECTROACÚSTICO

Os sistemas de reforço electroacústicos são considerados um dos elementos mais importantes para obter uma boa inteligibilidade da palavra em salas. Na verdade, as medições acústicas modernas só foram possíveis com a ajuda da electroacústica (altifalantes, microfones e gravadores). Esta tem outros tipos de aplicação para além do sistema de reforço, como por exemplo, reprodução de um discurso pré-gravado (*playback*), sistemas auditivos e efeitos sonoros como reverberação artificial e envolvimento sonoro [25].

As indicações para sistemas de som bem projectados são similares às da inteligibilidade da palavra em geral. Assim, deve existir um nível sonoro apropriado para o espaço; a cobertura do som deve ser uniformemente distribuída pela sala e sobre as bandas de frequência de interesse. Por outro lado, é importante criar a ilusão que o som vem da posição da fonte original e não deve contribuir para o aumento de reflexões atrasadas ou eco. Por fim, a escolha do sistema de som deverá ser sensível aos aspectos arquitectónicos [25].

A escolha da configuração do sistema de reforço electroacústico corresponde a um processo iterativo. Começa com a avaliação do espaço, incluindo o cálculo do tempo de reverberação por banda de frequência. Deverão ser conhecidos o nível de pressão sonora máximo desejado do campo directo, a gama de frequências pretendida, o tipo de programa e a localização dos microfones. Atendendo a estas condições escolhe-se o tipo de sistema mais adequado. No caso dos altifalantes a escolha é feita com o principal objectivo de atingir a melhor inteligibilidade da palavra possível, recorrendo por vezes, a processos auxiliares como mover a fonte para perto dos receptores, usar altifalantes com uma grande directividade e adicionar absorção sonora ao espaço [25].

Assim, a configuração do sistema de reforço electroacústico deverá ser estudada para cada caso em concreto.

2.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS

2.3.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O nível de pressão sonora total existente num compartimento depende de dois campos, o directo e o reverberado. O campo reverberado corresponde às ondas reflectidas que tornam-se mais fracas com a incidência nas superfícies com propriedades de absorção sonora e, com o efeito da absorção do ar. Aqui entra o conceito de tempo de reverberação. Este, por definição, é o tempo que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB depois de cessar a sua emissão, ou seja, é o intervalo de tempo que qualquer som demora a deixar de ser perceptível pelo ouvido humano. Por outras palavras, é o tempo que leva a intensidade a diminuir para um milionésimo da intensidade inicial [13,15].

Na prática não se costuma medir o tempo de decaimento de 60 dB porque existe o risco do ruído de fundo se sobrepor ao som que está a ser medido. Assim, normalmente mede-se o tempo de decaimento para 20 ou 30 dB, extrapolando-se o resultado para um decaimento de 60 dB. Contudo, aconselha-se a que a fonte sonora tenha uma potência elevada para garantir um decaimento suficiente acima do ruído de fundo. O tempo de reverberação é medido com o sonómetro [15].

Não existe um valor de tempo de reverberação ideal atendendo somente às condições geométricas do espaço. Este influencia a inteligibilidade da palavra e o nível de pressão sonora naquele espaço, sendo portanto atribuídos valores ideais de acordo com a função atribuída ao espaço. Como é possível visualizar no Quadro 2.6 o tempo de reverberação para salas destinadas à música necessita de ser superior às salas destinadas à palavra [13].

Quadro 2.6 - Valores de tempo de reverberação recomendados para diferentes espaços [Adaptado de 13].

Tipo de Sala	Tempo de Reverberação (s) (500-1000 Hz)
Sala de Conferências	0,7-1,0
Cinema	1,0-1,2
Sala polivalente	1,2-1,5
Teatro de Ópera	1,2-1,5
Sala de concertos (música sinfónica)	1,8-2,0
Igreja/Catedral	2,0-3,0
Estúdio de rádio	0,2-0,4

Um tempo de reverberação excessivo provoca a redução da inteligibilidade da palavra. Isto acontece porque as consoantes são emitidas a um nível sonoro mais baixo e mais rápido do que as vogais sendo mascaradas pelo “rasto sonoro” das vogais antecedentes (Figura 2.9) [15].

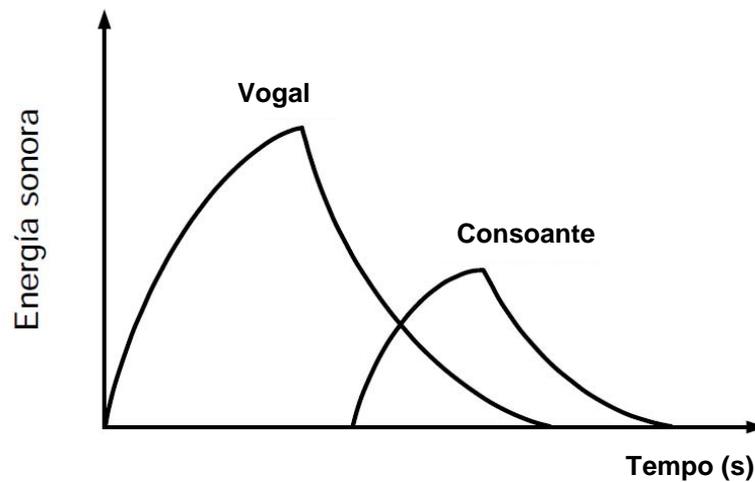


Figura 2.9 - Evolução temporal da energia sonora correspondente à emissão de uma vogal e de uma consoante subsequente num espaço fechado [Adaptado de 13].

Existem várias fórmulas de previsão do tempo de reverberação mas neste trabalho apenas serão abordadas as de *Sabine* e de *Eyring*.

Sabine, pai da acústica moderna, foi o primeiro a desenvolver um modo de prever o tempo de reverberação num espaço. A expressão desenvolvida por Sabine (Equação 2.7) depende essencialmente do volume, V (m^3), e da área equivalente de absorção sonora, A (m^2). O coeficiente 0,16 é obtido através da expressão $(24 \cdot \ln(10)/c)$ para uma temperatura de $24^\circ C$. Assim, as salas com um volume maior tenderão a ter valores de tempo de reverberação mais elevados [15].

É importante referir que a *Fórmula de Sabine* só é adequada para os espaços que apresentem um decaimento energético exponencial associado a um campo difuso, uma geometria regular e um coeficiente de absorção sonora médio inferior a 0,20 [13, 15].

$$TR (s) = \frac{0,16 \times V}{A}, \text{ sendo } A (m^2) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad (2.7)$$

Eyring desenvolveu, numa fase posterior, uma fórmula de previsão do tempo de reverberação (Equação 2.8) que apresenta resultados muito próximos da realidade para o caso das superfícies terem coeficientes de absorção sonora semelhantes [15].

$$TR (s) = \frac{0,16 \times V}{-S \cdot \ln (1 - \bar{\alpha})} \quad (2.8)$$

2.3.2. STI E RASTI

2.3.2.1. STI

O método STI foi desenvolvido durante os anos de 1970 por Houtgast & Steeneken [26]. O método (Figura 2.10) assegura que o sistema abrange todas as bandas de oitava e a fala como um estímulo, fazendo medições da inteligibilidade nas bandas entre os 125 e os 8000 Hz. A técnica reproduz as modelações naturais da palavra nas baixas frequências (0,63 aos 12,5 Hz) e mede a redução nestas modelações por cada uma das sete bandas de oitava (125-8000 Hz) produzindo assim, uma matriz de modelação da função transferência de 98 pontos de medição. Basicamente este parâmetro deriva das curvas da família de modelação da função transferência que descrevem as alterações proporcionadas por um sistema de transmissão sonora nas respectivas bandas de frequência de análise. Os autores concluíram que a diminuição da profundidade de modelação, que pode ser causada por ruídos e/ou pela reverberação, se relaciona bem com a inteligibilidade da palavra. No entanto, devido à falta de meios tecnológicos disponíveis nas décadas de 1970 e 80 para medir a modelação da função transferência (*MTF*) e calcular a respectiva matriz conduziu, apesar da técnica ser acusticamente viável, ao não desenvolvimento da sua aplicação prática. Com este método é possível avaliar a influência do ruído de fundo e da degradação da reverberação na inteligibilidade da palavra [27, 28].

2.3.2.2. RASTI

Em 1985 Houtgast & Steeneken adaptaram o RASTI a partir do STI [29]. Nesse mesmo ano a empresa B&K introduziu no mercado um novo equipamento portátil que media de forma indirecta a inteligibilidade da palavra. A introdução deste instrumento e a capacidade de medir na hora o potencial de inteligibilidade de um sistema sonoro levou a adopção do parâmetro RASTI por várias normas internacionais. Este método é restrito para as frequências dos 500 e 2000 Hz e para quatro ou cinco frequências de modelação, reduzindo assim a matriz de modelação da função transferência para apenas 9 elementos, diminuindo assim, o esforço de cálculo [27, 28].

Este método (CEI IEC 60268-16) [30] fornece os valores *in situ* identificando as áreas com a inteligibilidade *pobre* ou não. Com este método é possível avaliar a eficiência do sistema de reforço electroacústico bastando colocar o respectivo microfone junto da fonte sonora. A classificação qualitativa do RASTI é visível na Figura 2.10.

2.3.2.3. Comparação entre o STI e o RASTI

Os parâmetros STI e RASTI têm uma escala de análise entre 0 e 1. O limite mínimo corresponde à situação de inteligibilidade nula enquanto que o limite superior corresponde à inteligibilidade perfeita. Como será fácil de entender estes limites são intangíveis. A Figura 2.10 para além de apresentar a classificação qualitativa atribuída aos valores obtidos do RASTI apresenta os fundamentos teóricos (modelação da função transferência) associados ao STI.

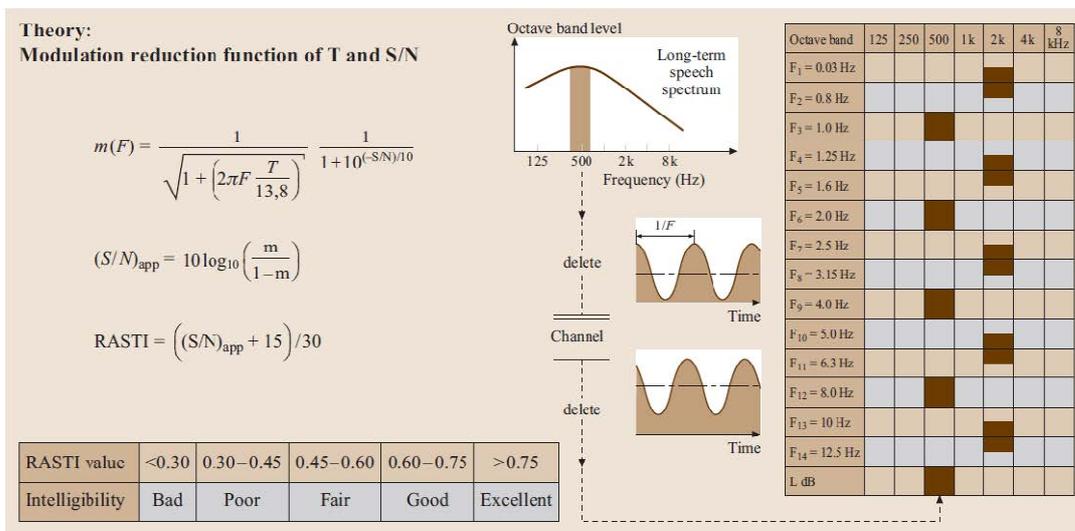


Figura 2.10 - Princípios da teoria dos parâmetros STI e RASTI (No quadro à direita os elementos referentes à modelação do STI estão a azul claro e os do RASTI a castanho). Classificação qualitativa do parâmetro RASTI no canto inferior esquerdo da figura [31].

Com base no estudo realizado por Mapp sobre o parâmetro STI [27] pretende-se expor o erro associado ao parâmetro RASTI. O facto do RASTI ser limitado a duas bandas de frequência não permite realizar uma auditoria completa do sistema de som. Enquanto que com a transmissão de voz natural não se verifica um erro significativo, o mesmo não se passa com os sistemas de reforço electroacústico cuja resposta está longe de ser linear. Na Figura 2.11 está representado um espectro de um sistema de som capaz de obter um RASTI elevado erradamente, pois o RASTI assume este valor elevado nas frequências de 500 e 2000 Hz constante.

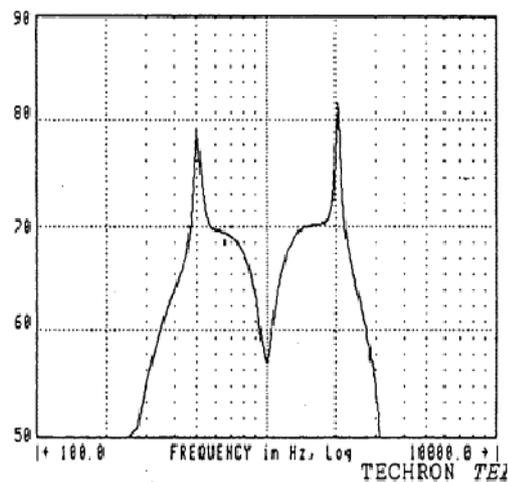


Figura 2.11 – Espectro de um sistema sonoro enganoso para o RASTI [27].

Os resultados apresentados seguidamente foram recolhidos do estudo do mesmo autor “*Relationship between Speech Intelligibility Measures for Sound Systems*” [32], onde foram analisados 81 sistemas de som. As Figuras 2.12 e 2.13 correspondem aos valores obtidos com um dos sistemas observados.

Na Figura 2.12 podem-se visualizar as diferenças obtidas entre o parâmetro RASTI e o STI para um mesmo sistema. Neste estudo a principal causa de degradação era a reverberação, sendo o ruído de fundo pouco expressivo. O erro médio que está associado aos valores representados na Figura 2.12 corresponde a 0,08. Contudo, é possível verificar que o parâmetro RASTI tanto apresenta valores por excesso como por defeito. Na Figura 2.13 é possível verificar que estes os dois parâmetros apresentam uma forte correlação linear. O coeficiente de correlação aí apresentado foi de 0,91.

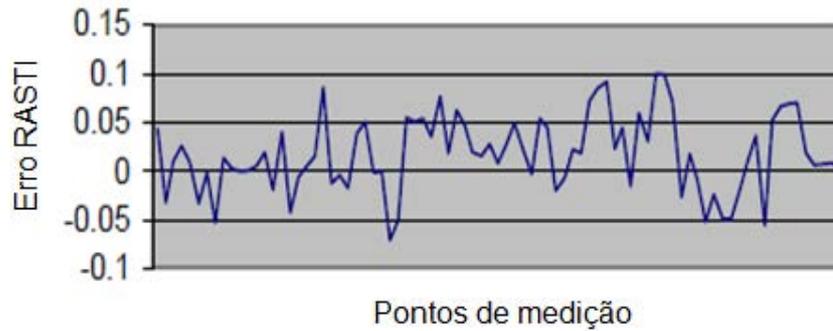


Figura 2.12 - Erros associados às medições do RASTI [Adaptado de 27].

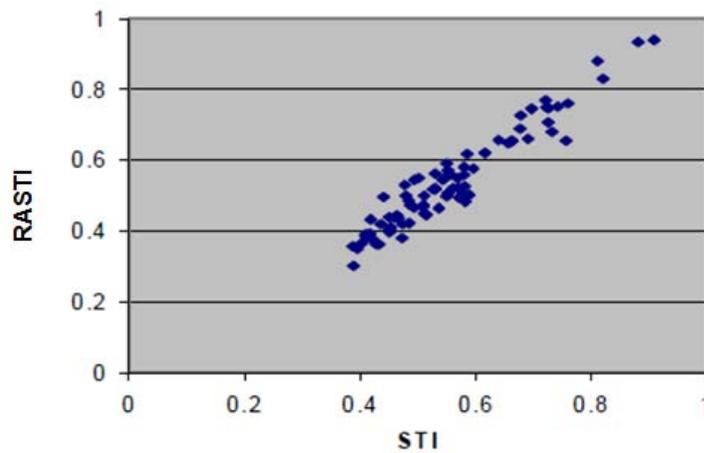


Figura 2.13 - Correlação entre o STI e o RASTI [27].

Por fim, o autor deste trabalho resolveu avaliar o efeito do ruído de fundo nestes dois parâmetros. Para tal, seleccionou três sistemas sonoros diferentes (A, B e C) e calculou o RASTI e o STI para duas situações: com e sem ruído de fundo. Como se pode observar no Quadro 2.7 existem diferenças associadas aos sistemas de som, sendo por isso, muito importante a escolha de um bom sistema de reforço electroacústico (SRS). A outra conclusão a que o autor chegou foi que sem ruído de fundo não se verificavam muitas diferenças entre os valores dos parâmetros STI e RASTI, no entanto, com o ruído de fundo, verificou que o erro associado ao RASTI aumentou consideravelmente. Contudo, o sistema B não apresenta muitas variações entre os dois parâmetros para as duas situações.

Assim, o autor conclui que os valores do RASTI devem ser usados com alguma precaução, principalmente no caso das medições com sistemas sonoros com ruído de fundo.

Quadro 2.7 - Valores de STI e RASTI para três sistemas de reforço electroacústico com e sem ruído de fundo [Adaptado de 27].

Sistema Sonoro	Sem Ruído de Fundo		Com Ruído de Fundo	
	STI	RASTI	STI	RASTI
A	0,88	0,93	0,60	0,76
B	0,92	0,91	0,64	0,65
C	0,93	0,95	0,57	0,71

2.3.3. RÚIDO DE FUNDO - CURVAS DE INCOMODIDADE

A percepção do ruído de fundo depende das pessoas, das situações e dos locais. O ruído de fundo pode ter origem no exterior (ruídos provenientes do exterior, como ruído de tráfego aéreo, rodoviário, obras, etc.) ou no interior (ruído associado aos sistemas de ar condicionado AVAC ou ventilação mecânica).

O método mais utilizado para avaliar a incomodidade destes ruídos são as curvas NC, *Noise Criteria*, (ANSI S12.2-2008) [33] criadas por Leo Beranek em 1957. Estas curvas podem ser usadas após a medição dos níveis de pressão sonora por banda de frequência na sala. O método consiste num conjunto de curvas que seguem aproximadamente a evolução da sensibilidade do ouvido humano, sendo definidas pelo nível de pressão sonora em função das bandas de frequência (63-8000 Hz) [13, 15].

O cálculo é feito pelo método da tangente. A classificação NC é obtida através da representação gráfica dos níveis de pressão sonora por banda de oitava no espectro com as várias curvas NC (Figura 2.14). A curva NC de valor mais baixo que não seja atingida pelo espectro obtido na medição corresponde à classificação NC.

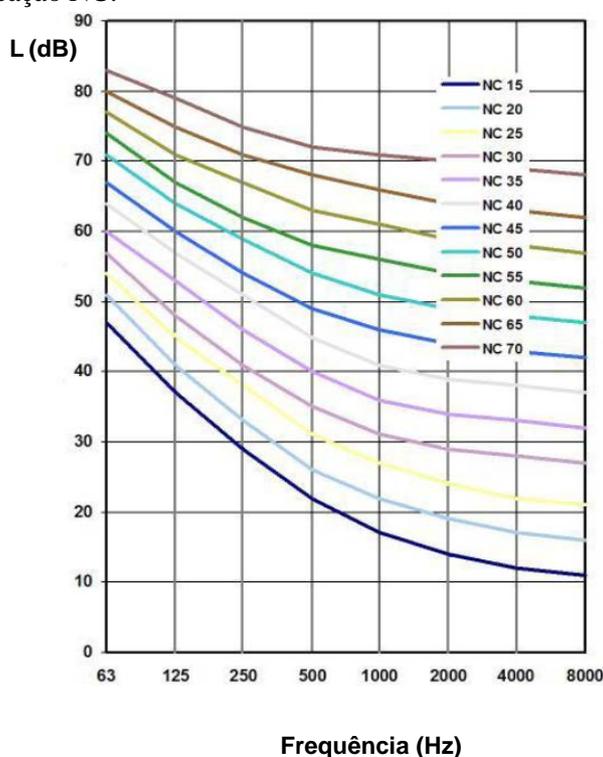


Figura 2.14 – Curvas do método *Noise Criteria* - NC [Adaptado de 34].

As curvas NC são utilizadas de forma generalizada com o objectivo de estabelecer situações de níveis de ruídos máximos recomendáveis para diferentes tipos de recintos em função do tipo de utilização prevista (Quadro 2.8).

Quadro 2.8 – Valores de Curvas NC recomendados para algumas utilizações tipo [Adaptado de 13].

Tipo de Recinto	Curva NC Máxima Recomendada
Estúdios de gravação	15
Salas de concerto	15-25
Hotéis (quartos)	20-30
Hotéis (vestiários e corredores)	35-40
Salas de conferência	20-30
Bibliotecas	30-35
Restaurantes	35-40
Cafetarias	40-45
Polidesportivos	40-50
Oficinas (maquinaria ligeira)	45-55
Oficinas (maquinaria pesada)	50-65

3

ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E RELIGIOSO

3.1. ISLAMISMO

Actualmente, existem três religiões monoteístas que continuam a influenciar a Humanidade. A mais antiga corresponde ao Judaísmo, seguindo-se o Cristianismo, e por último o Islamismo.

O Judaísmo baseia-se num conjunto de cinco livros da bíblia Hebraica, a *Gênesis*, o *Êxodo*, o *Levítico*, os *Números* e o *Deuteronomio* que compõem o livro sagrado, a Torá. Estes livros constituem a base das três religiões e contêm informações relativas à criação do mundo, à origem da humanidade, ao pacto de Deus com Abraão e seus filhos, à libertação dos filhos de Israel do Egipto em 1300 a.C., onde foram escravizados durante 400 anos. Também são referidos acontecimentos como a peregrinação à terra prometida e a revelação dos mandamentos e leis de Deus a Moisés, tendo por objectivo o ensinamento de uma postura correcta ao povo de Israel [35, 36].

Relativamente ao Cristianismo, o documento sagrado para os cristãos é a Bíblia, e esta é constituída por duas partes, o Antigo Testamento e o Novo Testamento. O Antigo Testamento corresponde ao conjunto de livros que constituem a Torá e outros 46 livros. Esta religião fundamenta-se no nascimento de Jesus, filho de Deus, que veio ao mundo para salvar a Humanidade. Ele pregava a palavra de Deus e realizava milagres junto do povo e após a Sua morte e ressurreição os seus discípulos continuaram a seguir o seu trabalho [37].

A religião Islâmica surgiu no século VII d.C. na cidade de Meca, localizada a noroeste da Península Arábica e baseia-se nas informações reveladas por Deus a um profeta chamado Maomé [38, 39, 40].

O Corão é o livro sagrado para os muçulmanos. Este inclui referências às outras religiões como por exemplo, a Torá e o Evangelho de Jesus, e indica que os profetas Moisés e Jesus introduziram alguns erros na palavra de Deus, sendo Maomé o último profeta que transmitiu a palavra de Deus na perfeição. O Corão contém informações relativas às intenções de Jesus, ao seu aparecimento na terra, aos milagres praticados por este e, o anúncio da chegada do profeta Maomé. Basicamente o Islamismo vê o Judaísmo e o Cristianismo como versões imperfeitas, no entanto, o Corão refere que as três religiões adoram o mesmo Deus, sendo que no Islamismo, o Deus chama-se Alá, que significa Deus em árabe [41, 42, 43].

A Península Arábica localiza-se geograficamente entre o golfo pérsico e o continente africano, e é banhada a norte pelo mar mediterrâneo e, a oeste, pelo mar vermelho (Figura 3.1). Nesta região constituída maioritariamente por desertos ou montanhas rochosas, as poucas cidades existentes eram normalmente centros de comércio e situavam-se em oásis, ou seja, em regiões no meio do deserto com formações vegetais e fontes de água [39].



Figura 3.1 - Localização geográfica da Península Arábica [Adaptado de 44].

Não existem muitas informações sobre a situação religiosa na Arábia no século VII d.C., apenas sabe-se que os Impérios que a rodeavam tinham populações cristãs, judaicas e zoroastrianas, sendo esta última uma importante religião monoteísta da altura. Assim, esta região nunca sofrera verdadeiramente influência cultural e religiosa de civilizações desenvolvidas, justificando o facto da maioria dos árabes ser politeísta, ou seja, adorar vários deuses e, a sua sociedade viver organizada em tribos nómadas ou semi-nómadas. Estas eram grupos sociais ligados por um antepassado comum e eram organizadas em clãs, sendo que cada clã tinha um líder que defendia os interesses dos seus elementos [38].

A Arábia estava localizada numa zona importante a nível de rotas comerciais, sendo as mercadorias descarregadas nos portos arábicos e posteriormente transportadas através de caravanas de camelos pelos desertos até outros mercados [38, 40].

A cidade de Meca era um importante centro comercial e de culto. A nível comercial era um importante cruzamento de rotas caravaneiras entre o Iémen e os portos mediterrâneos e, um importante centro de peregrinação que recebia pessoas de toda a Arábia para adorar os seus deuses na pedra negra, chamada *Caaba* (Figura 3.2) [38, 40].

Os árabes pré-islâmicos governavam-se por regras de honra, coragem e hospitalidade defendendo que uma vida heróica era motivo para atingir a imortalidade. Aqueles adoravam os poetas por acreditarem serem possuídos pelo poder sobrenatural, os adivinhos devido à sua capacidade de prever o futuro e de desenvolver soluções para os problemas e, por fim, os juízes, pela sua capacidade de resolver os problemas dentro das tribos e entre tribos. Estas características revelam-se determinantes para compreender a influência do profeta Maomé na vida daqueles [40].

Não existem muitas informações relativas à vida de Maomé antes de se tornar profeta, no entanto, sabe-se que nasceu por volta de 570 d.C. em Hejaz, ficando órfão muito cedo. Ele foi criado pelo seu tio, Abu Talib, um mercador que viajava por toda a Arábia. Com o passar do tempo Maomé aprendeu o ofício do seu tio e em adulto tornou-se um mercador honesto e de confiança. Alguns membros da tribo *Quraysh*, à qual Maomé pertencia, dedicaram-se aos negócios na cidade de Meca e rapidamente começaram a lucrar financeiramente não só pela peregrinação mas pela reputação que tinham de guardiões do local. Foi nesta altura que Maomé com 25 anos se casou com uma viúva rica, Cadija de 40 anos, que tinha interesses no mercado caravaneiro [38, 40].

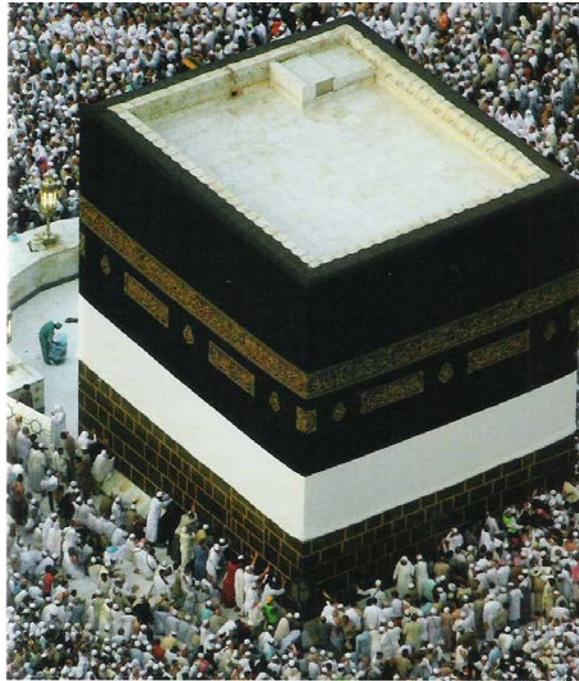


Figura 3.2 - *Caaba* (pedra negra) na cidade de Meca [Adaptado de 45].

Durante a idade adulta Maomé costumava ir para uma gruta fora de Meca meditar. E foi numa dessas idas que foi acordado por um ser angelical, o anjo Gabriel. Este anjo também é mencionado na Bíblia, e foi quem deu a boa nova a Maria sobre o nascimento de Jesus [38, 40].

Maomé acreditou ter sido escolhido para transmitir uma mensagem divina à Humanidade acerca da existência de um Deus único e todo-poderoso, Alá. Começou a pregar na cidade de Meca e um dia entrou no santuário de *Caaba* onde derrubou com o seu bordão todas as imagens que os seus seguidores deveriam eliminar, excluindo Maria, o menino Jesus e a própria pedra. Aos poucos Maomé conseguiu juntar alguns seguidores e, os governantes de Meca começaram-no a ver como uma ameaça ao seu negócio, pois esta era uma cidade que recebia muitos árabes politeístas e Maomé defendia uma religião monoteísta o que ponha em perigo o sucesso dos seus negócios [38, 40].

Assim, começaram a perseguir Maomé e seus seguidores. Maomé aceitou um convite vindo da cidade de Yathird para mediar um conflito entre duas tribos poderosas mediante algumas condições impostas por Maomé. Ele pretendia trazer consigo os seus seguidores, ter garantia de sustento até conseguir os seus meios de subsistência e por fim, ser considerado cidadão desta cidade usufruindo do apoio dos seus habitantes num eventual ataque de Meca [40].

A emigração para Yathird (Medina) deu-se em 622, sendo conhecida por Hégira. Esta é a data mais importante da religião islâmica (16 de Julho) pois marca o início do Islamismo enquanto religião social e do calendário islâmico (Figura 3.3). Actualmente, este calendário é ainda usado em muitos países e inclui todos os acontecimentos religiosos [38, 40].

Em Yathird, Maomé começou a pregar e em pouco tempo conseguiu converter muitas pessoas. Esta região reunia condições mais favoráveis à implementação do Islamismo porque havia duas tribos rivais, ou seja, não havia um líder, e por outro lado, havia árabes que se tinham convertido ao Judaísmo, sendo que todas estas divisões favoreciam a liderança de Maomé. Em pouco tempo esta religião evoluiu dando origem a um conjunto de leis. É importante referir que o nome da cidade mudou de Yathird para Medina, ou seja, cidade do Profeta. Maomé passou de profeta para governador social,

religioso e político de toda a comunidade. Após a fortificação desta religião, as autoridades de Meca sentiram-se ameaçadas e resolveram atacar Medina. Estas batalhas resultaram numa consolidação do Islamismo e em 630 d.C. Meca rendeu-se ao profeta. Nesta altura Maomé voltou a Meca onde retirou todos os objectos religiosos de *Caaba* e regressou a Medina. Realizou uma última peregrinação antes de morrer, sendo esta um dos rituais islâmicos, o *Haiji* [38, 40]. Pouco tempo depois desta peregrinação, Maomé ficou doente e a 8 de Junho de 632, veio a falecer na sua cama. Maomé foi sepultado neste local, pois a tradição diz que os profetas devem ser enterrados no local do seu falecimento. Este local é considerado nos dias de hoje um santuário e um importante lugar de peregrinação na cidade de Medina, sendo conhecido por Mesquita do Profeta (Figura 3.4) [40].

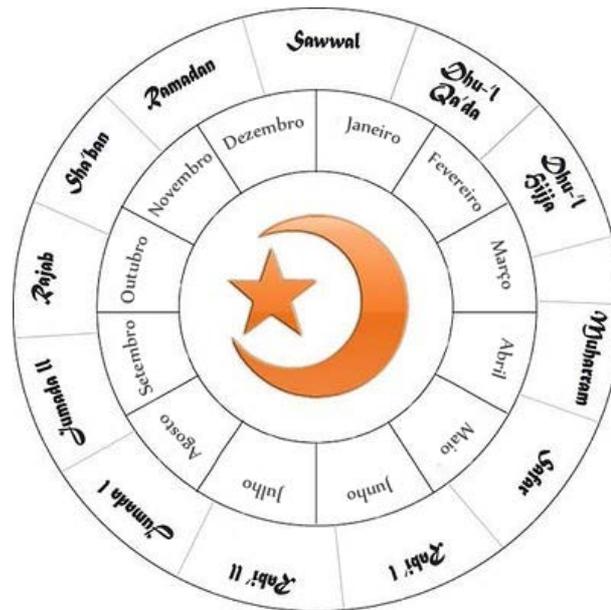


Figura 3.3 - Calendário Islâmico [Adaptado de 46].



Figura 3.4 - Mesquita do Profeta em Medina [47].

Após a morte de Maomé surgiram algumas dúvidas relativamente à pessoa que deveria prosseguir com o seu trabalho, ou seja, quem deveria ser o seu representante. O primeiro Califa foi o seu amigo íntimo, Abu Becre, vindo a falecer dois anos após a tomada do cargo. O segundo Califa, Omar, esteve no cargo por dez anos, sendo substituído pelo Califa Otmar que esteve na função durante doze anos. A morte de Otmar gerou muita confusão relativamente ao sucessor. Uns preferiam Ali (primo e genro de Maomé) e outros Muawiya (primo de Otman). Apoiados pelos seus adeptos ambos se declararam Califas gerando uma guerra civil que resultou na morte de Ali. Assim, a maior parte dos muçulmanos defende que só os primeiros quatro califas foram verdadeiramente virtuosos (Abu Becre, Omar, Otman e Ali). A partir daí iniciou-se o período dos Omíadas que durou cerca de cem anos, dando-se a conquista da maior parte das terras que ainda hoje se identificam com o Islamismo [40, 48].

Contudo, a morte de Maomé gerou uma subdivisão entre os muçulmanos que dura ainda nos dias de hoje. Um dos grupos, os Xiitas, defendiam que Ali deveria ser o líder legítimo da comunidade islâmica havendo três califas que privaram Ali do seu direito hereditário. Este grupo baseia o seu fundamento numa situação que ocorreu durante a vida de Maomé e que está transcrita num *hadiths*, que corresponde à nomeação de Ali para substituir Maomé na sua ausência, mostrando a sua confiança para com Ali. O outro grupo, os Sunitas, consideram estes *hadiths* fidedignos mas encaram esta nomeação para situações específicas. Defendem que Abu Becre era o melhor candidato devido à sua avançada idade e proximidade a Maomé enquanto que Ali era demasiado jovem para assumir o cargo. Os sunitas defendem que mais vale uma comunidade islâmica unida do que lutar contra um mau governante. Estes revelam alguma antipatia pelos Xiitas devido ao desrespeito mostrado contra algumas das suas figuras de veneração. Os Xiitas têm as suas próprias compilações de *hadiths* pois afirmam que os Sunitas falsificaram alguns textos. Após a morte de Ali, em 661, os Xiitas não exerceram mais poder político durante um longo período, consumindo mais tempo a elaborar teorias teológicas do que a realçar a sua dimensão política [40].

Foi durante o poder dos três primeiros califas que se juntaram as revelações pronunciadas pelo profeta Maomé num livro que se dá pelo nome de Corão (Figura 3.5), que significa ler ou recitar. Maomé pretendia implementar um princípio unificador, a *Umma*, ou seja, uma comunidade islâmica unida. O Corão que os muçulmanos usam nos dias de hoje foi recolhido e organizado entre 650 e 656, durante o reinado de Otman. Nessa altura, este funcionava como auxiliar de memória porque a escrita árabe era constituída só por consoantes e para conseguir ler o texto era importante ter alguma familiarização com o conteúdo, pois a mesma forma de letra poderia indicar mais do que um som. A escrita árabe moderna, com vogais e consoantes só foi criada durante o reinado de Abd-Malik entre 685-705. O Corão está organizado em versículos individuais chamados *Ayat* (sinais), contendo indicações sobre como viver a vida. O texto está organizado em cento e catorze capítulos chamados *Suras* de tamanho desigual e estão organizados por comprimentos, do mais longo para o mais curto [39, 40].

Existe um outro documento muito importante na vida dos muçulmanos chamado *hadith* (Figura 3.5). Só o Corão é que se encontra acima deste. O *hadith* pretende transmitir o modelo de comportamento de Maomé, ou seja, disposições legais, obrigações religiosas, indicações do que é permitido e proibido, pureza ritual, questões de ética e cortesia. Este documento era baseado assim na *Suna* do profeta, ou seja, nas decisões tomadas pelo profeta bem como nas palavras e acções caso a caso. Os eruditos dividem os *hadiths* em três categorias principais de acordo com a credibilidade do documento, o *Hahih*, documento seguro em termos de informação, o *Hasan*, informação credível mas a sua autenticidade levanta algumas questões e, por último, o *Hadith* em que a informação é suspeita. Existem duas obras, Al-Musulim e Al-Bukhari, que são consideradas de tal forma fidedignas que são colocadas por grande parte dos sunitas debaixo do Corão [39, 40].

Por fim, os muçulmanos usam para meditar, orar ou para pedir auxílio a Alá o terço islâmico (*Masbaha*) (Figura 3.5) sendo este equiparado ao terço para os cristãos.

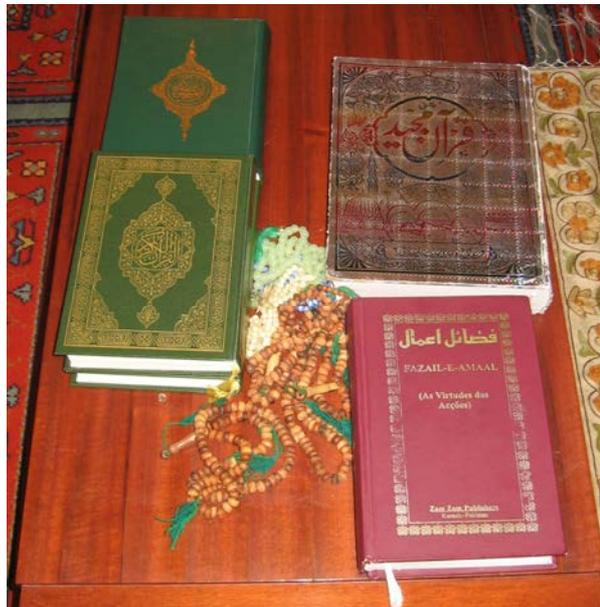


Figura 3.5 - Elementos auxiliares para oração (Corão, *hadiths* e *Masbaha*) na Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora].

A religião islâmica assenta em cinco pilares da fé fundamentais: a unidade divina, a profecia, a revelação, a intercessão angelical e, o julgamento e vida eterna. A unidade divina implica a que as pessoas acreditem num Deus único e eterno e que transmitam essa informação aos demais. Deus criou o universo e tudo o que lá existe, criou os seres humanos e deu-lhes capacidade de escolher entre o bem e o mal. A profecia implica acreditar que Deus comunica com os seres humanos através de profetas, que podem ser de duas naturezas, *Nabi* ou *Rasul*. O primeiro transmite a vontade de Deus à comunidade sendo que o segundo para além disso recebe uma escritura que deverá revelar àquela. Os muçulmanos consideram que Jesus foi o penúltimo dos profetas e profetizou a vinda de Maomé. A revelação consiste na crença dos muçulmanos em Deus que usou os seus profetas para revelar as escrituras à Humanidade. Relativamente à intercessão angelical, esta baseia-se na ideia que os anjos existem e Deus os usa para executar a sua vontade. Aqueles têm como dever proteger e vigiar os humanos. Este é o pilar da fé mais difícil dos muçulmanos acreditarem e, assumem os anjos como uma diferente manifestação do poder de Deus. Por fim, tem-se o julgamento e vida eterna. Segundo o Corão o mundo não acaba, simplesmente sofre uma transformação, aparecendo assim o paraíso, em que todas as pessoas que morreram ressuscitarão e serão julgadas. Uns vão directamente para o céu os outros ficam a pagar os seus pecados durante um tempo no inferno, dependendo da gravidade dos pecados [40].

Os pilares da prática (Figura 3.6) não são mais que rituais que os muçulmanos devem cumprir e englobam a *Shahada*, a oração, o jejum, a caridade e a peregrinação *Haiji*. Existem orientações dadas pela lei islâmica, *Sharia*, que permitem não cumprir todos os rituais e indicam como compensar no caso de não cumprir algum deles. Antes de realizar um ritual o muçulmano terá que reflectir sobre esse ritual de forma a torná-lo válido. A *Shahada* é a afirmação da fé, a recitação deste credo, que louva um único Deus (monoteísmo) e afirma a existência do profeta Maomé (Islamismo), personificando a religião islâmica. Esta é a primeira afirmação que se diz a um bebé e a que se procura dizer na hora da

morte. São estas as palavras também usadas quando uma pessoa se converte ao islamismo. O ritual da oração tem de se realizar cinco vezes por dia. A oração (*Salat*) é muito formal e privada e deve ser realizada antes do nascer do sol, imediatamente após do sol atingir o ponto mais alto do céu, a meio da tarde, depois do pôr do sol e ao anoitecer. A oração pode realizar-se em qualquer lugar mas é recomendável um lugar limpo, visto a limpeza ser uma questão de pureza ritual. Antes da oração executa-se a ablução (*Wudú*) que consiste em lavar as partes do corpo expostas às impurezas e mesmo quando não se tem água procede-se aos gestos como se as estivesse a lavar. As roupas também devem ser escolhidas de forma a taparem as zonas mais íntimas. A oração não tem de ser feita obrigatoriamente na mesquita. Há ainda a oração da sexta-feira (*Khutba*), do mês de Ramadão e da peregrinação a Meca que devem ser realizadas em congregação e nas mesquitas. O jejum deverá ser feito durante o mês do Ramadão, que é o nono mês do calendário islâmico (entre 22 de Agosto e 19 de Setembro), e consiste em se abster e também não pensar em comida, bebida, tabaco, violência e relações íntimas entre o amanhecer e o pôr-do-sol durante todo o mês. Este permite às pessoas ter consciência sobre si próprias e serem mais sensíveis com as pessoas mais pobres, provarem o amor e devoção a Deus aproximando-se Dele. Este culto deverá ser prestado por pessoas capacitadas, sendo que os únicos efeitos que o jejum poderá provocar são fome e sede. A caridade é muito importante para o islamismo, sendo que o *Zakat* só é válido se houver reflexão antes de se proceder à caridade, porque sem isso, é uma caridade normal. Em algumas sociedades existe um imposto *Zakat* cobrado pelo governo para a construção de escolas, hospitais, e, noutras sociedades, é a própria pessoa que entrega voluntariamente a sua caridade a causas, instituições ou aos mais necessitados. Por fim, o último pilar corresponde à peregrinação a Meca, sendo que esta se realiza no último mês do calendário islâmico e todos os muçulmanos devem efectuar pelo menos uma vez na vida se tiverem recursos para tal. O ritual consiste em usar uma vestimenta especial, *Ihram*, e andar sete vezes à volta da *Caaba*, que acreditam que foi um templo construído por Abraão para adorar Deus. É também para este templo que os muçulmanos espalhados pelo mundo se viram quando estão a orar. Depois de andarem à volta da *Caaba* devem correr entre duas colinas chamadas Safa e Marwa e dirigir-se para a cidade de Meca, onde passam uma tarde na planície de Arafat. Foi neste sítio que Maomé disse o último sermão. Por fim, o *Haji* chega ao fim ao terceiro dia com o sacrifício de alguns animais (carneiros, bodes, bois ou camelos) para recordar o episódio de Abraão e do seu filho. A partir daí já podem usar a roupa normal e cuidar da sua aparência [40, 49, 50].



Figura 3.6 - Pilares da Prática na Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora].

Um outro aspecto interessante de referir está relacionado com o papel da mulher descrito no Corão. Basicamente, este diferencia dois conceitos importantes: igualdade e identidade. Aquele afirma que os homens e as mulheres têm igualdade de direitos e responsabilidades, no entanto, a sua identidade é diferente, isto é, a igualdade é desejável e justa, mas a identidade não. Assim, torna-se perceptível que o papel da mulher não é inferior ao do homem, simplesmente tem direitos diferentes aos do homem. Ao contrário de outras religiões, o Corão diz que tanto Adão como Eva pecaram e que o perdão de Deus foi dado a ambos depois de se arreenderem. A mulher tem um papel fundamental na edificação da família. Devido às qualidades das mulheres, muitas vezes as suas opiniões são tidas em consideração mesmo em situações delicadas. O Corão introduziu a ideia que as filhas também eram dadas de Deus, tal como os filhos, contrariando um pouco as ideias até então, elevando assim a mulher à condição humana. Os direitos das mulheres não advêm de movimentos sociais e feministas nem de decisões governamentais, mas sim de cariz divino. A mulher, segundo o Corão, tem o direito a estudar, a trabalhar, podendo desempenhar qualquer tarefa como qualquer homem, no entanto, existe somente um responsável em cada família, o chamado “cabeça de casal”. Existem outras coisas curiosas tais como a mulher ter o direito de conservar o sobrenome da sua família, ou, no caso do marido não cumprir os seus deveres ter o direito de o levar ao juiz e dizer que contrariou a lei islâmica (*Sharia*). A mulher tem o direito de gerir o seu património, não podendo o cônjuge tutelar o seu património a não ser que seja vontade da sua mulher. Esta tem o direito de herdar, sendo que Deus pede igualdade nas questões de herança e, caso haja privação, Deus diz que quem privar será privado no paraíso. As mulheres também podem se envolver na política. Assim, o Corão defende igualdade, cooperação e distribuição das tarefas entre o homem e a mulher [51].

3.2. CARACTERIZAÇÃO ARQUITECTÓNICA – A CIVILIZAÇÃO ISLÂMICA

As cidades islâmicas surgem muito influenciadas pela religião. Estas eram cidades simples que se organizavam a partir do centro, constituído por edifícios religiosos, através de um enredado e desordenado esquema de ruelas e becos labirínticos. Nestes é possível encontrar alguns comerciantes que se dividiam por quarteirões de acordo com a especialidade do seu comércio (Figura 3.7) e existiam funcionários municipais que asseguravam a ordem e limpeza. Nos quarteirões onde se efectuavam a venda de tecidos preciosos e joalharia (*Kaysaryas*) existiam guardas durante a noite. Estas cidades encontravam-se delimitadas por muralhas cujo objectivo era garantir a sua defesa e, dispunham de mesquitas e banhos públicos (*Hammams*). Os edifícios administrativos, as estações de correio e a secretaria de finanças localizavam-se apenas nas capitais de califados ou emiratos. As casas encontravam-se compactadas num espaço transmitindo a ideia de uma cidade privada assente na estrutura familiar. No entanto, estudos arqueológicos recentes mostraram que a cidade islâmica não se fundamentava unicamente neste modelo existindo uma diversidade de cidades e, muitas delas sofreram alterações devido a acções provenientes por exemplo da guerra. Assim, não existe um modelo único de cidades islâmicas, existem pois, várias aglomerados com monumentos únicos [53].

Os cemitérios e as mesquitas são elementos religiosos presentes nas cidades islâmicas. No caso dos cemitérios, estes eram locais abertos onde era comum as pessoas se reunirem para ouvir um contador de histórias ou passearem enquanto as crianças brincavam. Sabe-se que não existe qualquer culto aos mortos e que a lei islâmica recomenda simplesmente uma oração demonstrativa do respeito pelo muçulmano morto. O defunto é enterrado envolto numa simples mortalha com a cabeça voltada para Meca. A sua campa não deveria ter adornos e, no tempo de Maomé era comum atirar pedras sobre a campa. O profeta determinou atendendo aos costumes árabes que não se devia construir nada por cima do túmulo. Esta prescrição ainda é cumprida em certas áreas muçulmanas noutras, substituíram a

pedra tumular por uma estela às vezes esculpida com passagens do Corão. Mas isto não fica por aqui, há mesmo quem em vez disto tenha um monumento [52, 53, 54].



Figura 3.7 - Ruela com alguns comerciantes, na cidade de Jerusalém [55].

O primeiro verdadeiro monumento apareceu em 862 d.C. a poucos quilómetros da cidade de Bagdad aquando a morte do califa al-Munstansir e é um mausoléu em forma octogonal. Um mausoléu é um túmulo grandioso, construído com o objectivo de prestar homenagem, após a morte, a um líder ou a uma pessoa importante. Existiam mausoléus considerados verdadeiras obras de arte, um deles foi considerado uma das sete maravilhas da antiguidade, o Mausoléu de *Harlicarnasso* (Figura 3.8). A sua construção iniciou-se no ano 353 a.C., contando com a colaboração de cerca de trinta mil homens e, levou cerca de dez anos para concluir a obra. Este monumento foi edificado a pedido de Artemísia, para homenagear o seu marido e irmão Mausolo, na cidade de Harlicarnasso, actual cidade turca Bodrum. Em 1304 houve um terramoto que abalou gravemente a sua estrutura sendo hoje possível encontrar alguns destroços no museu na cidade de Londres e na cidade de Bodrum [56, 57, 58].

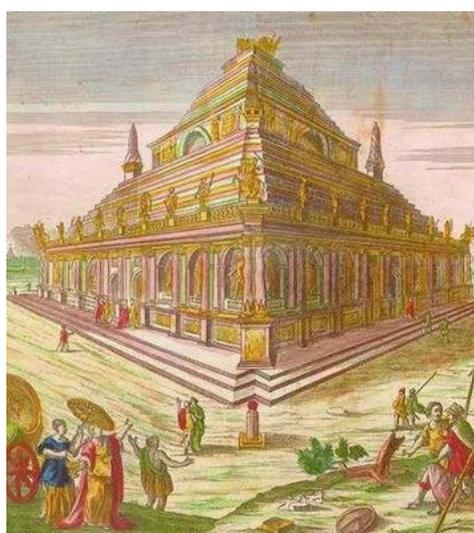


Figura 3.8 - Mausoléu de *Halicarnasso* [59].

Um outro mausoléu com uma arquitectura mais recente foi em 2007 considerado uma das sete maravilhas do novo mundo, o *Taj Mahal* (Figura 3.9). Este monumento foi edificado a pedido do Imperador Shaah Jahan entre 1632 e 1647 nas margens do rio Yamuna na cidade Agra na Índia em homenagem à sua mulher preferida Muntaz Mahal. Este enquadra-se num jardim simétrico, tipicamente muçulmano, dividido em quadrados cruzado por um canal. Interiormente, as paredes são de mármore com algumas pedras preciosas simulando uma cortina colorida. Devido às características reflectoras destes materiais verifica-se a existência de eco com o objectivo de tornar o espaço triste e misterioso. Este monumento é simétrico e constituído por uma cúpula central, existindo outras quatro mais pequenas em torno desta e por quatro minaretes nos cantos [60, 61].



Figura 3.9 - Mausoléu *Taj Mahal*, na Índia [62].

A mesquita corresponde ao elemento religioso base deste trabalho. Esta é o local de culto do Islão. Nos primeiros séculos do islamismo este espaço para além de ser utilizado para a oração, era usado para debate de assuntos políticos e de justiça, sendo também vocacionado para administração da justiça, ensino e abrigo aos peregrinos. Nas aldeias também costumava incluir cozinhas públicas e hospitais [52, 54].

A primeira mesquita, não oficial, foi a casa do profeta Maomé em Medina. Havia um pátio central, no qual o muro indicava a direcção de Meca, onde Maomé recebia os seus companheiros à sombra de um coberto feito de folhas de palmeira e, dos lados havia as divisões onde se alojavam as mulheres. Este foi o esquema base para os edifícios que surgiram na dinastia dos Omíadas em Damasco e Kufa, com um pátio quadrado rodeado de pórticos, e uma parte coberta junto à parede *Quibla*, orientada para Meca. A sala nave axial dessa época foi modelada pelos Abássidas¹ numa série de naves paralelas [52].

A primeira mesquita na qual os muçulmanos se orientaram para Meca nas orações diárias foi a de *Al Aqsa* (Figura 3.10) situada em Jerusalém. A construção da Mesquita de *Al Aqsa* iniciou-se no ano 674 d.C. sendo reconstruída em 705 d.C. devido a um terramoto que a destruiu com alguma severidade. Este local é um dos três lugares mais sagrados para o Islão, depois da Mesquita de Meca e da Mesquita

¹Terceira dinastia de califas árabes cuja capital se situava em Bagdad. Este califado permaneceu entre 750 d.C. e 1258 d.C. [63].

do Profeta em Medina. Esta é importante porque se acredita que o profeta tenha partido deste local para a sua viagem celestial (*Mihraj*) com o anjo Gabriel conhecendo todos os outros profetas e tendo sido ordenado a prática das cinco orações diárias [64].



Figura 3.10 - Mesquita Al Aqsa em Jerusalém [65].

A mesquita é caracterizada arquitectonicamente pela cúpula, pelo minarete e pelo arco (Figura 3.11). A cúpula foi um elemento herdado da cultura Bizantina que permitia cobrir o quadrado com um círculo. O minarete suspeita-se que tenha derivado das torres de sinalização e vigia, sendo que as primeiras mesquitas apresentavam um aspecto defensivo com a construção de torres nos cantos. Aqueles têm como função proporcionar o chamamento (*Adhan*) para as cinco orações diárias pela voz do *Muaddin*. Relativamente ao arco, inicialmente foi utilizado a volta perfeita sobre colunas segundo a tipologia Bizantina mas, logo depois começou-se a usar o arco quebrado presente na arquitectura Sassânida² [52, 54, 66].



Figura 3.11 – Identificação dos elementos arquitectónicos base: Arcos, Cúpula e Minarete. Mesquita da Foz do Iguaçu, Brasil [Adaptado de 67].

² A dinastia Sassânida reinou na Pérsia entre 224 d.C. e 651d.C. [68].

As primeiras mesquitas correspondiam a um simples espaço fechado por um muro voltado para Meca dotado de um pórtico (Figura 3.12). A influência bizantina originou uma multiplicação das naves até à obtenção de um quadrado, promovendo o aparecimento de muitas colunas no espaço interior. A estas se apoiam os arcos que sustentam o tecto plano com uma pequena cúpula sobre o nicho na parede voltada para Meca (*Mihrab*). Basicamente esta fase foi marcada pelo pátio quadrado, pelos pórticos e pela sala de orações com naves (Figura 3.13). O contacto com o mundo persa também permitiu alguma influência aparecendo a mesquita com planta quadrado-cruciforme com pátio central e um *Iwan* (Figura 3.14) de cada lado. Um *Iwan* corresponde a uma grande sala de abóbada de berço com um lado aberto em arco, separada das salas de audiência persas. Esta cultura também introduziu o gosto pela ornamentação floral de temática naturalista. Os turcos e os mongóis introduziram a cúpula sobre a planta central [52, 54].

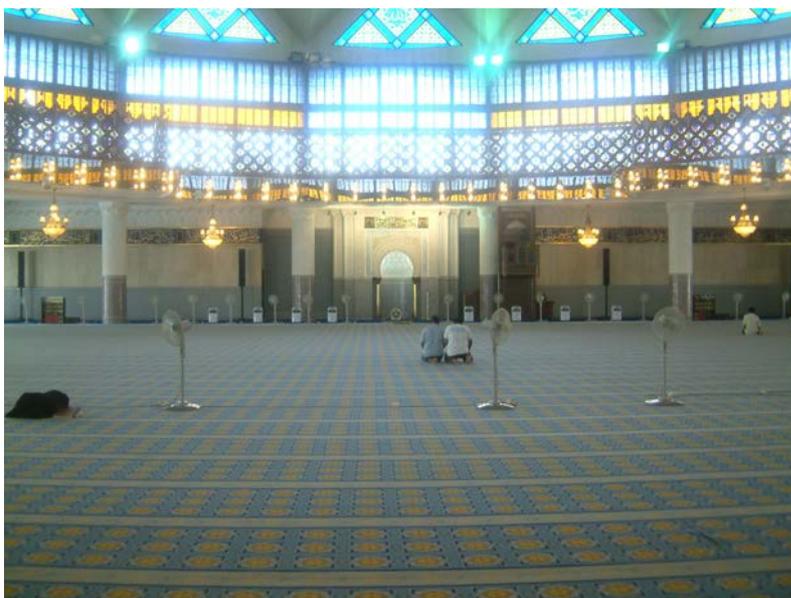


Figura 3.12 - Mesquita Nacional da Malásia [69].



Figura 3.13 - Mesquita do Profeta em Medina [70].

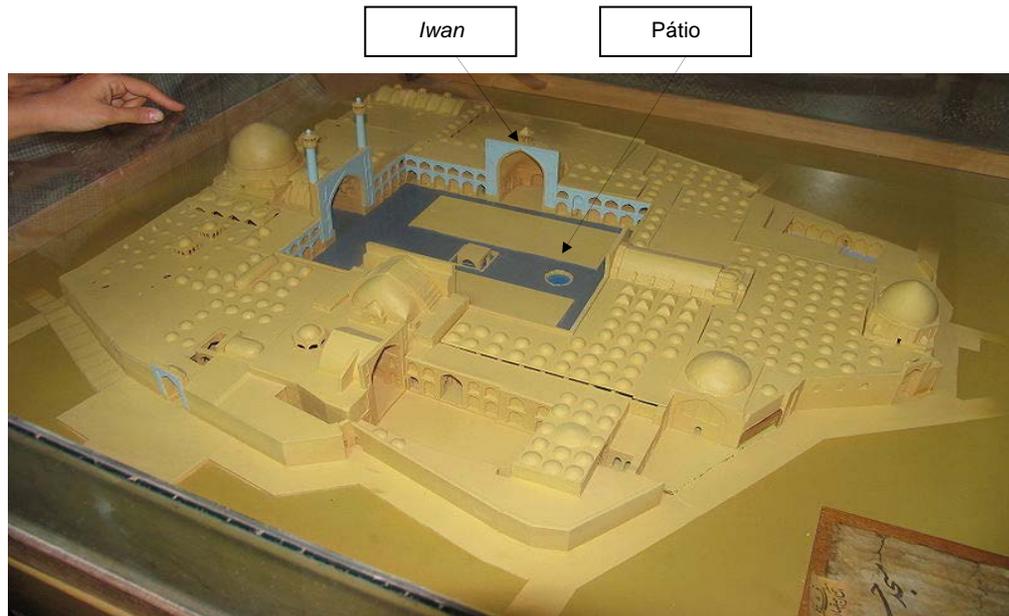


Figura 3.14 – Identificação do Pátio e do *Iwan* na maquete da Mesquita *Jame* em *Isfahan* com 4 *Iwan* [Adaptado de 71].

As mesquitas podem ser classificadas de acordo com a sua arquitectura como *tradicionais* ou *contemporâneas* [66].

As *tradicionais* são classificadas de acordo com a sua forma e configuração arquitectónica e existem três estilos, o Hipostilo (*Hypostyle Hall*) que corresponde ao caso do tecto estar apoiado por colunas sendo realizadas a oração (*Salat*) e o sermão de Sexta-feira (*Khutba*) (Figura 3.15). O segundo estilo corresponde à Mesquita de Pátio (*Courtyard Mosque*) e esta apresenta um pórtico protegido (*Haram*) e um pátio (*Sahn*), podendo ser usada para as orações (*Salat*), sermão (*Khutba*) e para debates políticos (Figura 3.16). Por fim, o terceiro estilo está associado à Mesquita em Espaço Aberto sendo utilizada para grandes orações congregacionais (Figura 3.17) [5, 66].



Figura 3.15 - Mesquita *Djuma*, *Khiva* [72].

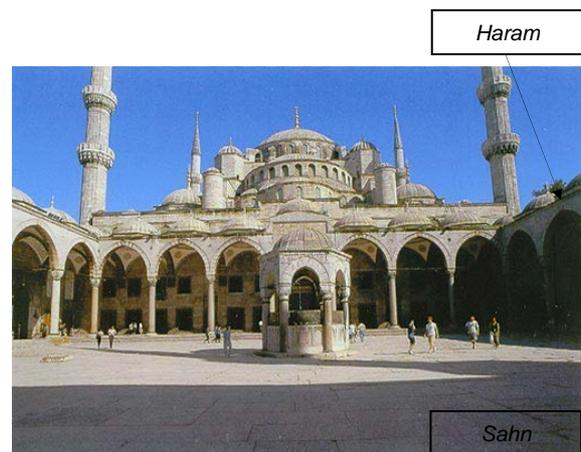


Figura 3.16 - Pátio da Mesquita Azul, *Istambul*. Identificação dos elementos *Haram* e *Sahn* [Adaptado de 73].



Figura 3.17 - Mesquita *Badshahi* em Lahore, Paquistão [74].

As *contemporâneas* podem ser classificadas de acordo com o seu volume e localização em relação à comunidade em quatro tipos. O primeiro corresponde aos Monumentos Maiores (*Major Landmark Structure*) que são construídos para desempenhar funções sociais e dominar a influência sobre o ambiente urbano. Estes localizam-se nas cidades maiores e normalmente eram mandados construir pelo governo ou por uma figura importante como um príncipe, podendo alojar cerca de três mil pessoas (Figura 3.18). O segundo tipo está associado às Mesquitas do Grande Estado e estão localizadas numa cidade como monumento público permitindo acomodar cerca de mil e quinhentas a três mil pessoas sendo estas normalmente construídas a pedido do governo de estado (Figura 3.19). O terceiro estilo corresponde às Mesquitas Comunitárias que estão distribuídas pelas comunidades urbanas e rurais e podem ter outras funções para além da oração (*Salat*) e do sermão de Sexta-feira (*Khutba*), como bibliotecas, salas de reuniões ou clínicas e podem estas acomodar desde trezentas a mil pessoas (Figura 3.20). Por fim, as Pequenas Mesquitas Locais representam as mesquitas com dimensões mais pequenas e suportam menos de trezentas pessoas (Figura 3.21) [5, 65].



Figura 3.18 – Mesquita em Meca [74].



Figura 3.19 - Mesquita em Londres [75].

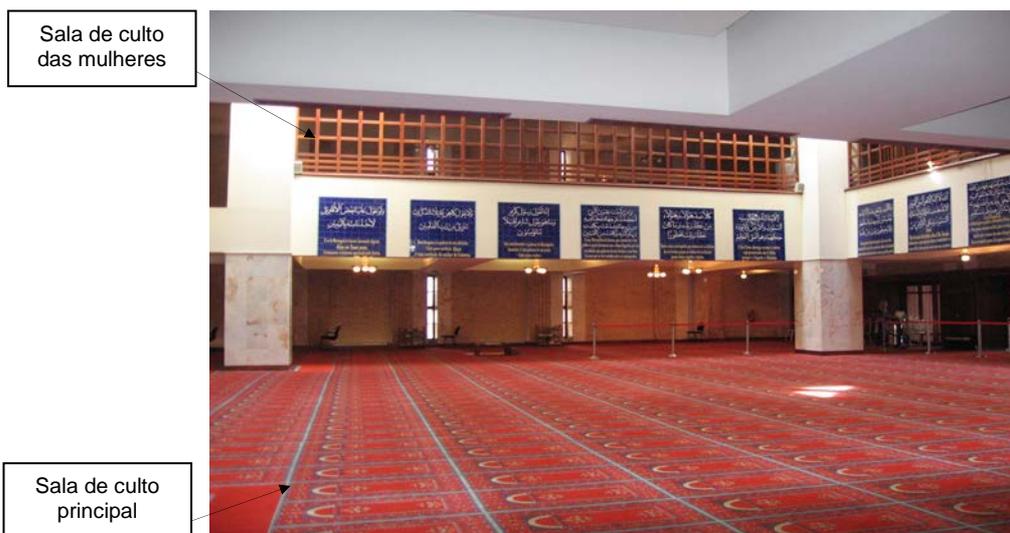


Figura 3.20 - Mesquita em Ottawa, Canadá [77].



Figura 3.21 – Mesquita na aldeia New Ngelepen, Indonésia [78].

A mesquita é hoje normalmente constituída por um pátio, por uma sala onde é possível praticar o ritual das abluções (*Wudú*), por uma sala de oração (*Haram*) onde os crentes são ordenados por filas paralelas (Figura 3.22). É importante referir que os homens ficam separados das mulheres, estando a sala de culto das mulheres localizada ou num anexo separado ou num mezanino, ou seja, um compartimento elevado em relação ao dos homens (Figura 3.22). Na sala de culto principal (dos homens) podem-se encontrar o nicho (*Mihrab*) na parede do fundo da mesquita indicando a direcção de Meca (*Qibla*), o púlpito (*Minbar*) onde o Imã pronuncia o *Khutba* pode ser em mármore, alvenaria ou madeira. Este localiza-se junto ao *Mihrab*, estando descoberto ou encimado por um baldaquino de tecto cónico ou ainda coberto por uma cúpula, a que se tem acesso por uma escadaria com os lados trabalhados ou esculpidos. Nas grandes mesquitas é ainda possível encontrar um pequeno palco elevado (*Dikka*) diante do *Mihrab* onde o oficiante da oração fica à vista de todos os fiéis. Existe ainda um espaço destinado ao príncipe (*Maqsura*) e localiza-se ao lado do *Mihrab*. Estes elementos são possíveis serem visualizados na Figura 3.23. Na decoração das mesquitas não se utilizam quadros, nem esculturas nem velas e não existem bancos, somente tapetes. No caso da decoração da envolvente verifica-se o uso da caligrafia árabe, de ladrilhos com arabescos ou motivos florais. A água é um símbolo importante por ter um carácter associado à pureza [52, 64].



Sala de culto das mulheres

Sala de culto principal

Figura 3.22 – Identificação das salas de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora].



Figura 3.23 – Identificação dos elementos *Mihrab*, *Minbar* e *Dikka* na Mesquita *Sutan Hassan*, Cairo, Egipto [79].

Contudo, actualmente a maior parte dos construtores e projectistas na Europa e na América do Norte, responsáveis pela execução de edifícios muçulmanos, estão a adaptar estes ao século XXI. Esta evolução, principalmente nas mesquitas, tem originado vários debates no mundo islâmico principalmente nas comunidades imigrantes. Certas questões como a sala de culto das mulheres ser a mesma da dos homens e a construção do minarete em países que devido à lei sobre os níveis de ruídos impossibilita o seu uso. Assim, estas novas construções têm como objectivo responder a essas questões tendo sempre por base a cultura islâmica [80].

O aumento do número de fiéis impulsionou a construção de novas mesquitas em países europeus como a Itália que passou em pouco tempo de 351 para 735 mesquitas. Na França e na Alemanha verificou-se a mesma tendência [80].

A segunda e terceira geração de imigrantes muçulmanos tiveram a confiança e dinheiro para construir símbolos islâmicos com uma arquitectura diferente do tradicional mas enquadrada ao ambiente actual. Um exemplo de um edifício que apostou neste tipo de arquitectura localiza-se na Alemanha, Fórum Islâmico (Figura 3.24) e, corresponde a um simples bloco de vidro e pedra que ganhou um prémio em 2008 pela sua arquitectura. Como se pode ver na Figura 3.24 o delicado minarete está caligrafado com o chamamento para a oração [80].

O elemento das mesquitas que continua a provocar muita contestação é o minarete devido à sua altura e ao ruído provocado durante o chamamento. Mas, as preocupações não se limitam ao aspecto da mesquita, questões relacionadas com o ambiente impulsionaram o uso de madeira regenerada e painéis solares com o propósito de aquecer o piso garantindo condições adequadas aos utilizadores [80].



Figura 3.24 - Fórum Islâmico, Alemanha [81].

Em relação ao facto de tradicionalmente existirem duas salas de culto, uma destinada às mulheres e outra aos homens, algumas mesquitas têm tentado diminuir esta barreira e por outro lado, aumentar a área de culto destinada às mulheres. Nas Figuras 3.25 e 3.26 é possível visualizar duas mesquitas em que a separação entre os dois sexos não é tão rígida. Na mesquita *Cologne* (Figura 3.25) na Alemanha, homens e mulheres rezam na mesma sala, sendo a repartição das mulheres localizada numa espécie de varanda. O arquitecto Paul Böhem desenhou esta repartição de forma muito flexível caso no futuro se pretenda eliminá-la com a junção das mulheres e dos homens no mesmo nível da sala. Na Figura 3.26 pode-se visualizar o interior da mesquita *Sakirin* em Istambul onde existe o mesmo tipo de separação entre homens e mulheres que a mesquita anterior [80].



Figura 3.25 - Interior da mesquita *Cologne*, Alemanha [82].



Figura 3.26 – Interior da mesquita *Sakirin*, Istambul, [83].

Uma outra mesquita com um conceito arquitectónico moderno é a mesquita Flutuante localizada no Dubai (Figura 3.27). Esta encontra-se ainda sobre construção com data previsível para finalizar a obra em 2011. Esta mesquita é composta por uns minaretes mais pequenos e finos e está assente em módulos flutuantes de betão e espuma. O sistema de arrefecimento desta mesquita será efectuado através da água do mar bombeada através das paredes, tecto e pavimento [80].

Na Europa, mais propriamente em Roterdão, Holanda, construiu-se uma mesquita com um conceito diferente após várias discussões sobre a sua construção ou não. A mesquita *An-Nasr* é constituída por minaretes de vidro transparente e subtil. O chamamento para a oração será dado através de sinais luminosos no céu apresentando o mesmo ritmo da voz quando pronunciado o *Adhan* [80].



Figura 3.27 - Mesquita Flutuante, Dubai [84].

Para finalizar, pretende-se abordar de forma genérica as diferenças existentes entre as mesquitas e as igrejas. No caso das igrejas é possível encontrar crucifixos, quadros e estátuas. Estes elementos (imagens) vão contra a religião islâmica, daí o Corão indicar que o Cristianismo apresenta ligeiras deformações e uma delas está também relacionada com o culto aos santos. O chamamento dos fiéis para a igreja dá-se através do sino, enquanto que no caso das mesquitas é através do minarete (*Adhan*). Os católicos costumam ir à igreja aos Domingos (dia santificado) e a Eucaristia tem uma duração aproximada de uma hora, enquanto que os islâmicos têm cinco orações (*Salat*) diárias obrigatórias e o *Khutba* ambos com duração aproximada de dez minutos. A entrada da igreja marca a transição do mundo exterior com a casa de Deus, é possível encontrar aqui informações sobre os eventos da igreja. Na mesquita, na entrada é possível encontrar quadros do médio oriente para relembrar as origens da sua religião e, existe uma estante com os livros mais importantes para os muçulmanos incluindo o Corão. É possível localizar uma outra estante disponível para colocação dos sapatos para poderem efectuar, com respeito a oração, a Alá e ao mesmo tempo para manter o espaço de culto limpo, sendo esta uma das condições a verificar antes da oração [85].

Um outro espaço que existe na mesquita mas que não existe nas igrejas é uma sala onde se faz o ritual da ablução. No caso das igrejas, é possível encontrar locais com água benta que normalmente é utilizada para as pessoas se benzerem.

Na igreja os católicos sentam-se em bancos para ouvir a missa, nas mesquitas os muçulmanos têm tapetes onde se ajoelham e debruçam. Nas igrejas ao contrário das mesquitas é frequente a existência de coro ficando colocado na galeria, localizada na zona superior da igreja. Nas mesquitas, esse lugar é ocupado normalmente pelas mulheres, visto que ao contrário da igreja as mulheres não podem orar no mesmo espaço que os homens. Assim, é frequente ouvir cânticos nas igrejas enquanto que nas mesquitas essa actividade é inexistente.

As igrejas têm confessionários para os fiéis obterem o perdão de Deus e por fim, existe um altar que permite ao sacerdote líder, estar mais elevado e onde se encontra também a mesa onde se celebra a missa. Existe ainda um altar-mor que é o altar principal, sendo normalmente o mais adornado e localiza-se em frente da entrada. No caso das mesquitas, a descrição já foi feita anteriormente.

Relativamente à forma ambas apresentam um formato rectangular. No caso das igrejas os fiéis estão orientados segundo a parede mais estreita. No caso das mesquitas estes orientam-se para a parede mais larga (*Quibla*).

4

A ACÚSTICA NAS MESQUITAS

4.1. INTRODUÇÃO

Na religião islâmica as celebrações na mesquita exigem uma boa inteligibilidade da palavra e audibilidade sonora. Isto deve-se ao facto das actividades como a oração, a leitura e a pregação, serem transmitidas em árabe exigindo um certo nível de concentração e compreensão por parte da audiência. No entanto, existem momentos em que os muçulmanos estão a orar tranquilamente sozinhos e os ruídos de fundo, de tráfego ou do sistema de ventilação podem perturbar a oração. Por fim, neste espaço, ao contrário das igrejas, não existem cânticos.

Atendendo às funções esperadas para a mesquita, a acústica deveria ser o factor determinante sobre o projecto arquitectónico. O ambiente acústico óptimo traduz-se através de uma boa audibilidade sonora, em que a intensidade do discurso deverá ser recebida pela audiência com uma certa uniformidade e uma boa inteligibilidade da palavra, em que todos os sons directos deverão ser compreendidos independentemente da posição do ouvinte. A percepção total do discurso e naturalidade na voz do utilizador permitem ao ouvinte localizar a fonte sem dificuldade. A inteligibilidade da palavra está relacionada com a intensidade a que é pronunciada a mensagem e com o ruído de fundo, existindo assim, uma boa inteligibilidade quando o nível sonoro a que é pronunciado o discurso é elevado em relação ao ruído de fundo e o espaço apresenta um tempo de reverberação apropriado à palavra.

Nas mesquitas existem dois modos de culto. O primeiro correspondente ao modo *oração* (*Sunnah*) é praticado com os muçulmanos alinhados em filas de pé, curvados ou prostrados em relação à parede (*Qibla*), sendo que o Imã também fica voltado para esta parede, estando assim, de costas para a audiência (Figura 4.1). No segundo modo de culto, *sermão* (*Farad*), os ouvintes estão sentados nos tapetes, com uma área aproximada de um metro quadrado por pessoa, voltados para a parede (*Qibla*), (Figura 4.1). Neste caso, o culto é feito em congregação (*Jamah*) e o Imã recita o *Khutba* no *Minbar* voltado para os ouvintes [86].

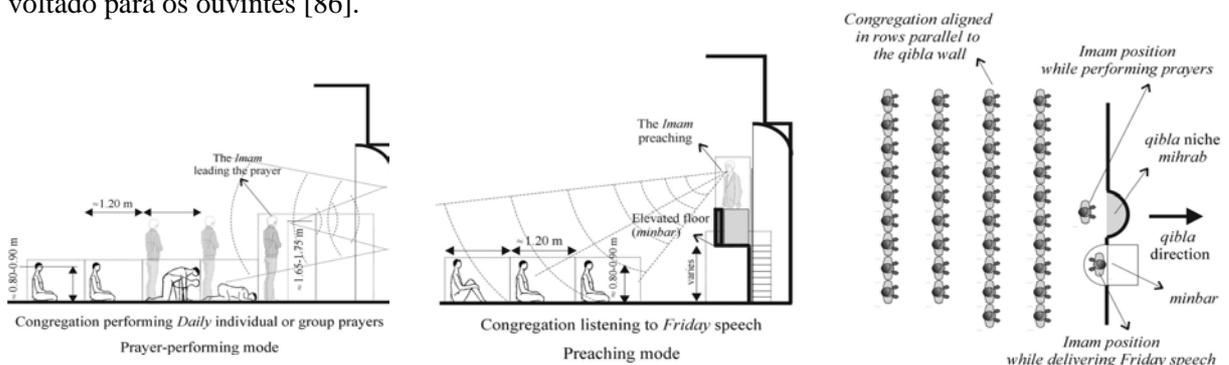


Figura 4.1 – Modos de Culto: à esq. e à dir. - Oração (*Prayer*), no centro e à dir. - Sermão (*Preaching*) [5].

As mesquitas são normalmente alongadas, com a forma rectangular e com grandes rácios comprimento/largura sendo o pé-direito relativamente elevado. A maior parte das mesquitas apresentam materiais reflectores nas paredes e no tecto como azulejos, mármore, pedra, cerâmicos e superfícies de betão pintadas. Algumas paredes apresentam irregularidades e outros tipos de ornamentos que ajudam a reflectir e a difundir o som. Relativamente ao pavimento, este é coberto por tapetes sendo um bom absorvente sonoro para as altas frequências. Importa aqui referir que o nível de inteligibilidade depende dos revestimentos interiores bem como da existência de um adequado sistema de amplificação do som.

As mesquitas apresentam uma absorção sonora limitada, sendo esta basicamente fornecida através dos tapetes e das pessoas (além do ar). Relativamente às pessoas, aquela está relacionada com o número de ouvintes que estão presentes nas *Salat*¹ e no *Khutba*², e como este número não é estável, verifica-se alguma variação na absorção sonora do espaço, tornando o controlo do tempo de reverberação uma tarefa complexa.

Interiormente a mesquita apresenta alguns elementos problemáticos como o tecto abobadado, as cúpulas e o *Mihrab*³. Relativamente ao *Mihrab*, este apresenta um tecto meio-hemisférico ligado a uma parede de secção cilíndrica coberto por materiais reflectores permitindo, no caso de ser bem projectado, a chegada passiva da mensagem do Imã aos ouvintes. No entanto, actualmente têm-se verificado algumas alterações do tamanho e da forma sem ter em consideração as suas implicações acústicas. Relativamente às abóbadas e às cúpulas estas têm função estrutural para criar espaços mais amplos, apresentando um coeficiente de absorção sonora muito baixa e devido à sua forma côncava, focalizam as ondas sonoras. É importante referir que antigamente, a ventilação era feita de modo natural, atendendo ao grande volume e ao conjunto de janelas, sendo que aquela hoje é realizada através de sistemas de ventilação. Por sua vez, estes elementos também possibilitavam a entrada de luz, o que hoje em dia também não é muito relevante com o uso da iluminação artificial.

As mesquitas costumam ter muitas portas e janelas tornando o espaço muito vulnerável ao ruído exterior. Actualmente, o isolamento sonoro revela um carácter mais importante devido ao aumento de tráfego rodoviário, aéreo e outros.

De forma a conhecer melhor a acústica nas mesquitas foram sendo realizados alguns estudos e medições em certos países como na Malásia, Jordânia, Turquia, Kuwait, Arábia Saudita, Indonésia e EUA, no entanto, esta matéria encontra-se ainda em desenvolvimento. Em Portugal, até à presente data ainda não se tinham efectuado medições nas mesquitas mas, um dos objectivos deste trabalho é fornecer as primeiras medições realizadas na Mesquita Central de Lisboa. Uma das primeiras referências sobre a acústica das mesquitas (mesquita Babri na Índia) apareceu no livro “*Historic Structures of Oudhe*” do arquitecto Graham Pickford (1828-1833) [87]. Relativamente a trabalhos científicos nesta área, pensa-se que o mais recente foi em 1987 na mesquita *Shah Alam*.

Assim, neste capítulo pretende-se apresentar de forma cronológica os estudos efectuados noutros países, bem como, os valores obtidos nos parâmetros acústicos de algumas mesquitas que num capítulo mais adiante irão servir de base comparativa com os valores obtidos na mesquita em estudo.

¹ Orações diárias realizadas cinco vezes ao dia

² Sermão de Sexta-feira

³ Nicho localizado na parede (*Quibla*) que indica a orientação de Meca

4.2. ESTUDO 1: MESQUITA SHAH ALAM

A mesquita *Shah Alam* (Figura 4.2 e 4.3) foi construída por volta da década de 1980 e situa-se na cidade de Shah Alam capital do estado de Selangor pertencente à Malásia. A mesquita é constituída por uma sala de culto principal com uma área de 6968 m² e um pé-direito máximo de 76,2 m. Existem ainda quatro pátios ligados por varandas e galerias, e quatro minaretes nos cantos da mesquita. Por sua vez, a sala de culto das mulheres circunda o perímetro da sala de culto principal.

O estudo de 1987 que agora se comenta [1] baseou-se na colocação do sistema de som nas salas de culto, nas varandas, nas galerias e nas salas de ablução com o objectivo de uniformizar acusticamente a mensagem do orador a todas as pessoas localizadas no interior da mesquita, independentemente do local onde estas estivessem. Um dos requisitos por parte da arquitectura era colocar o sistema de forma muito discreta na sala. Os oito pilares que suportam a cúpula dividem o espaço em pequenos volumes sendo impossível cobrir a sala de um só ponto.



Figura 4.2 – Exterior da Mesquita *Shah Alam*, Malásia [88].

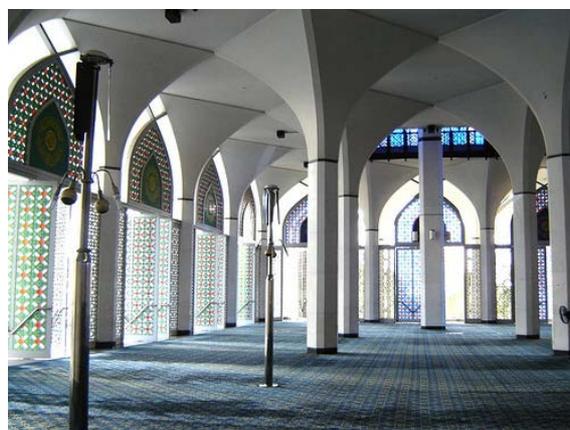


Figura 4.3 - Interior da Mesquita *Shah Alam*, Malásia [89].

Relativamente ao tempo de reverberação, a sala de culto principal apresentou valores entre 7 e 9 s nas médias frequências.

O sistema de som escolhido era constituído por dois *clusters* colocados do lado interior da cúpula, a alguns metros do pavimento, sendo um destinado a cobrir a área perto do *Mihrab* e o outro *cluster* maior era dirigido para a retaguarda da sala. Este último tinha como objectivo minimizar a energia transmitida da parede de trás para a frente da sala permitindo, por outro lado, dirigir as reflexões especulares para zonas onde estas não afectassem consideravelmente a inteligibilidade da palavra. O outro *cluster* funciona de forma similar mas com uma menor directividade.

Devido à altura do anel da cúpula o som proveniente do *cluster* mais pequeno chegava ao chão com um atraso de 60 ms perturbando a percepção nas filas da frente. Optaram por instalar uma matriz de colunas de cada lado do *Mihrab*, de forma a cobrir estas filas e dar alguma precedência do som para as zonas perto destas. Para as zonas que não era cobertas pelos *clusters*, optaram por colocar pequenos altifalantes escolhidos atendendo às questões estéticas, estando orientados para a zona do sistema auditivo da audiência.

Neste caso havia dois potenciais problemas: um relacionado com as altas frequências e o outro com a potencial deterioração dos componentes originada por um ataque de fungos comuns num clima húmido como o da Malásia. O primeiro foi resolvido através da divisão da matriz de colunas em duas

metades com o sinal dirigido para uma secção volvida por frequências inferiores a 2500 Hz. É a partir desta frequência que o comprimento da coluna começa a ter um efeito marcante na resposta das frequências para pequenos ângulos.

Relativamente à deterioração, os componentes foram protegidos com um cone de plástico e uma película de látex à volta destes. Para evitar a propagação dos fungos foi criado um sistema de calor colocado junto aos altifalantes para baixar lentamente a humidade relativa.

A instalação do sistema de som possibilitou uma uniformização sonora e um nível de inteligibilidade excelente e natural nos vários espaços pertencentes à mesquita. No entanto, existiam quatro áreas protegidas pelos pilares do som directo proveniente do *cluster* havendo assim, má inteligibilidade da palavra. Para resolver esta questão pensaram em construir altifalantes localizados nas zonas de mármore nos cantos dos pilares mas, devido a aspectos arquitectónicos foi recusado. Posteriormente eles foram instalados perto desta zona atrás de grelhas decorativas. O problema relativamente à inteligibilidade da palavra nestas áreas era sério havendo mesmo quebra de 6 dB no nível sonoro.

Na zona frontal da sala de culto principal havia também problemas de inteligibilidade da palavra, proporcionados pela colocação de uma grelha de mármore em vez da grelha metálica recomendada pela equipa de consultoria acústica. Esta grelha impossibilitou o ganho de energia do sistema, sendo que a única solução para este problema foi desligar os altifalantes. Consequentemente, verificaram a existência de problemas de inteligibilidade nas primeiras filas porque não recebiam som directo e recebiam uma grande quantidade de energia atrasada proveniente da parede traseira da sala. Assim, para resolver o problema recomendaram a substituição das grelhas de mármore por grelhas metálicas e a adequação das componentes do sistema à voz do Imã.

4.3. ESTUDO 2: MESQUITA *KING ABDULLAH*

4.3.1. DESCRIÇÃO

A caracterização acústica da mesquita *King Abdullah* foi elaborada em 1991 por Abdelazeez, Hammad e Mustafa na Faculdade de Engenharia e Tecnologia da Universidade da Jordânia situada na cidade de Amman [2]. O objectivo deste trabalho consistiu em corrigir os problemas acústicos existentes nessa mesquita (Figuras 4.4 e 4.5) construída então relativamente há pouco tempo nesta mesma cidade.

Os problemas acústicos estavam associados a um tempo de reverberação excessivo, a um nível sonoro ambiente elevado e a um nível de percepção da palavra muito baixo levando a condições acústicas não adequadas ao espaço.

Os autores fazem referência a um outro estudo realizado por Hammad em trinta mesquitas na cidade de Amman em que se obtiveram tempos de reverberação que variavam entre 3 e 8 s enquanto que o RASTI apresentava valores entre 0,35 e 0,70 [2]. Assim, concluíram que aquando a construção daquelas não tiveram em linha de conta os aspectos acústicos levando a uma inteligibilidade da palavra muito pobre.

A mesquita *King Abdullah* apresenta uma forma octogonal com uma diagonal de 45 m, uma cúpula com um diâmetro de 38 m e um pé-direito ao centro da cúpula de 32 m, não existindo colunas de suporte no interior da mesquita. No exterior é possível encontrar um pátio, dois minaretes e a sala de culto das mulheres. A mesquita tem 5 portas, 16 janelas e ainda 64 janelas de vidro na cúpula, o pavimento era constituído por azulejos. Na parede voltada para Meca havia uma área de 100 m² constituída por mármore, entre outros objectivos, tinha como finalidade reflectir o som para a

audiência. Esta mesquita está localizada entre duas ruas movimentadas e apresenta um volume interior de 34000 m³ (Figuras 4.4 e 4.5).



Figura 4.4 - Exterior da Mesquita *King Abdullah*, Amman, Jordânia [90].



Figura 4.5 - Interior da Mesquita *King Abdullah*, Amman, Jordânia [91].

4.3.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Os valores dos tempos de reverberação medidos na mesquita antes da intervenção podem ser visualizados no Quadro 4.1. Este apresenta um intervalo de medições associado a cada gama de frequências e numa terceira coluna optou-se por colocar o valor médio de cada intervalo. Pode-se verificar que para as frequências médias a mesquita apresenta um valor do tempo de reverberação de aproximadamente 19 s, sendo muito superior ao valor recomendável de 1 s por Mackenzie, no estudo da acústica de auditórios, para um espaço com o mesmo volume e cuja a inteligibilidade da palavra tem também uma importância significativa [92].

Quadro 4.1 – Tempos de Reverberação medidos na mesquita *King Abdullah* antes do tratamento acústico [Adaptado de 2].

Banda de Oitava (Hz)	TR (s) (intervalo dos valores medidos)	TR (s) (valor médio dos intervalos)
125	[18,5; 31,0]	24,8
250	[19,0; 29,0]	24,0
500	[20,0; 22,5]	21,3
1000	[18,0; 19,0]	18,5
2000	[13,5; 15,0]	14,3
4000	[6,5; 9,0]	7,8
8000	[4,0; 5,0]	4,5

Após as respectivas correcções nas superfícies interiores o tempo de reverberação nas médias frequências baixou para um valor próximo dos 2 s (Figura 4.6). Nesta mesma figura podem-se visualizar diversos gráficos com valores recomendados para igrejas com um volume de 18000 m³ ou 90000 m³ e, um outro gráfico com os valores recomendados para salas de leitura com o mesmo volume da mesquita. Pode-se concluir que os valores de tempo de reverberação calculados para a mesquita (sala ocupada) apresentam algumas discrepâncias com os valores obtidos nas medições (sala desocupada), uma vez que foram obtidos para situações de ocupação distintas. Estes valores seguem muito de perto os valores recomendados para uma sala de leitura com o mesmo volume e para a

situação de sala desocupada. O valor do tempo de reverberação quando a sala está cheia tende a diminuir para perto de 1,5 s.

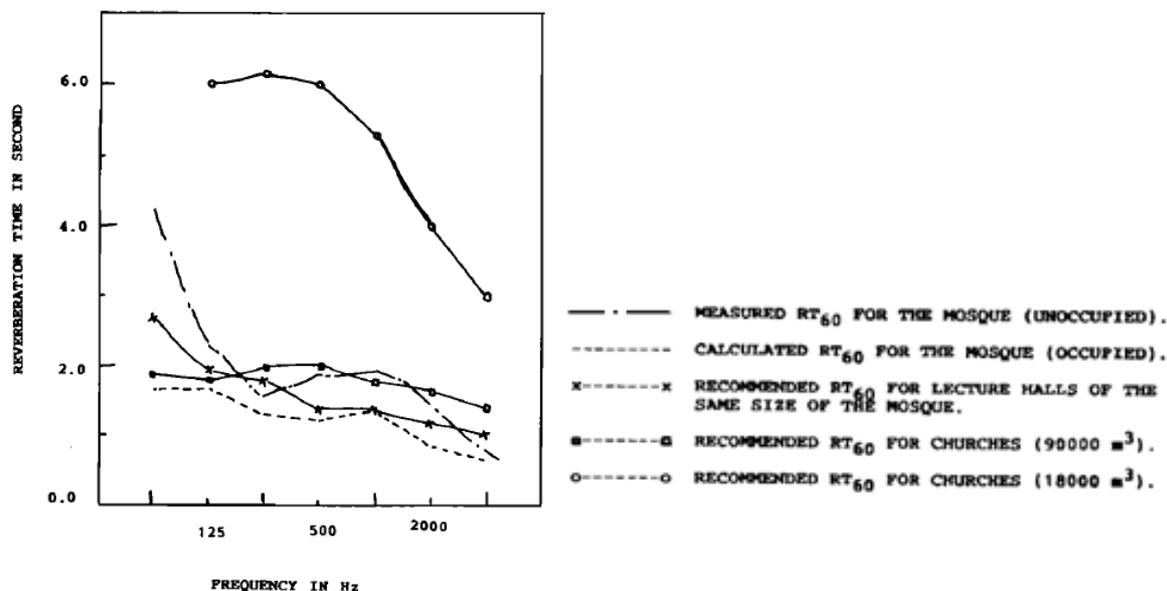


Figura 4.6 – Tempos de reverberação recomendados para algumas situações e os medidos na mesquita *King Abdullah* após tratamento acústico [Adaptado de 2].

4.3.3. NÍVEL SONORO E RASTI

O nível sonoro é outro parâmetro muito importante nesta mesquita. O facto de estar situada entre duas ruas principais possibilita ao ruído de tráfego ganhar uma importância significativa no estudo em relação ao isolamento sonoro do edifício. As medições efectuadas antes das respectivas correcções acústicas apresentavam um nível sonoro no exterior de 80 dB(A) e no interior de 58 dB(A), estimando-se assim uma redução sonora de 20 dB. Estes valores estão directamente relacionados com o fraco isolamento sonoro do edifício, principalmente nas zonas das janelas e portas e, por outro lado, a baixa absorção sonora dos materiais que revestem as superfícies do espaço.

Após o tratamento acústico foi reduzido o ruído de fundo para 40 dB(A) possibilitando uma melhoria da inteligibilidade. As medições do parâmetro RASTI indicam valores superiores a 0,7 revelando um bom nível de inteligibilidade da palavra. A opinião das pessoas relativamente ao nível de percepção da palavra foi favorável.

4.3.4. SOLUÇÕES PROPOSTAS

As soluções passaram por aumentar a absorção sonora das paredes, cúpula e pavimento do espaço, e melhorar o isolamento sonoro das portas e janelas.

O tratamento das superfícies (Figura 4.7) foi feito usando materiais adaptáveis à estrutura complexa e ao mesmo tempo permitindo uma conexão ao mundo islâmico. A escolha dos materiais foi feita com base nos resultados obtidos através de dois tipos de ensaios: tubo de ondas estacionárias e câmara reverberante.

No caso do pavimento a colocação de tapetes constitui uma das principais contribuições para melhorar o ambiente acústico. Este material apresenta um coeficiente de absorção sonora entre 0,56 e 0,70 nas frequências entre 600-3000 Hz. Em relação às paredes existem dois tipos: as verticais e as inclinadas. Estas últimas em conjunto com a cúpula transmitem grande parte da energia para o pavimento que por

sua vez, influencia a qualidade do discurso. Assim, estes dois elementos sofreram o mesmo tratamento acústico sendo que a cúpula foi o elemento mais difícil de tratar devido à sua extensa área, à sua forma curva conhecida por focalizar os efeitos sonoros e à sua pequena capacidade de absorção sonora. Inicialmente pensou-se em substituir a cúpula mas devido aos custos, durabilidade, peso, coloração e fixação optou-se por colocar gesso cartonado. Este material apresenta ainda uma boa capacidade de fixação e de adaptação à forma curva da cúpula. No caso das paredes, optou-se por colocar um elemento constituído por três camadas: uma caixa-de-ar de 50 mm, uma camada de isolamento de lã mineral de 50 mm e, por fim uma placa de gesso cartonado de 8 mm com uma taxa de perfuração de 24% proporcionando um coeficiente de absorção sonora na frequência dos 1000 Hz de 0,95. Na parede voltada para Meca resolveu-se acrescentar à zona do mármore, com uma altura de 2 m, elementos decorativos em madeira sustentada por uma camada de lã mineral e uma caixa-de-ar ambas com 50 mm de espessura.

Relativamente às janelas presentes na cúpula optaram por colocar janelas duplas.

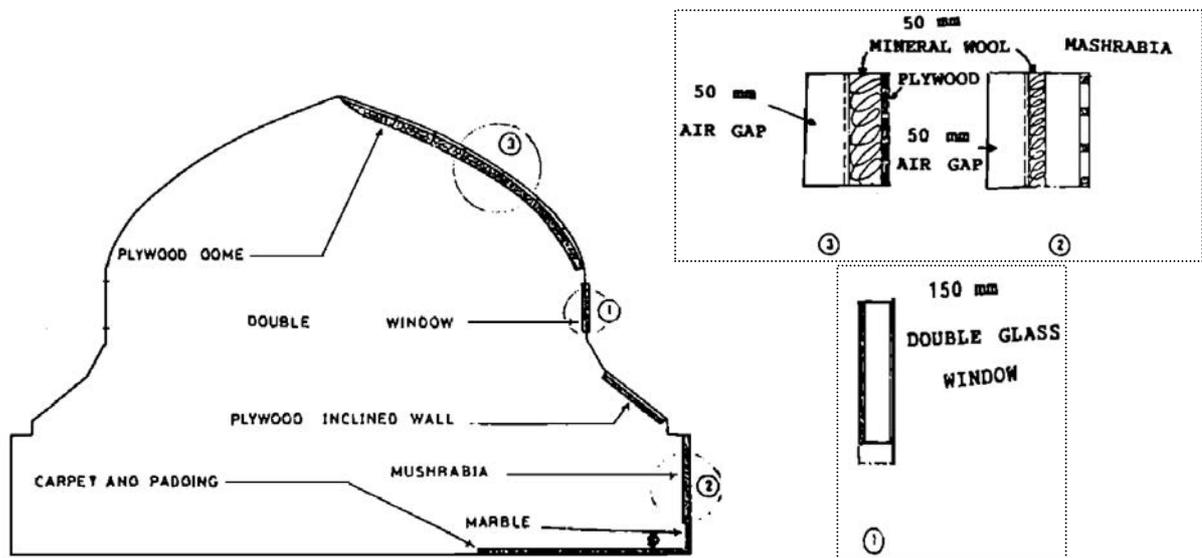


Figura 4.7 – Tratamento das diferentes superfícies, cúpula, paredes verticais e inclinadas e respectivos pormenores na mesquita *King Abdullah* [2].

Em relação ao sistema electroacústico, este foi utilizado para uniformizar o nível sonoro dentro e fora da mesquita com variações máximas de 2 dB. Relativamente ao orador, este localiza-se a 2 m da parede orientada para Meca e os ouvintes podem se encontrar em qualquer ponto dentro e fora da mesquita. Os altifalantes dentro da mesquita foram colocados a 10 m do chão e estavam direccionados para o centro da mesquita, e os externos foram instalados na parede a uma altura de 10 m direccionados para a zona do pátio. Também foram instalados altifalantes na sala de culto das mulheres.

4.4. ESTUDO 3: MESQUITA DO ESTADO DO KUWAIT

4.4.1. DESCRIÇÃO

Em 1998 foi elaborado um estudo por Hamadah e Hamouda referente à mesquita do *Estado do Kuwait* (Figuras 4.8 e 4.9) com o objectivo de proceder a algumas alterações na disposição do equipamento electroacústico de forma a melhorar a inteligibilidade da palavra [3].

A mesquita situa-se perto do centro da cidade do Kuwait. Aquela tem um minarete, uma cúpula central, 96 janelas e ainda 44 pequenas cúpulas de mármore transparente. Relativamente aos materiais incorporados nas superfícies interiores podem-se encontrar azulejos, mármore a cobrir os quatro pilares e as paredes. Estes elementos são dispostos simetricamente no espaço sendo caracterizados por uma caixa-de-ar de 3 cm entre os revestimentos e o betão. Relativamente ao pavimento, este é constituído por tapetes. Existem ainda 16 portas que separam esta sala da sala de oração diária. Esta mesquita apresenta um volume de 150000 m³.

Em relação ao sistema electroacústico, inicialmente existiam 50 colunas distribuídas uniformemente ao longo das paredes e à volta dos quatro pilares. A alteração imposta a este sistema consistiu na distribuição das 50 colunas em quatro grupos espaçados igualmente à esquerda e à direita da posição do orador. A sala de culto das mulheres contém 21 colunas distribuídas a longo dos lados da sala.



Figura 4.8 - Exterior da Mesquita do *Estado do Kuwait* [93].



Figura 4.9 - Interior da Mesquita do *Estado do Kuwait* [94].

4.4.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O tempo de reverberação medido na sala por bandas de frequências é apresentado na Figura 4.10. Pode-se observar que a sala apresenta tempos de reverberação elevados principalmente nas baixas frequências devido aos altos coeficientes de reflexão.

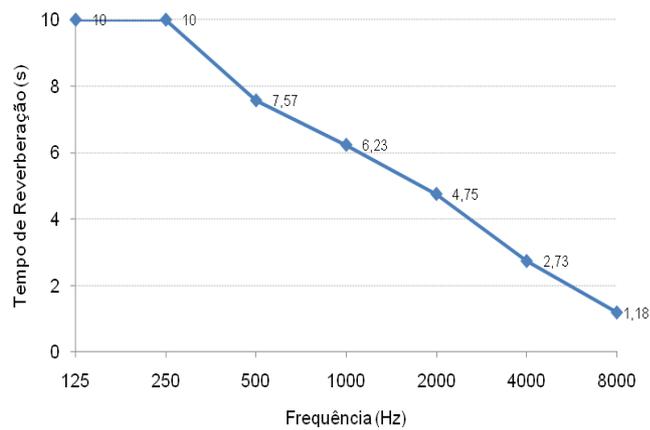


Figura 4.10 - Tempo de reverberação medido na mesquita do *Estado do Kuwait* por banda de frequência [Adaptado de 3].

4.4.3. RASTI

O RASTI foi medido nas salas de culto principal e das mulheres. Na sala de culto principal foram efectuadas medições com e sem o sistema de som a funcionar, enquanto que na das mulheres mediu-se unicamente com o sistema de som a funcionar.

Nas Figuras 4.11, 4.12 e 4.13 é possível visualizar os valores de RASTI e as classes de inteligibilidade da palavra com a disposição inicial das colunas. Analisando as Figuras 4.11 e 4.12 pode-se verificar que a disposição do sistema de som não é apropriada, uma vez que revela níveis de inteligibilidade da palavra em grande parte da sala inaceitáveis. Relativamente à sala de culto das mulheres (Figura 4.13), esta apresenta valores muito baixos de RASTI proporcionando uma má percepção da palavra.

Estes valores devem-se à localização do equipamento de mistura de som ser a 120 m dos microfones (na posição do Imã) com o acréscimo da interferência provocada pelo ruído de fundo. Por outro lado, a disposição dos quatro grupos de colunas num quadrado provocou um espalhamento de sombras acústicas atrás dos pilares aumentando os campos de difusão das ondas sonoras, levando à ambiguidade em certas áreas da sala principalmente na zona traseira da sala perto da sala das mulheres.

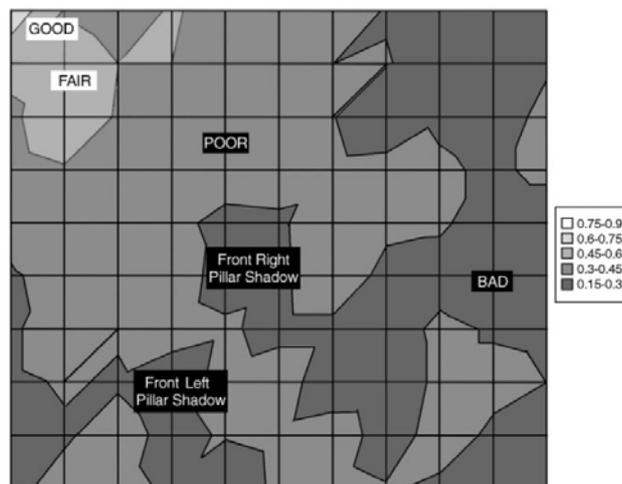


Figura 4.11 - Medições do RASTI na sala de culto principal da mesquita do *Estado do Kuwait* sem o equipamento electroacústico a funcionar. A parede esquerda corresponde à *Quibla* (orientada para Meca) [3].



Figura 4.12 - Medições do RASTI na sala de culto principal da mesquita do *Estado do Kuwait* com o equipamento electroacústico a funcionar para a disposição inicial. A parede localizada superiormente na imagem corresponde à *Quibla* (orientada para Meca) [3].



Figura 4.13 - Medições do RASTI na sala de culto das mulheres da mesquita do *Estado do Kuwait* com o equipamento electroacústico a funcionar para a disposição inicial [3].

As soluções propostas passaram pela deslocação do equipamento de controlo sonoro da sala, do piso para uma mesa perto dos microfones, passando de uma distância inicial de 120 m para apenas 25 m. Por outro lado foi proposto a instalação de um novo sistema electroacústico com características mais adequadas. Uma outra solução passou pela orientação dos altifalantes para o pavimento de forma evitar as reflexões originadas pelo mármore. Estes estão dispostos em linhas sendo, por outro lado, possível regular a potência de cada um. Cada linha de altifalantes é alimentada separadamente por um amplificador e um equalizador. A análise do espectro a tempo real foi usada para monitorizar e controlar os objectivos.

As Figuras 4.14 e 4.15 mostram aos valores do RASTI obtidos para esta nova disposição para as duas salas de culto.

As novas medições foram efectuadas aproximadamente nos mesmos pontos que as medições anteriores. Cada ponto foi calculado através da média das três leituras realizadas verificando-se uma

melhoria das condições de inteligibilidade. Na sala de culto das mulheres passou-se de condições de má percepção para aceitável. Enquanto que na sala de culto principal verificaram-se melhorias, também para um nível aceitável, havendo mesmo zonas em que a inteligibilidade passou a ser boa. A única maneira de melhorar as condições acústicas na sala das mulheres passaria por isolá-la da dos homens através, por exemplo, de painéis de vidro ao longo da área aberta entre as duas salas.

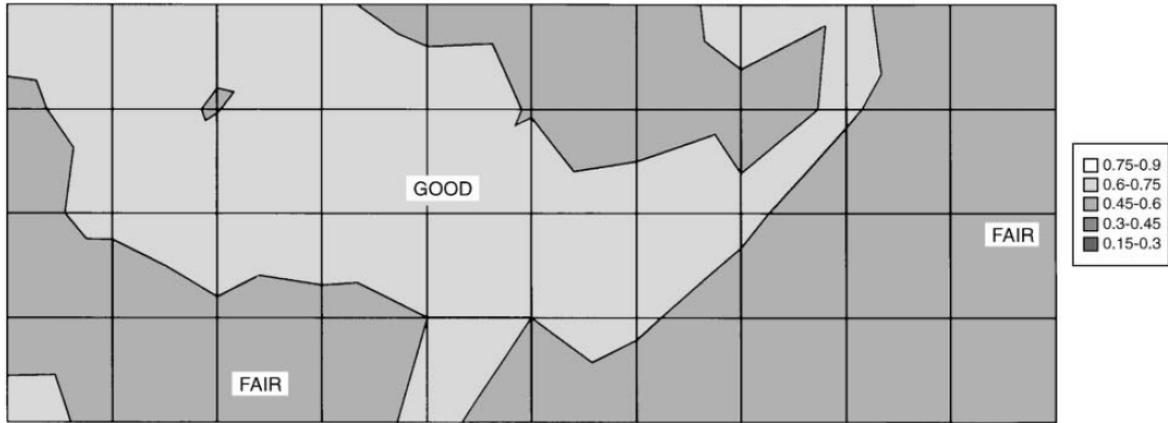


Figura 4.14 - Medições do RASTI na sala de culto principal da mesquita do *Estado do Kuwait* com o equipamento electroacústico a funcionar para a nova disposição. A parede localizada superiormente na imagem corresponde à *Quibla* (orientada para Meca) [3].

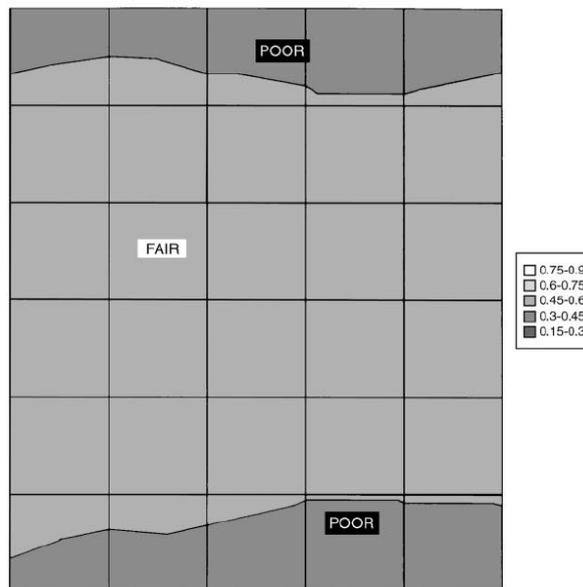


Figura 4.15 - Medições do RASTI na sala de culto das mulheres da mesquita do *Estado do Kuwait* com o equipamento electroacústico a funcionar para a nova disposição. A parede esquerda corresponde à *Quibla* (orientada para Meca) [3].

4.5. ESTUDO 4: COMPARAÇÃO DE MESQUITAS E IGREJAS BIZANTINAS

4.5.1. DESCRIÇÃO

O estudo de comparação da acústica de mesquitas e igrejas bizantinas foi realizado em 2000 pelo Departamento de Engenharia da Universidade de Ferrara em Itália por Fausti, Pompoli e Prodi [4]. As mesquitas seleccionadas para este estudo apresentam uma forma aproximadamente quadrática e

foram: *Suleymanie* (Figuras 4.16 e 4.17), *Selymie* (Figuras 4.18 e 4.19) e *Sokullu* (Figuras 4.20 e 4.21) localizadas em Istambul, sendo que os volumes interiores das mesquitas são de aproximadamente 115000 m³, 79300 m³ e 5700 m³, respectivamente.

As medições foram efectuadas em duas alturas distintas: em Maio de 2000 na mesquita de *Sokullu* e em Dezembro de 2000 nas mesquitas *Suleymanie* e *Selymie*.

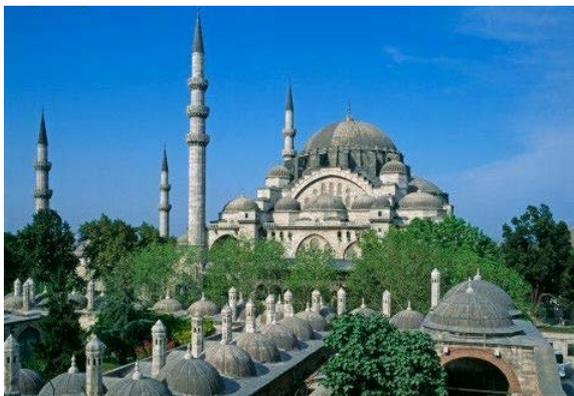


Figura 4.16 - Exterior da mesquita *Suleymanie*, Istambul [Adaptado de 95].



Figura 4.17 - Interior da mesquita *Suleymanie*, Istambul [Adaptado de 96].



Figura 4.18 - Exterior da mesquita *Selymie*, Istambul [97].



Figura 4.19 - Interior da Mesquita *Selymie*, Istambul [98].



Figura 4.20 - Exterior da Mesquita *Sokullu*, Istambul [99].



Figura 4.21 - Interior da Mesquita *Sokullu*, Istambul [Adaptado de 100].

Estas mesquitas são caracterizadas por uma cúpula central e por um amplo volume proporcionado pelo pé-direito e pelas dimensões em planta consideráveis. Em redor é possível encontrar arcos ligados aos pilares surgindo assim, galerias e varandas. O tecto e as paredes são constituídos por materiais com uma baixa absorção sonora como gesso, mármore, pedra e cerâmicos decorativos. Contudo, o pavimento de pedra é completamente coberto por tapetes.

No interior da sala de culto foram escolhidos pontos estratégicos para colocar os receptores na área principal, nas galerias e nas varandas de forma a cobrir as áreas mais significativas ocupadas pela congregação. Relativamente à fonte, esta foi colocada nos pontos da sala onde o Imã lidera os diferentes modos de culto. As medições foram efectuadas com um pequeno grupo de investigadores e de turistas dentro da sala, contudo, os resultados das medições devem ser encarados para a situação de sala desocupada.

Usou-se o mesmo procedimento nas medições em todas as mesquitas. As fontes sonoras e os receptores foram colocadas acima do solo a 1,25 m e a 1,10 m, respectivamente. Os dois receptores foram colocados lado a lado numa proximidade de 0,7 m para minimizar a influência mútua, sendo que o cálculo dos parâmetros acústicos foi feito com base no sinal emitido por uma fonte omnidireccional.

Numa fase posterior incluiu-se no estudo a Igreja S. Sergius & S. Bacchus (Figura 4.22 e 4.23) que em tempos foi usada como mesquita, e hoje é um conhecido museu chamado *Little Haghia Sophia*. Este espaço apresenta um volume aproximado de 14900 m³. Como é óbvio, o comportamento acústico desta igreja é marcado pela existência de tapetes no pavimento.

Atendendo ao objectivo desta dissertação não se abordarão os aspectos referentes às igrejas bizantinas.



Figura 4.22 - Exterior da Igreja S. *Sergius & S. Bacchus*, Istambul [101].



Figura 4.23 - Interior da igreja S. *Sergius & S. Bacchus*, Istambul [Adaptado de 102].

4.5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Relativamente ao tempo de reverberação nas médias frequências, na Figura 4.24 é possível verificar que este cresce com o volume do espaço. As duas curvas a tracejado representam os valores para uma sala de concertos na situação de estar ocupada (curva inferior) ou desocupada (curva superior). Pode-se verificar que o tempo de reverberação para as médias frequências nas mesquitas é uma recta paralela à da sala de concertos desocupada. Ao lado do gráfico encontra-se a equação que permite prever o tempo de reverberação através do volume com base nas medições efectuadas na mesquita.

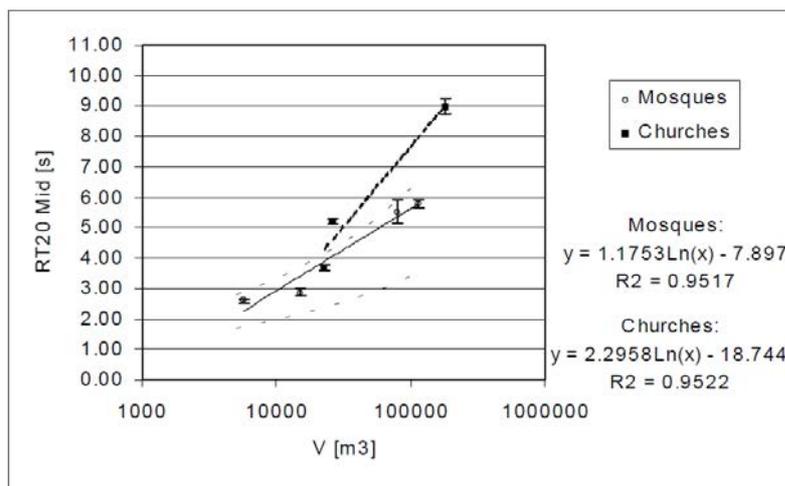


Figura 4.24 - Valores do Tempo de Reverberação em função do volume e respectivas funções de regressão [4].

Na Figura 4.25 apresentam-se os tempos de reverberação por gama de frequência para cada mesquita. Assim, os tempos de reverberação mais altos estão associados às baixas frequências. Pode-se por outro lado, agrupar as curvas em dois tipos, uma associada a mesquitas com um volume maior (*Suleymanie* e *Selymie*) e outra a volumes menores (*Sokullu* e *S. Sergius & S. Bacchus*). Para o primeiro grupo verifica-se um decréscimo acentuado dos valores do tempo de reverberação quando se passa da frequência de 500 Hz para a de 2000 Hz, provocando um efeito tímbrico particular no espaço. Nas mesquitas com volume mais pequenas este efeito é pouco acentuado. Para frequências altas verificam-se baixos tempos de reverberação associados à existência de tapetes a cobrir todo o pavimento.

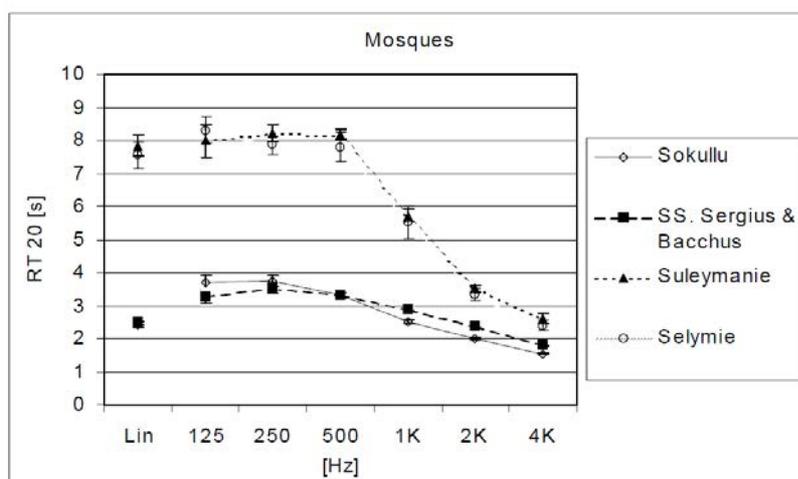


Figura 4.25 - Valores do Tempo de Reverberação por gama de frequência para as respectivas mesquitas em estudo [4].

4.5.3. NÍVEL DE ACRÉSCIMO DE INTENSIDADE SONORA

Os valores de acréscimo de intensidade sonora face a uma situação anecóica (ao ar livre), G , que se podem visualizar na Figura 4.26 foram obtidos através da média das medições para as várias posições da fonte e do receptor. Neste gráfico, para cada gama de frequência, é ainda possível visualizar uma barra com os respectivos desvios padrão associados a cada ponto. Pode-se verificar que o nível de acréscimo de intensidade sonora diminui com o aumento do volume e, por outro lado, a função logarítmica apresenta um bom coeficiente de regressão. Os valores apresentados são aceitáveis apenas

para as mesquitas mais pequenas e em geral, para uma pequena distância, permitem um grau de comunicabilidade aceitável sem a ajuda de equipamentos electroacústicos. É importante referir que estes valores variam de acordo com a posição do receptor e tendem a diminuir quando se afasta da fonte sonora.

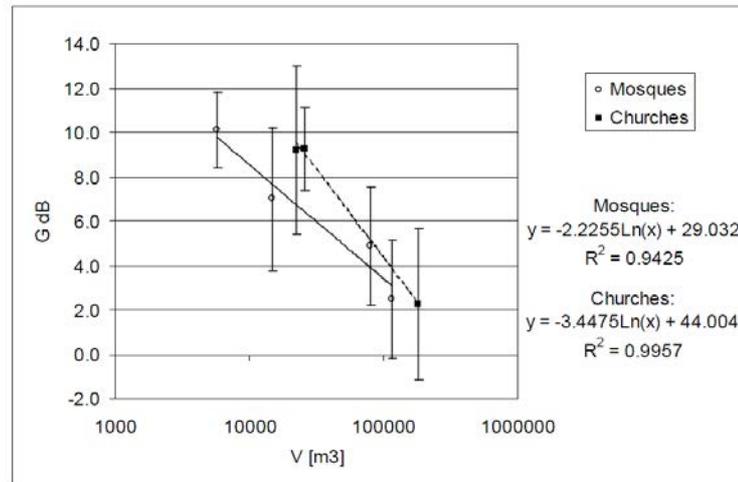


Figura 4.26 - Valores do parâmetro G para igrejas e mesquitas e respectivas funções de regressão [4].

4.5.4. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DO PAVIMENTO

Atendendo à importância das características de absorção sonora do pavimento nas mesquitas, neste estudo testaram vários tipos de pavimento, desde a aplicação directa dos tapetes no pavimento ou sobre uma estrutura de madeira, ou ainda, a colocação de uma caixa-de-ar vazia ou preenchida com material com propriedades térmicas. Assim, concluiu-se que a colocação directa dos tapetes apresentava uma boa absorção sonora (0,3-0,6) nas médias e altas frequências. No caso de se colocar os tapetes sobre uma estrutura de madeira com caixa-de-ar, verifica-se uma ligeira melhoria no coeficiente de absorção sonora do pavimento (0,2) na gama das baixas frequências.

4.6. ESTUDO 5: MESQUITAS DA ARÁBIA SAUDITA

4.6.1. DESCRIÇÃO

Na Arábia Saudita as mesquitas apresentam dimensões muito variáveis e variam muito nos sistemas de ar condicionado e electroacústicos implementados, no entanto, aspectos como a forma, o sistema de construção e os materiais de construção costumam variar muito pouco. Foi isto que o estudo de Abdou de 2003 pretendeu avaliar [5].

Aquelas são construídas normalmente em betão armado com tectos planos, sendo estes suportados por colunas dispostas no espaço sobre a forma de grelha. A cúpula cobre a zona central e as paredes são normalmente rebocadas e pintadas, podendo por vezes, encontrar-se elementos como azulejos e mármore. Em relação ao pavimento, este é composto por tapetes enquanto que o tecto é normalmente em betão, rebocado e pintado, tendo alguns elementos decorativos muito variáveis.

Devido às condições climáticas existentes na Arábia Saudita, a maior parte das mesquitas possuem sistemas de ar condicionado. As mesquitas também têm instalados sistemas de reforço electroacústicos (SRS) para melhorar as condições de audibilidade.

Neste estudo foram consideradas 90 mesquitas, sendo uma amostra representativa das mesquitas na Arábia Saudita. Após esta selecção procederam à caracterização física, à recolha de informações gerais como por exemplo se era usado para as orações diárias (D), *Salat* e, ou para o sermão de Sexta-feira (F), *Khutba*. Assim, seleccionou-se uma amostra de 21 mesquitas com base nos aspectos comuns, na acessibilidade, na proximidade entre mesquitas para facilitar a movimentação dos equipamentos necessários para realizar as medições. O procedimento utilizado nas medições foi o mesmo em todas as mesquitas.

As mesquitas foram agrupadas em cinco categorias com base no número de estruturas, no comprimento, largura, pé-direito, área, volume e capacidade congregacional.

No Quadro 4.2 estão apresentados os cinco grupos, sendo o grupo A constituído por mesquitas locais muito pequenas, com um volume inferior a 1000 m³, o B é composto por mesquitas pequenas com um volume compreendido entre 1000 e 1500 m³. No grupo C podem-se encontrar as mesquitas médias com um volume entre 1500 e 2000 m³, no D estão as mesquitas grandes cujo volume varia entre 2000 e os 3000 m³ e por fim, no grupo E encontram-se as mesquitas muito grandes com um volume superior aos 3000 m³. O volume das mesquitas variava desde os 630 m³ aos 3000 m³ apresentando uma capacidade congregacional desde os 140 aos 800 crentes. A forma das mesquitas, por sua vez, varia desde um quadrado a um rectângulo alongado.

Existe ainda um último grupo, o F, constituída por uma única mesquita com um volume superior a 10000 m³ e uma ocupação de 2800 pessoas, usada somente para o sermão de Sexta-feira. Os parâmetros estatísticos foram calculados excluindo o grupo F.

Quadro 4.2 - Características físicas das mesquitas seleccionadas na Arábia Saudita. [Adaptado de 5].

Número	Código da Mesquita	Modos de culto	Volume (m ³)	Área (m ²)	Grupos
1	TH16	D	520	133	A
2	TH32	D	588	131	
3	DM242	D	675	150	
4	TH27	D	747	162	
5	TH48	D	1203	361	
6	DM16	FD	1218	287	B
7	DM260	D	1245	270	
8	KH45	D	1371	244	
9	KH17	FD	1405	311	
10	KH03	FD	1561	332	C
11	TH42	D	1776	444	
12	KH12	D	1951	465	
13	DH14	FD	1994	453	
14	DM125	D	2025	375	D
15	KH59	FD	2081	368	
16	TH06	FD	2200	595	
17	DM06	FD	2505	507	
18	DH03	FD	5105	844	E
19	TH13	FD	6286	1254	
20	TH01	FD	7034	1556	
21	DM43	F	23390	2704	F

D – Culto Diário; F – Culto às Sexta-feiras

A fonte sonora localizou-se no centro do nicho (*Mihrab*) a um metro da parede voltada para Meca, *Quibla*, a uma distância de 1,55 m da audiência.

Com base na forma e na área da mesquita foram seleccionados alguns pontos para efectuar as medições. Na Figura 4.27 é possível visualizar as várias formas das mesquitas sujeitas a medições organizadas por grupos de análise. É importante ainda referir que as medições foram somente realizadas em metade das salas, visto elas serem simétricas. Os pontos medidos localizavam-se na zona da frente, centro e retaguarda da sala. Estes pontos também foram seleccionados tendo em conta a localização do sistema de ar condicionado e do SRS. Os ouvintes foram considerados a uma altura de 1,65 m quando estão de pé e 0,85 m quando sentados nos tapetes representando os dois modos de culto. As medições foram efectuadas com a mesquita desocupada. Foi também medido o ruído de fundo com e sem o sistema AVAC e, ou ventoinhas a funcionar. Por fim, recorreram às curvas NC para avaliar o nível de ruído associado a estes equipamentos.

Em relação ao sistema SRS, nas mesquitas analisadas era usual encontrar três ou mais microfones para captar a voz do Imã, amplificadores, alguns altifalantes, mesa de mistura e equalizador. Mas estes sistemas dependem ainda da potência acústica, da qualidade das componentes, da orientação dos altifalantes e do tempo de reverberação. O objectivo destas medições consistiu na avaliação dos sistemas implementados em cada mesquita.

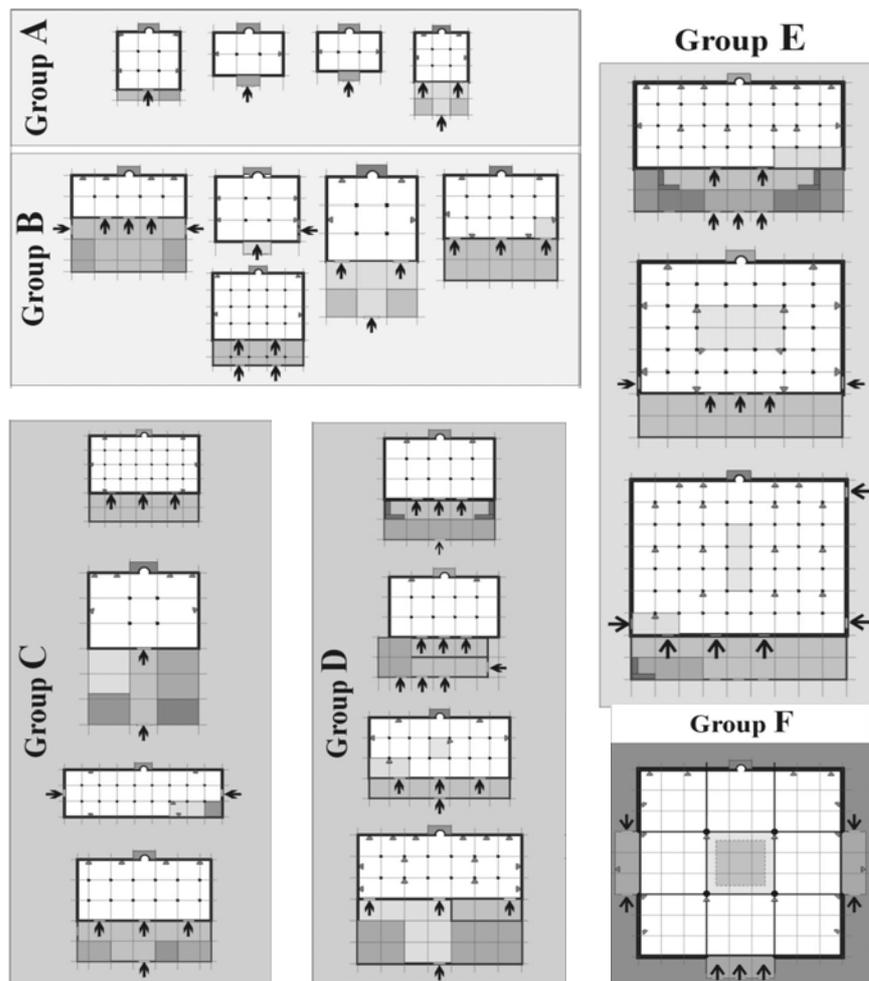


Figura 4.27 – Configuração das várias mesquitas da Arábia Saudita por grupo de análise [5].

4.6.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O tempo de reverberação ideal para uma mesquita, segundo este autor, situa-se por volta dos 0,9 segundos. No entanto, uma mesquita quando não está lotada pode apresentar um tempo de reverberação elevado. O autor refere que na literatura não existem valores específicos para o coeficiente de absorção das pessoas estando de pé ou sentadas. O autor assume que quando as pessoas estão ordenadas por filas afastadas de 1,2 m a absorção por m² é de 0,4 nas médias frequências (500 e 1000 Hz). Contudo, na publicação do LNEC, ITE 8, podem-se encontrar os valores da área de absorção sonora equivalente por bandas de frequência para uma pessoa de pé. O coeficiente de absorção sonora por pessoa, nas médias frequências, é de 0,43 m² [103]. O tempo de reverberação da mesquita quando está cheia ronda os 0,82 s, quando está dois terços ocupada é de 1,01 s e por fim, se estiver somente um terço ocupada pode rondar os 1,32 s. Assim, o tempo de reverberação óptimo encontra-se quando a mesquita está ocupada mais de dois terços.

Na Quadro 4.3 e na Figura 4.30 é possível visualizar os tempos de reverberação obtidos para os diferentes grupos de mesquitas em análise. Assim, para as médias frequências, (500-1000 Hz) o tempo de reverberação varia desde 1,1 a 2,1 s, sendo a média de 1,6 s com um erro-padrão de 0,4 s.

O tempo de reverberação médio das 20 mesquitas é um pouco superior ao limite superior recomendado por este autor para uma boa percepção da palavra. Verifica-se um tempo de reverberação elevado para as baixas frequências, sendo superior em 45% do tempo de reverberação verificado para as médias frequências com variações de 0,5 s para a frequência de 250 Hz. Estes valores podem prejudicar a percepção da palavra sendo recomendável segundo ele, somente um aumento entre 10-20% do tempo de reverberação nas médias frequências.

Quadro 4.3 - Tempo de Reverberação por banda de frequência para os respectivos grupos das mesquitas da Arábia Saudita em análise [Adaptado de 5].

Grupo	Banda de Frequência (Hz)								Média (500, 1000 e 2000 Hz)
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Média (500-1000 Hz)	
A	2,79	2,54	2,28	1,64	1,18	1,10	0,77	2,0	1,7
B	2,26	1,71	1,37	1,25	1,19	1,10	0,86	1,3	1,3
C	2,26	1,36	0,97	1,32	1,42	1,31	1,06	1,1	1,2
D	2,66	2,13	1,83	1,49	1,36	1,20	0,89	1,7	1,6
E	2,89	2,70	2,44	1,95	1,69	1,50	1,08	2,1	2,0
F	2,91	2,74	2,85	2,47	1,91	1,56	1,01	2,6	2,4
Mínimo	2,30	1,40	1,00	1,20	1,20	1,10	0,80	1,1	1,2
Média	2,60	2,10	1,80	1,50	1,40	1,20	0,90	1,6	1,6
Máximo	2,90	2,70	2,40	1,90	1,70	1,50	1,10	2,1	2,0
Erro-Padrão	0,30	0,50	0,50	0,20	0,20	0,20	0,10	0,4	0,3

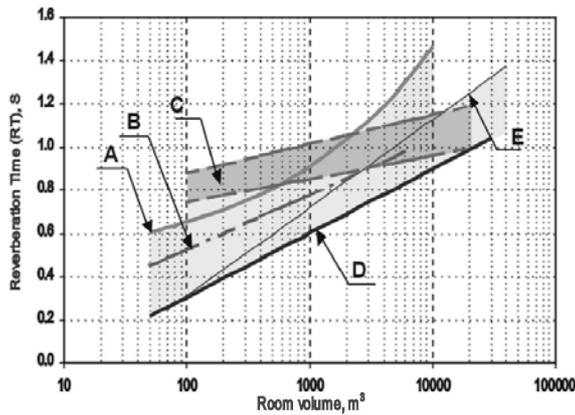


Figura 4.28 – Tempo de Reverberação recomendado em função do volume das mesquitas por vários autores: A (para sala grandes, Stephen & Bate; B (para a frequência de 500 Hz, Smith, Peters e Owen); C (para salas de conferência Templeton, Sacre, Mapp e Saunders); D (para as frequências médias: 500-1000 Hz, Stein e Reynolds); E (tempo de reverberação máximo para salas grandes, Stein e Reynolds) [5].

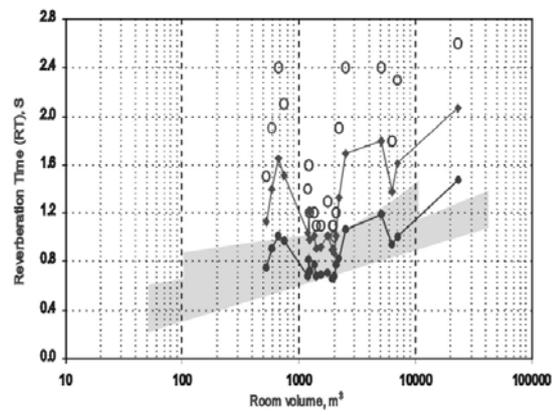


Figura 4.29 - Tempo de Reverberação para as frequências médias (500-1000 Hz) em função do volume quando está desocupada \circ , 1/3 ocupada \blacklozenge , 1/1 ocupada \bullet . Na zona a sombreado pode-se encontrar os valores ideais sugeridos na Figura 4.28 [5].

As Figuras 4.28 e 4.29 apresentam os valores de tempos de reverberação propostos por alguns autores.

Na Figura 4.28 podem-se visualizar os tempos de reverberação máximos ideais propostos em função do volume por cinco fontes diferentes. Na Figura 4.29, é possível encontrar os tempos de reverberação ideais para três tipos de ocupação (desocupada, 1/3 ocupada e totalmente ocupada).

O tempo de reverberação médio para a sala ocupada é obtido a partir das medições efectuadas quando esta está desocupada. Como se pode observar na Figura 4.30, poucas mesquitas têm valores próximos dos ideais, no entanto, as mesquitas com os valores mais próximos são as do grupo C para a situação de desocupada. Todas as mesquitas com a excepção da do Grupo F, quando estão totalmente ocupadas apresentam tempos de reverberação próximos dos desejados. Contudo, mais de metade das mesquitas apresentam valores superiores aos óptimos, mesmo quando estão com um terço da ocupação (ocupação normal para as orações *Salat*).

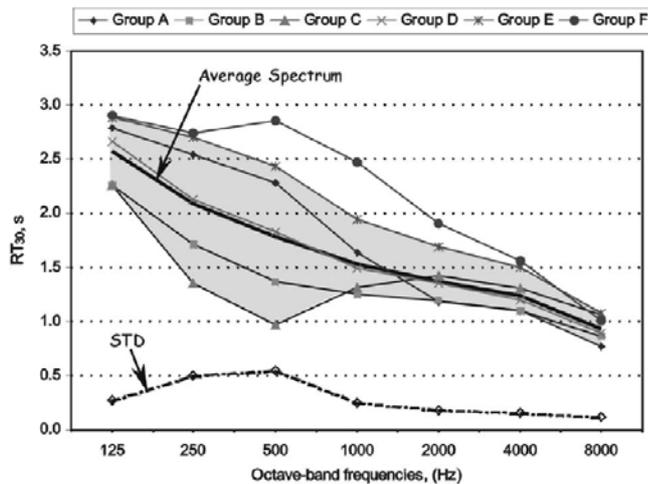


Figura 4.30 - Tempo de Reverberação por banda de frequência para os respectivos grupos de mesquitas da Arábia Saudita em análise [5].

4.6.3. NÍVEL SONORO

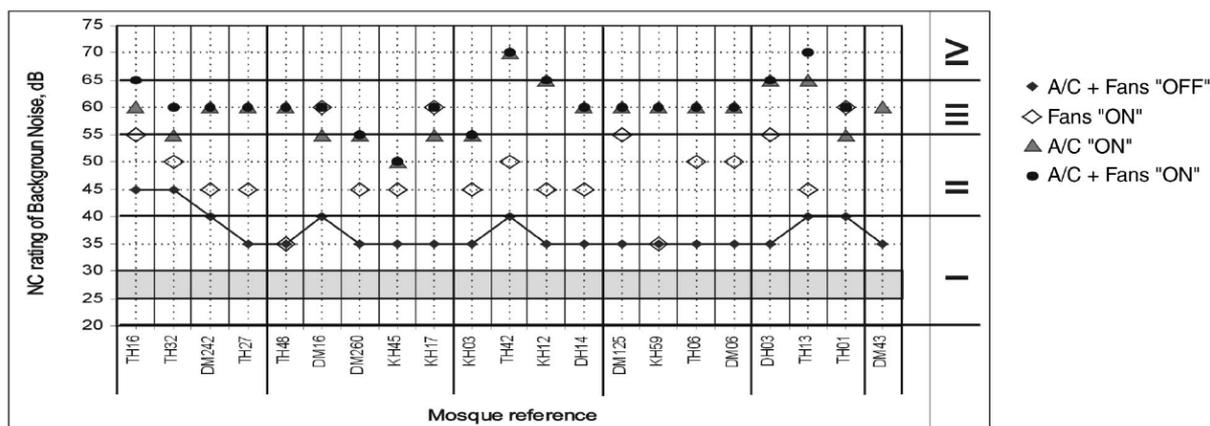
Para o nível sonoro, o autor efectuou quatro medições diferenciadas. A primeira foi efectuada sem o sistema de ar condicionado a funcionar e sem as ventoinhas obtendo-se assim, o ruído de fundo. Numa segunda medição mediu com o sistema de ar condicionado ligado, na terceira só com as ventoinhas a funcionar e por fim, mediu também com os dois equipamentos em funcionamento. Com os espectros obtidos, calculou pelo método das curvas NC, o nível de ruído introduzido. Os níveis NC recomendados para salas destinadas à palavra encontram-se entre as curvas NC25-30. Estes equipamentos aumentam consideravelmente os níveis de ruído no interior. Contudo, o mau isolamento sonoro, principalmente nas janelas e portas, possibilita o aumento do ruído de fundo devido aos ruídos externos. Os sistemas de iluminação mal instalados podem provocar ruídos extra.

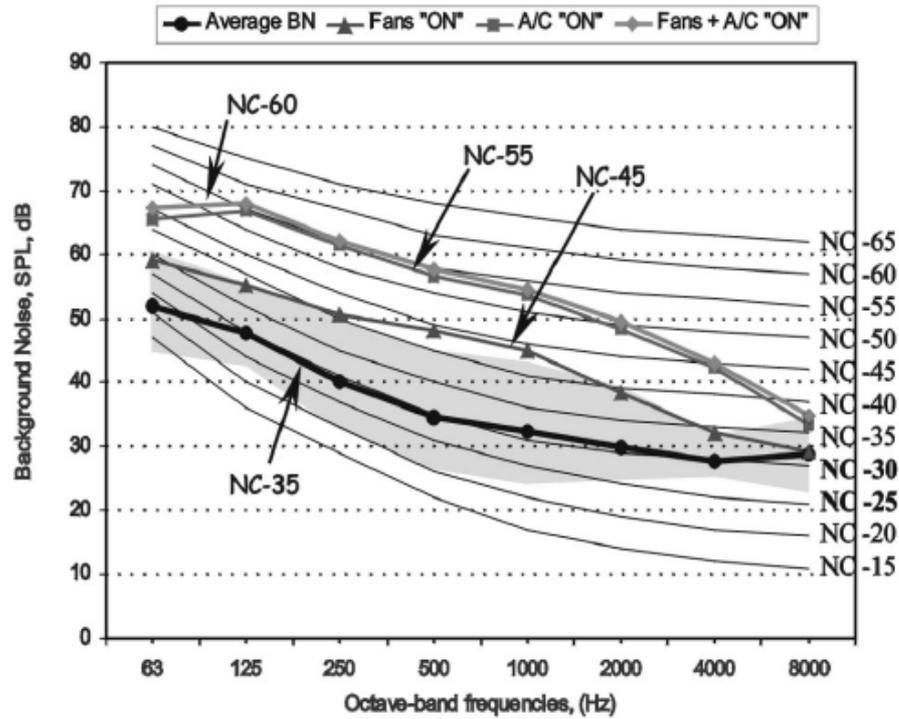
Na Figura 4.31 é possível visualizar os vários níveis de ruído por frequência para quatro situações: quando não existe nenhum equipamento a funcionar (*A/C + Fans "off"*), quando as ventoinhas estão a operar (*Fans "on"*), quando o sistema de ar condicionado está ligado (*A/C "on"*) e por fim, quando estes dois equipamentos estão a funcionar em simultâneo (*A/C + Fans "on"*). Pode-se ainda qualificar o espaço relativamente ao ruído.

No caso da Figura 4.32 é possível visualizar a aplicação do método *Noise Criteria*, obtendo assim, para a situação sem equipamentos, um NC35. Quando as ventoinhas estão ligadas este valor altera para NC45. No caso de se usar só o ar condicionado, o valor passa a ser NC55. Por fim, se estes os dois equipamentos estiverem em funcionamento obtém-se um NC60.

No Quadro 4.4 é possível encontrar os valores do nível sonoro para cada mesquita nas várias situações descritas no parágrafo anterior. Assim, pode-se verificar que todas as mesquitas apresentam valores superiores aos recomendados para salas cuja inteligibilidade da palavra é importante, provocando uma diminuição do nível de percepção da palavra ou mesmo incómodo às pessoas que estão a orar. Quando a mesquita não tem equipamentos a funcionar apresenta um ambiente moderadamente ruidoso, no entanto, o funcionamento dos equipamentos conduz a um ambiente muito ruidoso.

Figura 4.31 - Comparação do nível de ruído de fundo com os níveis NC para as diferentes condições de funcionamento dos equipamentos. I-muito silencioso a silencioso, II-moderadamente ruidoso a ruidoso, III-muito ruidoso, IV-extremamente ruidoso [5].





	L (dB)	L _A (dB)	NC
Mínimo	51,1	34,9	30
Média	58,2	40,1	35
Máximo	65,9	48,7	45
Erro-Padrão	3,6	3,5	-
Ventoinhas (<i>Fans</i>) ligadas ("on")	66,5	50,7	45
Ar condicionado (<i>A/C</i>) ligado ("on")	72,5	59,9	55
<i>Fans</i> + <i>A/C</i> "on"	75,1	61	60

Figura 4.32 - Média dos Níveis de Pressão Sonora do Ruído de Fundo por bandas de frequência das mesquitas da Arábia Saudita em análise em comparação com as curvas NC em diferentes situações de funcionamento dos equipamentos [Adaptado de 5].

Quadro 4.4 - Níveis de Ruído de Fundo para cada mesquita e respectivos valores NC para a situação de não haver nenhum equipamento a funcionar (RF), no caso das ventoinhas estarem ligadas (Vent.), no caso do ar condicionado estar a funcionar (A/C), e no caso dos dois equipamentos estarem a funcionar (A/C + Vent.)

[Adaptado de 5].

Código da Mesquita	Níveis de Ruído de Fundo		NC			
	L (dB)	L _A (dB)	RF	Vent.	A/C	A/C+Vent.
TH16	63,3	45,4	45	55	60	65
TH32	62,7	48,7	45	50	55	60
DM242	56,8	42,9	40	45	60	60
TH27	54,7	39,1	35	45	60	60
TH48	57,0	39,4	35	35	60	60
DM16	65,9	45,2	40	60	55	60
DM260	60,4	40,5	35	45	55	55
KH45	51,1	39,4	35	45	50	50
KH17	59,5	37,7	35	60	55	60
KH03	54,6	36,8	35	45	55	55
TH42	61,1	42,9	40	50	70	70
KH12	57,1	36,6	35	45	65	65
DH14	53,8	34,9	35	45	60	60
DM125	58,4	36,6	35	55	60	60
KH59	56,0	38,3	35	35	60	60
TH06	60,4	40,3	35	50	60	60
DM06	58,4	36,6	35	50	60	60
DH03	54,7	37,5	35	55	65	65
TH13	56,8	40,1	40	45	65	70
TH01	63,0	44,2	40	60	55	60
DM43	57,1	39,3	35	n.d.	60	n.d.

n.d. – não disponível

4.6.4. STI

As medições do STI (*Speech Transmission Index*) foram efectuadas com e sem o sistema SRS a funcionar. Verificou-se que o nível de inteligibilidade era mais baixo sem o sistema SRS em utilização. Na Figura 4.33 é possível visualizar a evolução do STI em função da distância orador-ouvinte com e sem o sistema SRS a funcionar. Com o sistema SRS a funcionar verifica-se uma tendência de uniformização do nível de inteligibilidade.

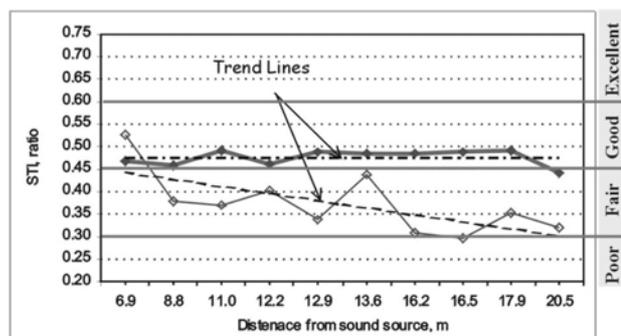


Figura 4.33 - Níveis de inteligibilidade da palavra, STI em função da distância orador-ouvinte com ♦ e sem ◊ utilização do sistema SRS para as mesquitas da Arábia Saudita [5].

Na Figura 4.34 é possível visualizar os valores do STI obtidos com e sem sistema SRS a funcionar e, com um traço vertical, está representado o valor médio da medição conduzida em cada mesquita. Como se pode ver nesta figura o nível de inteligibilidade sem o sistema SRS a funcionar varia desde o *pobre* ao *aceitável*, no entanto, o uso do sistema SRS possibilita uma melhoria da inteligibilidade em quase todas as mesquitas. Por outro lado, pode-se verificar que em algumas mesquitas a barra que representa a variação dos valores obtidos com o sistema SRS a funcionar, por vezes apresenta uma variação mais pequena do que sem o equipamento. Isto possibilita afirmar que a implementação deste equipamento permitiu a uniformização do som no espaço.

Estes valores foram obtidos sem o funcionamento do equipamento de ar condicionado e das ventoinhas. Para o caso destes estarem em funcionamento, a inteligibilidade seria menor do que a apresentada na Figura 4.34.

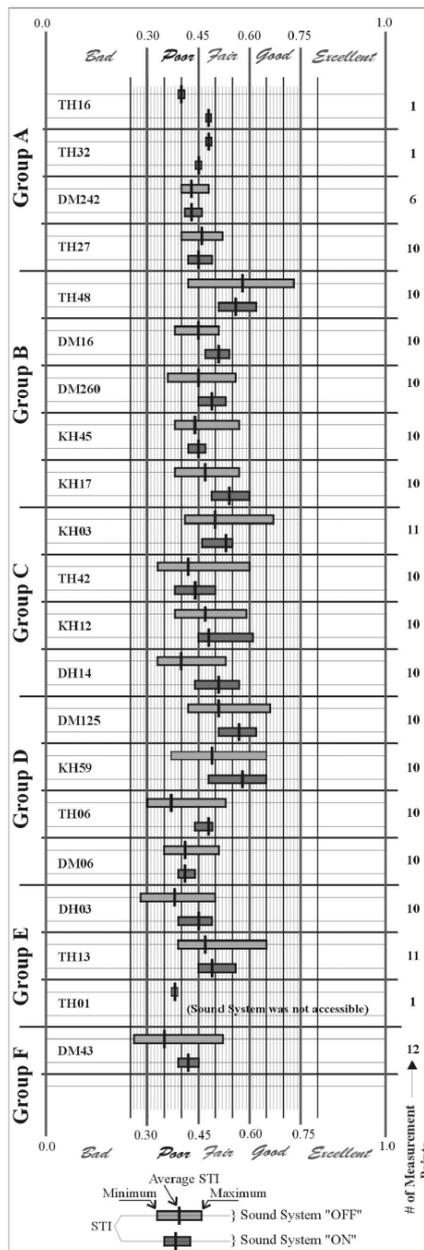


Figura 4.34 - Comparação do STI das várias mesquitas da Arábia Saudita com e sem o sistema SRS a funcionar [5].

4.7. ESTUDO 6: DESEMPENHO ACÚSTICO DE MESQUITAS USANDO MODELOS COMPUTACIONAIS

4.7.1. DESCRIÇÃO

Em 2003, Abdou na Universidade King Fahd de Petróleo e Minerais na Arábia Saudita publicou um estudo sobre a comparação de desempenho acústico de diferentes mesquitas usando modelos computacionais [8]. O objectivo era comparar e analisar a influência no desempenho acústico de cinco diferentes formas usadas nas mesquitas, rectangular, trapezoidal, quadrada, hexagonal e octogonal. Pretendeu avaliar as diferenças acústicas presentes nas diferentes mesquitas nos dois modos de culto praticados: *oração* e *sermão* com diferentes níveis de ocupação. No primeiro modo o orador está voltado para a parede *Quibla*, e os ouvintes estão de pé estando o aparelho auditivo localizado a 1,65 m do chão, enquanto que, no segundo modo, o Imã está no *Minbar* (1,25 m do pavimento) voltado para os ouvintes, sendo que estes encontram-se sentados nos tapetes a uma altura de 0,8 m em relação ao piso.

Assim, para este estudo considerou-se que a envolvente em todas as mesquitas seria constituída pelos mesmos materiais, sendo o pavimento constituído por tapetes, o tecto rebocado, as paredes rebocadas e pintadas, na parede *Quibla*, o autor considerou uma área constituída por mármore, e outra por azulejos. As janelas são constituídas por vidro simples. As mesquitas foram avaliadas sem sistema electroacústico a funcionar.

O volume definido para a mesquita foi de 1659 m³ tendo uma capacidade para 350 pessoas. No caso da área das janelas admitiu-se que estas representavam 15% da área do pavimento e 15% da área total de paredes, estando uniformemente distribuídas. As restantes características geométricas estão indicadas no Quadro 4.5.

Na Figura 4.35 é possível visualizar a localização dos diferentes pontos onde foram realizadas as avaliações computacionais, na mesquita tipo, de forma a poder avaliar as zonas de melhor e pior inteligibilidade da palavra.

Quadro 4.5 - Informações geométricas das mesquitas modelos. [Adaptado de 8].

Forma	Área de pavimento (m ²)	Volume (m ³)	Área de Paredes (m ²)	Área de Janelas (m ²)
Rectangular	346	1659	387	56
Trapezoidal	346	1659	373	57
Quadrada	369	1659	369	52
Hexagonal	346	1662	332	50
Octogonal	345	1656	325	52
Média	350	1659	357	53
Desvio-Padrão	10	2	27	3

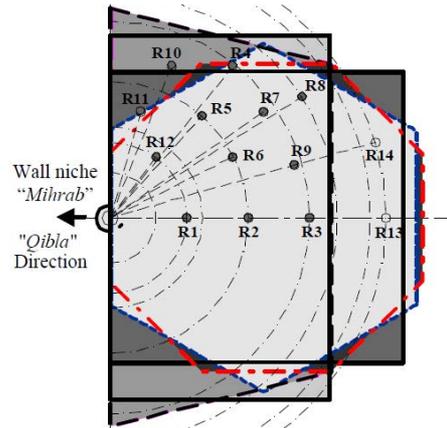


Figura 4.35 - Localização dos vários pontos na mesquita tipo sujeitos a avaliações computacionais [8].

4.7.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Os valores dos tempos de reverberação óptimos dependem, segundo o autor, da função que se deseja atribuir à sala, do volume e das características de absorção sonora das superfícies interiores. Para uma boa inteligibilidade da palavra o tempo de reverberação deverá estar compreendido entre 0,5 e 1 s nas médias frequências. Um outro aspecto importante referir está relacionado com o facto do volume das cinco mesquitas ser o mesmo, logo, o tempo de reverberação destas deveria apresentar valores muito semelhantes. Assim, para garantir este facto foi calculado este parâmetro computacionalmente com base nas fórmulas de *Sabine* e de *Eyring* para a situação desocupada e totalmente ocupada, sendo que estas não têm em conta a distribuição das respectivas absorções sonoras pelo espaço. Na Figura 4.36 podem-se verificar os valores dos tempos de reverberação por banda de frequência para uma ocupação de um terço durante o modo de culto *oração*. O valor do tempo de reverberação médio (500-1000 Hz) é de 1,6 s. Pode-se verificar que os espectros apresentam uma forma similar com algumas variações nos valores. A mesquita octogonal apresenta os valores de reverberação mais elevados, particularmente nas baixas frequências, sendo seguida da mesquita hexagonal. Isto seria expectável devido à forma mais circular ou cilíndrica, visto serem formas que possibilitam um aumento das reflexões a partir das fronteiras. A mesquita com a forma quadrada apresenta os valores mais baixos de tempo de reverberação nas médias frequências. Seria interessante o autor referir qual a fórmula usada pelo modelo computacional para o cálculo dos valores do tempo de reverberação da Figura 4.36.

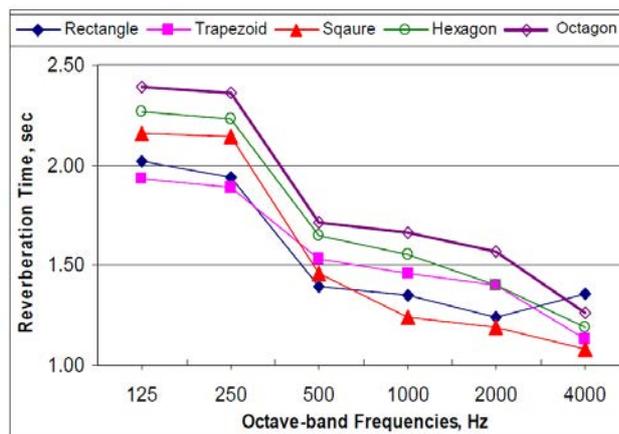


Figura 4.36 - Tempo de Reverberação por bandas de frequência obtidos por computação para cada tipo de mesquita com 1/3 da ocupação e para o modo de culto *oração* [8].

4.7.3. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA E NÍVEL SONORO

Uma boa inteligibilidade da palavra é conseguida com uma boa conjugação do som directo com as reflexões atrasadas de 50 ms em relação ao som directo. As reflexões atrasadas que originam um tempo de reverberação elevado conduzem a uma inteligibilidade *pobre*.

Relativamente ao ruído de fundo, estabeleceu-se pelo Método *Noise Criteria* que a curva NC25 seria a recomendável para espaços destinados à palavra.

Na Figura 4.37 é possível visualizar a variação da inteligibilidade na mesquita durante o modo de culto *oração*. As zonas na mesquita que apresentam um valor de STI inferior a 0,5 são representadas com as cores de azul mais escuras. Assim, as áreas mais *pobres*, a nível de percepção da palavra, estão localizadas na zona central da retaguarda da sala, junto das paredes laterais e nas esquinas junto da parede *Quibla*. A mesquita trapezoidal e a rectangular apresentam esquemas muito semelhantes. No caso da forma ser quadrada, verifica-se que aproximadamente dois terços apresentam um STI inferior a 0,5 enquanto que o restante terço apresenta uma distribuição uniforme. Em relação à hexagonal, as zonas com menor percepção situam-se no meio da mesquita e na zona junto à saída. A forma octogonal apresenta uma inteligibilidade inferior a 0,5 na zona central da mesquita.

As zonas com melhor percepção localizam-se normalmente junto a parede *Quibla* e, no caso da mesquita com a forma octogonal esta localiza-se também ao longo dos oito lados. Concluindo, a mesquita com a forma quadrada e com a forma octogonal são as que apresentam maiores áreas com um nível de inteligibilidade de *bom* a *excelente*.

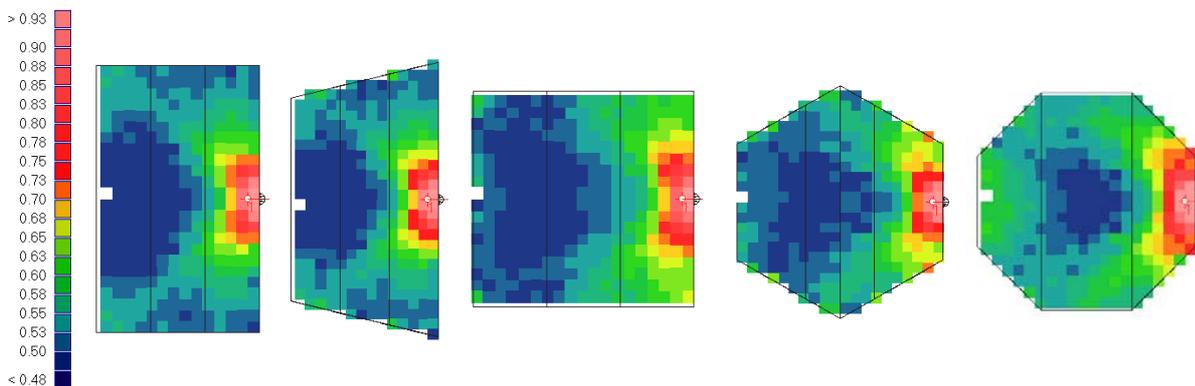


Figura 4.37 – Distribuição dos níveis de inteligibilidade da palavra (STI) admitindo um ruído de fundo dado pelo espectro NC25, assumindo que a mesquita tipo está lotada durante o modo de culto *oração* [8].

No caso do Imã estar a proferir o sermão, os níveis de percepção na sala mudam ligeiramente (Figura 4.38) devido às condições já anteriormente explicadas. Atendendo ao facto do orador estar localizado numa posição mais elevada em relação ao piso e os ouvintes estarem sentados, chega uma maior energia de som directo a uma maior percentagem de ouvintes. Assim, em relação à situação anterior existem menos zonas com um índice de inteligibilidade da palavra inferior a 0,5. Por outro lado, como o líder está voltado para os ouvintes verifica-se uma expansão da mancha que indica um nível de inteligibilidade de *bom* a *excelente*. A mesquita com a forma quadrada apresenta menos áreas com baixa percepção.

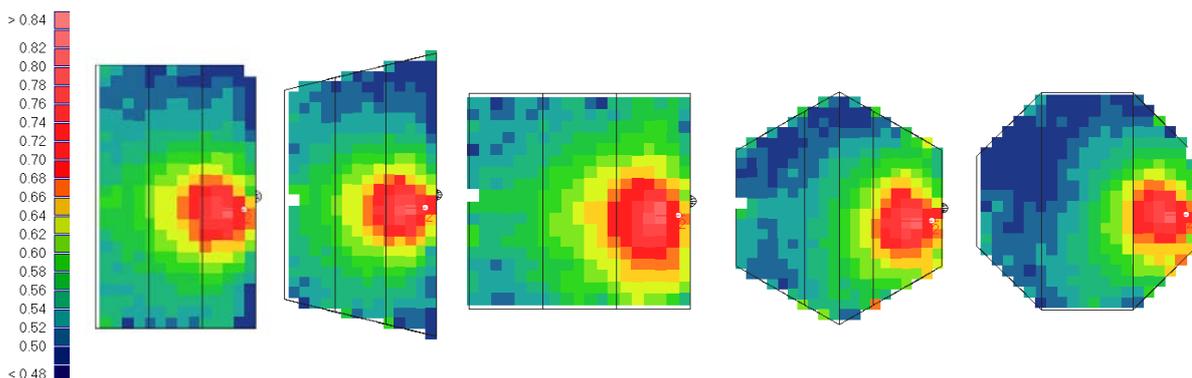


Figura 4.38 – Distribuição dos níveis de inteligibilidade da palavra (STI) admitindo um ruído de fundo dado pelo espectro NC25, assumindo que a mesquita tipo está lotada durante o modo de culto *sermão* [8].

Na Figura 4.39 encontram-se os valores para o modo de culto *oração* e pode-se concluir que na melhor hipótese (caso da mesquita quadrada) quase 25% dos ouvintes têm um STI de *bom a excelente*, enquanto que 80% estão localizados em zonas com um nível *aceitável*. No caso da mesquita octogonal, 5% dos ouvintes estão situados em zonas com uma percepção da palavra considerada *pobre*. Para o modo de culto *sermão* os resultados podem ser visualizados na Figura 4.40 e conclui-se que mais de 30% dos ouvintes têm acesso a um STI considerado desde *bom a excelente*, nas mesquitas com a forma quadrática, hexagonal e octogonal.

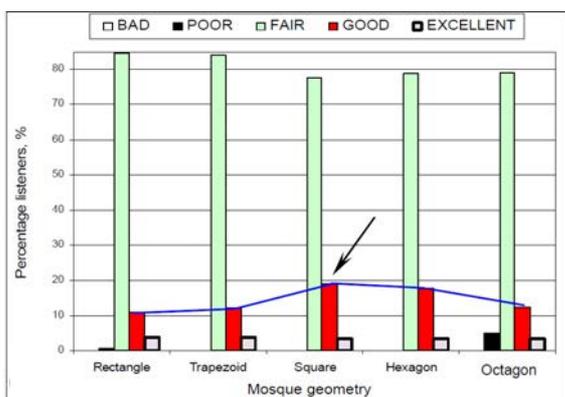


Figura 4.39 – Comparação dos diferentes valores do STI por percentagem de ouvintes para cada configuração de mesquita no modo de culto *oração* [8].

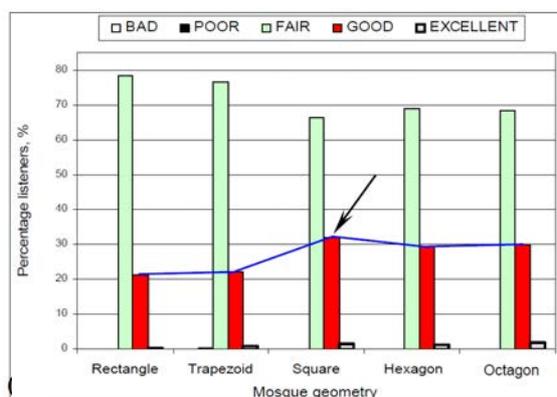


Figura 4.40 – Comparação dos diferentes valores do STI por percentagem de ouvintes para cada configuração de mesquita no modo de culto *sermão* [8].

Na Figura 4.41 pode-se verificar que existe um decréscimo quase linear de 0,9 a 0,55 para uma distância entre o líder e o ouvinte inferior a 3,5 m, não se verificando diferenças significativas entre as diferentes configurações geométricas. A partir dos 3,5 m existem algumas variações. No caso da mesquita com a forma octogonal, dos 7,5 m aos 10,5 m, encontra-se a posição da sala onde o índice de inteligibilidade atinge o valor mais baixo (centro). A partir da distância, aproximadamente, dos 10 m verificam-se melhorias significativas devido ao efeito das ondas sonoras reflectidas provenientes das paredes de trás e dos lados, obtendo-se nestas zonas o mesmo índice de inteligibilidade que os fiéis localizados nas terceiras e quartas filas. As mesquitas com a forma quadrada, hexagonal e octogonal exibem uma melhoria do nível de inteligibilidade também junto às paredes, devido às ondas sonoras reflectidas.

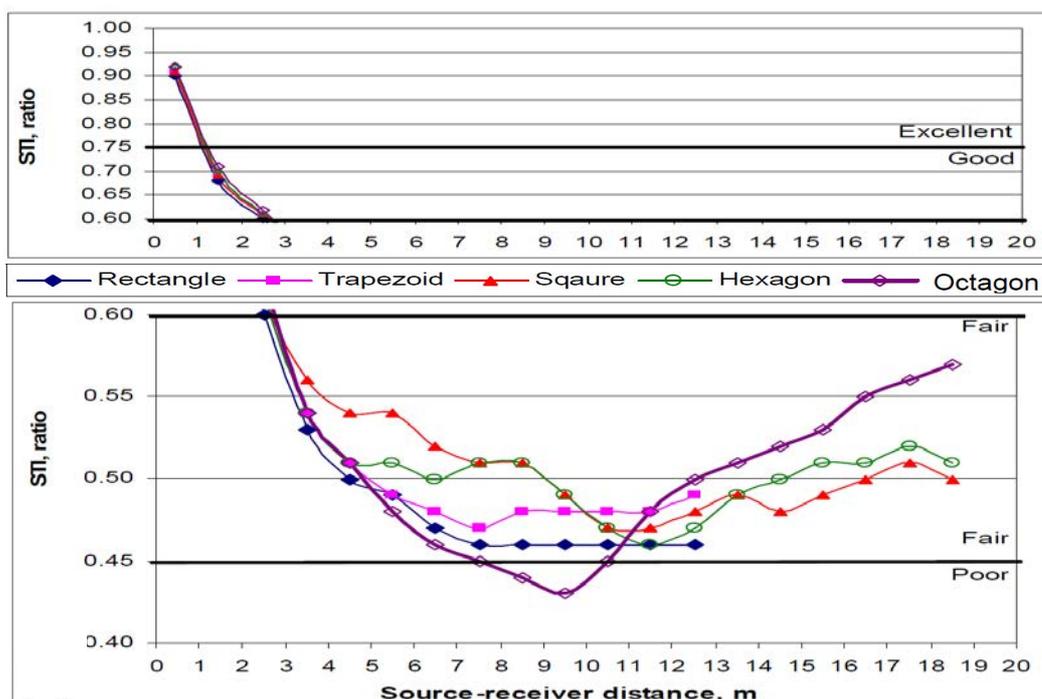


Figura 4.41 – Variação do STI em função da distância entre a fonte e o receptor para os diferentes tipos de mesquitas [8].

Em resumo, o desempenho acústico varia com a forma das mesquitas mas também com o tipo de culto em questão. Assim, com base na Figura 4.39 (modo de culto *oração*) o autor concluiu que a mesquita como a forma quadrada apresentava a maior percentagem de ouvintes com uma boa inteligibilidade e, por outro lado, uma percentagem pequena referente à baixa percepção da palavra. A mesquita com a forma octogonal por sua vez apresentava uma percentagem mais elevada de pessoas com uma percepção da palavra *pobre*. No caso do modo de culto *sermão* (Figura 4.40) o autor verificou que a mesquita tipo quadrada continuava com um bom desempenho enquanto que a rectangular apresentou uma percentagem menor de ouvintes com uma boa percepção da palavra.

4.8. ESTUDO 7: SOLUÇÕES ACÚSTICAS NA ARQUITECTURA OTOMANA CLÁSSICA

4.8.1. INTRODUÇÃO

O estudo das soluções acústicas na arquitectura otomana clássica foi realizado por Kayili em 2005 [9] onde se refere que Sinan era um arquitecto turco conhecido pelas suas soluções construtivas nas mesquitas. Aquele aplicou uma das soluções mais bem sucedidas na acústica, os ressoadores de cavidade (ressoadores *Helmholtz*). Contudo, este sistema já tinha sido aplicado por Vitruvius nos teatros romanos por meio de vasos de bronze. Mais tarde, por razões económicas, outros arquitectos experientes começaram a usar vasos de barro. Contudo, o uso destes ressoadores não acabou no Império Romano. Os ressoadores de cavidade são frequentemente encontrados na arquitectura otomana.

O autor desse estudo verificou que o desenvolvimento das aplicações e tecnologias acústicas atingiu o seu pico com o arquitecto Sinan. Os resultados obtidos nas mesquitas de Sinan comprovam esta afirmação. Foi prestada atenção à relação entre a capacidade de potência sonora da fonte e o objectivo de obter um nível sonoro suficiente, alterando a disposição dos planos.

Em tempos passados quase a única preocupação centrava-se nas correcções acústicas do espaço visto não existir ainda bem definido o conceito de controlo do ruído. Os dois objectivos correspondiam assim, à dissipação homogénea da energia do som num espaço (campo difuso) e um tempo de reverberação adequado.

4.8.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O problema num espaço é atingir um tempo de reverberação “ótimo” conforme a função sonora pretendida. A evolução dos valores de tempo de reverberação recomendados em função do volume para mesquitas nas médias frequências (500-1000 Hz) é visível na Figura 4.42. Esta curva sugerida pelo autor, Kayili, teve como factor base o tipo de som existente nas mesquitas e foi prestada atenção às reflexões de forma a alcançar uma qualidade estética divina do som. Os valores determinados aí são um pouco superiores aos ideais para salas destinadas à palavra. O tempo de reverberação nas mesquitas é normalmente alto nas baixas frequências e moderado nas médias e altas frequências. Isto no entanto não é preocupante visto as frequências mais importantes para a palavra se localizarem nas médias/altas frequências (1000 a 4000 Hz).

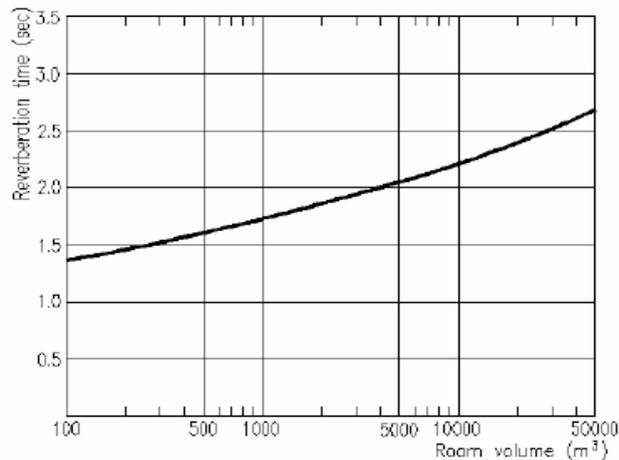


Figura 4.42 – Valores óptimos de tempo de reverberação em função volume para mesquitas, recomendados pelo autor Kayili [9].

4.8.3. RESSOADORES DE CAVIDADE NAS CÚPULAS

Os ressoadores de cavidade (Figura 4.43) são sistemas acústicos eficazes apesar do seu pequeno tamanho. Devido aos seus efeitos nas baixas frequências, esses sistemas são usados para prevenir a ressonância de ondas estacionárias no espaço tendo como objectivo atingir uma distribuição homogénea da energia sonora.

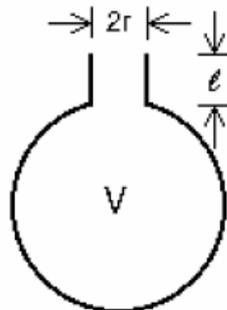


Figura 4.43 - Ressorador de Cavidade [9].

A forma côncava da cúpula implica a focalização das reflexões, ou seja, a energia do som incidente reflecte várias vezes na cúpula chegando à zona da audiência com algum atraso, principalmente nas cúpulas maiores, originando ecos e uma redução na inteligibilidade da palavra (Figura 4.44).



Figura 4.44 – Comportamento da energia sonora na cúpula: à esq., corte da cúpula; à dir., vista da cúpula em planta [9].

Assim, os ressoadores de cavidade colocados na cúpula têm a função de impedir ou minimizar a reflexão da energia sonora e irradiá-la novamente por toda a sala permitindo a incidência da energia em todas as direcções tornando o espaço num campo sonoro mais difuso e eliminando (ou minimizando) o perigo dos ecos provenientes de reflexões atrasadas da cúpula. Curiosamente, além de se obter um campo difuso, o som reflectido proveniente da cúpula logo após o som directo parece criar um efeito “divino” na atmosfera de adoração [104]. Esta aplicação é corrente nas mesquitas otomanas.

Durante um processo de restauração em 1986 na Mesquita Azul em Istambul, na Turquia (Figura 4.45) foram encontrados 75 ressoadores em três anéis na cúpula. Infelizmente, estes foram mais tarde cobertos com reboco. O mesmo se passou na mesquita *Selymie* em Istambul, na Turquia, onde na última restauração se encontraram vasos de barro. Estavam contudo, cobertos de reboco. Na mesquita *Sokullu* em Istambul, na Turquia foram também encontrados 36 buracos na cúpula, possivelmente para ressoadores. Como é perceptível quando os ressoadores estão preenchidos com algum material deixam de ter o comportamento acústico desejável. Esse efeito foi confirmado com as medições realizadas nas mesquitas *Selymie* e *Suleymanie* (Figura 4.46). Em ambas as mesquitas, devido em parte às suas grandes cúpulas, verificaram-se valores elevados de tempo de reverberação nas baixas frequências.

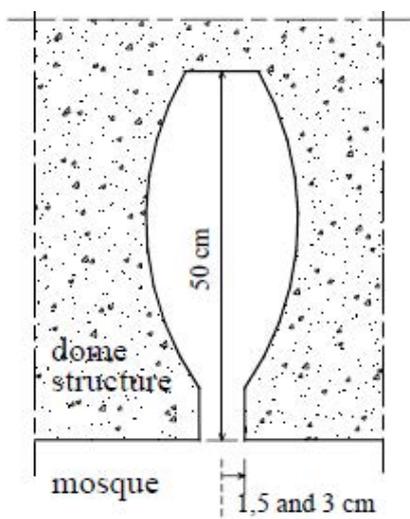


Figura 4.45 – Corte de um ressoador encontrado na Mesquita Azul em Istambul, na Turquia [9].



Figura 4.46 – Abertura de ressoadores na cúpula da mesquita *Suleymaniye* em Istambul, na Turquia [9].

4.8.4. LOCALIZAÇÃO DO MUEZZIN'S MAHFIL

O autor Kayili verificou que o arquitecto Sinan localizou em locais distintos o *muezzin's mahfil* (galeria onde se realiza o chamamento para a oração nas mesquitas), de forma a combinar o projecto de arquitectura com o de acústica. Em certas mesquitas colocou o altifalante junto a um dos pilares e perto da audiência. Esta solução também é aplicada nas igrejas, mas para espaços com um menor volume continuam-se a verificar problemas com o tempo de reverberação. No caso da mesquita *Suleymaniye*, optou por colocar mais altifalantes de forma a reforçar a energia sonora. Localizou o *muezzin's mahfil* perto do *Mihrab* e acrescentou dois pequenos balcões junto aos pilares da retaguarda da sala (Figura 4.47). Contudo, com este sistema podem surgir problemas devido à repetição do som da primeira e das seguintes fontes resultando em sons duplos ou múltiplos provocando perda de inteligibilidade e ruído.

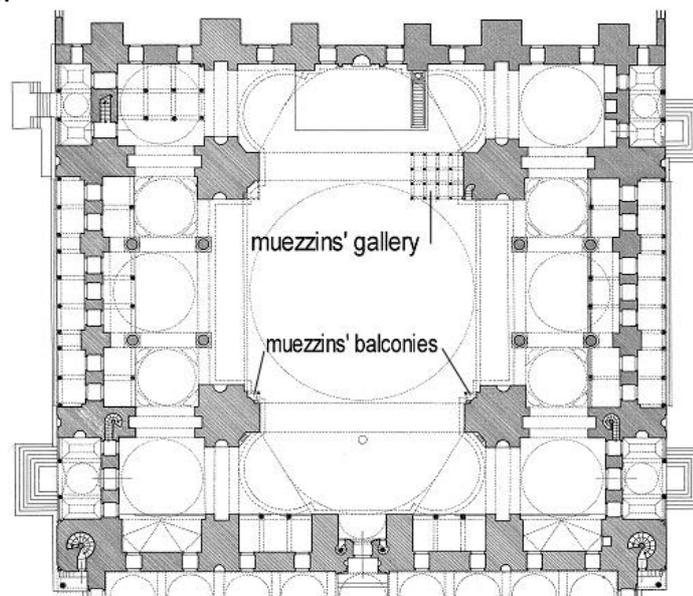


Figura 4.47 – Localização do *muezzin's mahfil* (galeria onde se realiza o chamamento para oração) e das *muezzin's balconies* (pequenos balcões) para reforçar a energia sonora na mesquita *Suleymaniye* em Istambul, na Turquia [9].

Na Mesquita *Selymie* optou por colocar o *muezzin's mahfil* no centro da sala (Figura 4.48). A cúpula e os ressoadores de cavidade estão localizados mesmo em cima da fonte sonora permitindo a difusão do som na sala havendo muito pouco som reflectido, ou seja, o sistema ressoador terá toda a energia proveniente directamente da fonte sonora e difundida por toda a sala. Assim, pela primeira vez na História, Sinan criou conscientemente um espaço “acústico”.

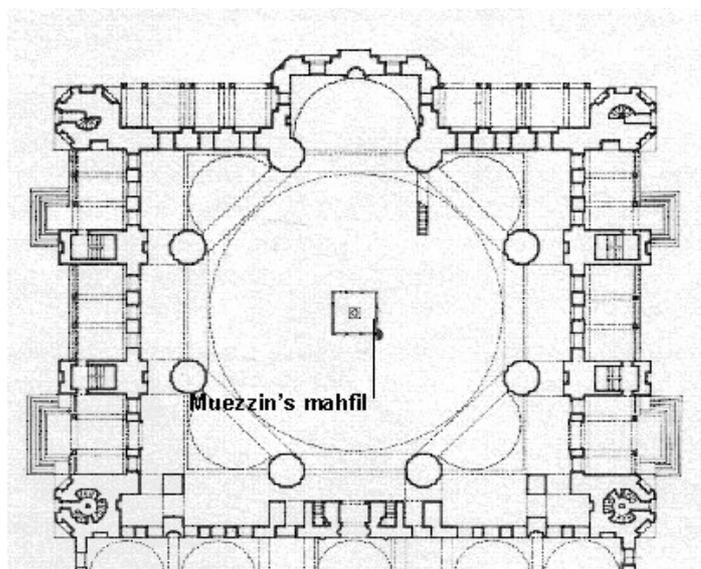


Figura 4.48 - Localização do *muezzin's mahfil* (galeria onde se realiza o chamamento para oração) na mesquita *Selymie* em Istambul, na Turquia [9].

4.9. ESTUDO 8: MESQUITA *DARUSSHOLAH*

4.9.1. DESCRIÇÃO

O estudo da mesquita *Darussholah* na Indonésia foi realizado por Utami em 2005 com o objectivo de introduzir uma ferramenta de análise das características acústica das mesquitas, especialmente aquelas que são caracterizadas por uma área plana muito grande e por uma cúpula central, que provocam uma distribuição de energia desigual e uma focalização dos efeitos sonoras na zona da audiência [6]. Este trabalho entra em linha de conta com as características arquitectónicas mais gerais das mesquitas mas, no entanto, centra-se num caso particular - A Mesquita *Darussholah*, localizada em Jember na Indonésia (Figuras 4.49 e 4.50). Esta mesquita estava ainda em construção quando se realizou este estudo. Esta é construída em betão armado e foram usados tijolos para as paredes. É constituída por uma cúpula central que possibilita a redução do número de pilares na zona central. Relativamente aos materiais que compõem as superfícies interiores, aqueles são considerados reflectores na sua grande maioria, como, reboco com pintura, gesso, cerâmico e mármore. Relativamente ao pavimento, este é constituído por tapetes. Existem arcos em betão armado a ligar colunas.



Figura 4.49 - Exterior da Mesquita *Darussholah*, Java Oriental, Indonésia [105].

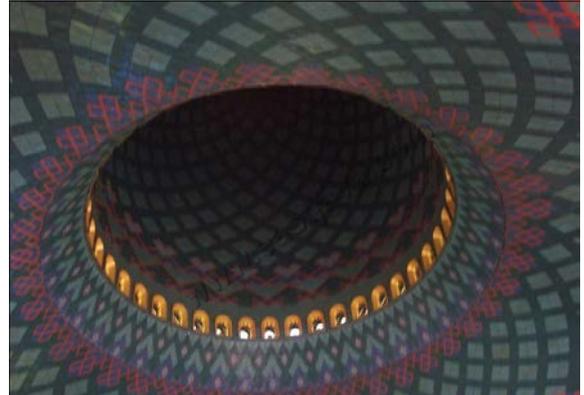


Figura 4.50 - Interior da Mesquita *Darussholah*, Java Oriental, Indonésia [106].

Neste estudo foram considerados dois tipos de cúpula (Figura 4.51), sendo a cúpula A a que mais se assemelha à da mesquita em estudo.

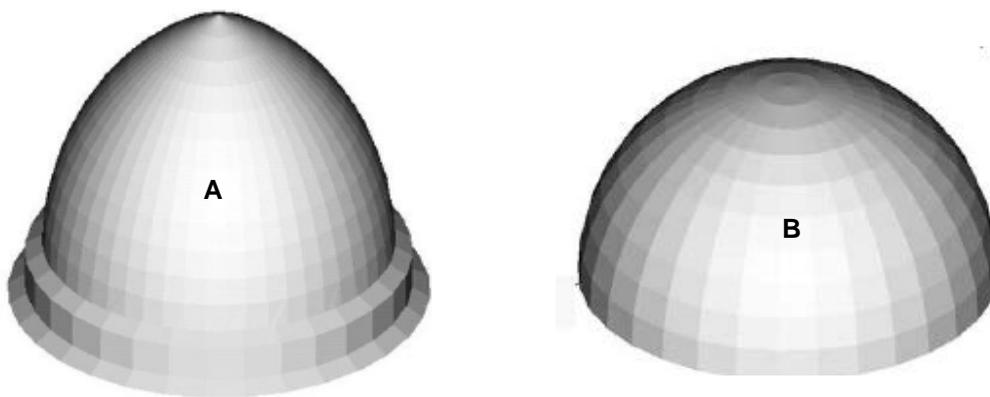


Figura 4.51 – Dois tipos de cúpulas em análise na mesquita *Darussholah* [Adaptado de 6].

Assim, de forma a aprofundar a análise acústica o autor recorreu a dois métodos: uma análise computacional (EASETM) e uma experimental (modelo físico de escala) de forma a complementar o estudo. No entanto, todos os métodos estão sujeitos a limitações.

Os níveis de pressão sonora a que é projectada a voz variam desde 55 dB para um tom baixo, 65-70 dB para um tom normal e 75 dB para um tom de voz elevado. Estes valores são considerados a um metro do orador, e, normalmente na mesquita, o Imã utiliza um tom de voz elevado. No entanto, existem factores como a ruído de fundo e o tempo de reverberação que interferem na boa inteligibilidade da palavra.

Foram elaborados vários modelos, variando a forma e o anel da cúpula. Na Figura 4.52 podem-se visualizar os três tipos de anel analisados.

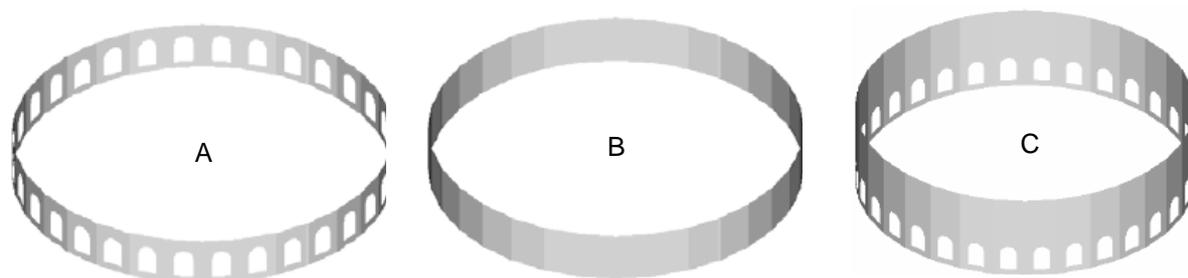


Figura 4.52 – Três tipos de anéis das cúpulas usados nas simulações para a mesquita *Darussholah* [Adaptado de 6].

Assim, foram efectuadas várias simulações combinando as diferentes cúpulas, anéis e possíveis materiais a serem aplicados na cúpula (Quadro 4.6).

Para o modo de culto *oração* foram consideradas duas alturas diferentes para a audiência: 1,52 m e 0,80 m, correspondendo à situação desta estar de pé ou sentada, respectivamente.

Quadro 4.6 - Descrição dos modelos de análise da mesquita *Darussholah*. Os modelos com * têm um número diferente de secções. [Adaptado de 6].

Modelo	Cúpula	Anel	Modos de Culto	Material na Cúpula
1.a	A	A	<i>Sermão</i>	<i>BASWA-phon</i>
1.b			<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
2.a	A	B	<i>Sermão</i>	<i>BASWA-phon</i>
2.b			<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
3.a	A	C	<i>Sermão</i>	<i>BASWA-phon</i>
3.b			<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
4.a	B	A	<i>Sermão</i>	<i>BASWA-phon</i>
4.b			<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
5.a	B	B	<i>Sermão</i>	<i>BASWA-phon</i>
5.b			<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
6.a	B	C	<i>Sermão</i>	<i>BASWA-phon</i>
6.b			<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
7*	A	A	<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
8*	A	B	<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
9*	A	C	<i>Oração</i>	<i>BASWA-phon</i>
11	A	A	<i>Oração</i>	Betão
12	A	B	<i>Oração</i>	Betão
13	A	C	<i>Oração</i>	Betão
14	B	A	<i>Oração</i>	Betão
15	B	B	<i>Oração</i>	Betão
16	B	C	<i>Oração</i>	Betão

Os modelos escolhidos subdividem-se em dois tipos de materiais: betão e *Baswa-phon*. Este último consiste em painéis de lã mineral (com um coeficiente de absorção sonora relativamente bom para as médias frequências), calibrados e de peso reduzido que são colocados sobre uma base (betão, gesso cartonado, entre outros) e posteriormente barrados em vários passos com uma massa mineral, de forma a obter-se uma superfície contínua [107]. Pelas Figuras 4.49 e 4.50 pode-se concluir que optaram pela cúpula A, atendendo ao facto deste estudo ter sido realizado durante a construção da mesquita.

Na Figura 4.53 podem-se visualizar os pontos seleccionados para simular a sala de culto. Assim, foram escolhidos pontos somente em metade da sala devido à sua simetria.

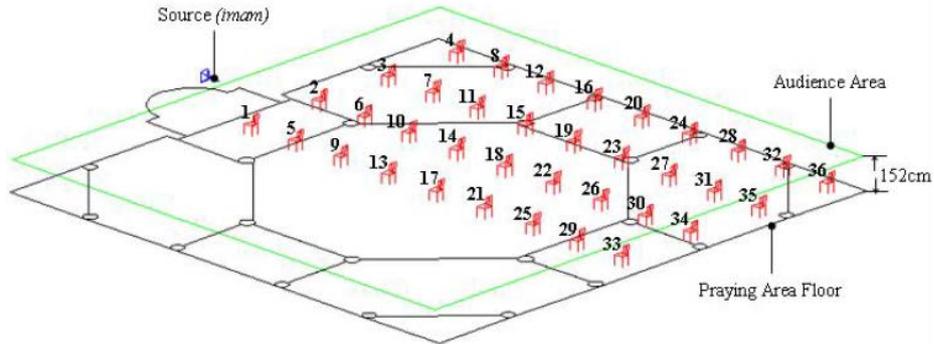


Figura 4.53 - Posições seleccionadas para a análise da inteligibilidade da palavra na mesquita *Darussholah* [6].

4.9.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Existem algumas diferenças óbvias entre o material *Baswa-phon* e o betão, sendo que o primeiro tem coeficientes de absorção superiores ao segundo havendo por isso, uma menor ocorrência de ecos devido à baixa intensidade de focalização dos efeitos sonoros. Assim, a absorção sonora com este material conduzirá a tempos de reverberação mais baixos.

Os tempos de reverberação por bandas de frequência foram calculados com base nas fórmulas de *Sabine* e de *Eyring*. Na Figura 4.54 é possível analisar os valores previstos para o modelo 1. Neste estudo seria interessante o autor ter introduzido gráficos com os valores dos tempos de reverberação dos outros modelos em análise.

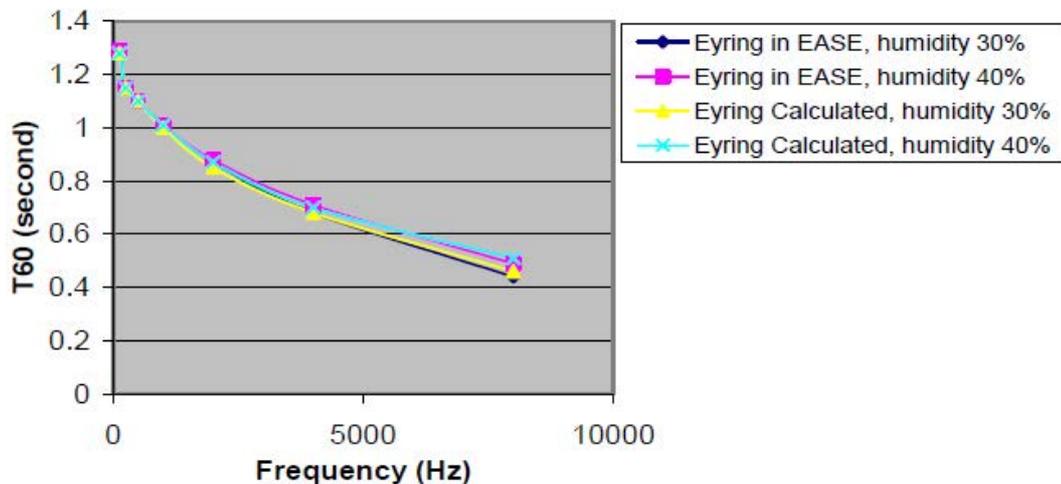


Figura 4.54 – Tempos de reverberação previstos pelas fórmulas de *Sabine* e *Eyring* com uma humidade relativa de 30% e 40% para o modelo 1 [6].

4.9.3. RASTI

O RASTI também é influenciado pelos materiais aplicados na mesquita *Darussholah*. Assim, na Figura 4.55 pode-se verificar as diferenças no valor do RASTI, nas mesmas condições, alterando somente o material. No modelo 1 existe muito boa inteligibilidade (0,6-0,75) em aproximadamente metade dos lugares enquanto que no modelo 11, apenas 25% dos lugares usufruem dessas condições.

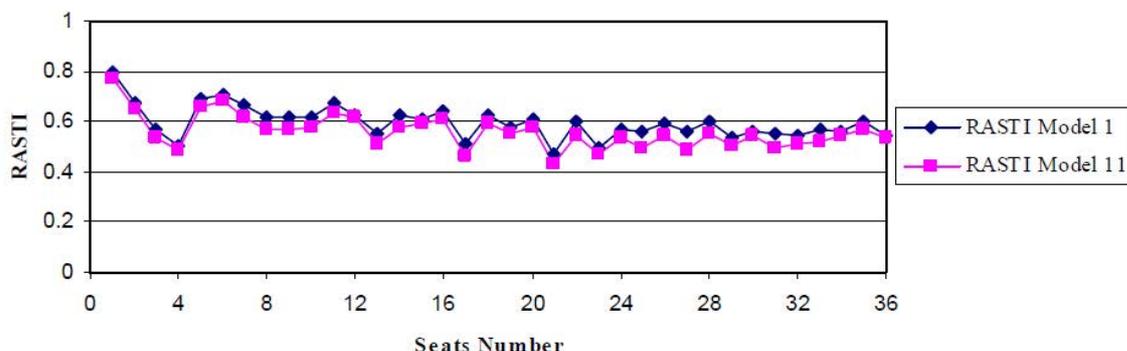


Figura 4.55 - Valores do RASTI para os modelos 1 e 11 em função do número de lugares na mesquita *Darussholah* [6].

Um outro aspecto interessante a analisar são as diferenças existentes entre os vários modelos para os dois modos de culto. Na Figura 4.56 é possível visualizar, para os primeiros seis modelos, um mapa com os diferentes níveis de inteligibilidade da sala (RASTI) para o modo *oração*. Os valores do RASTI para a zona da retaguarda dos modelos 4, 5 e 6 (cúpula B) são ligeiramente melhores do que nos restantes modelos apresentados (cúpula A). A zona da frente da sala não apresenta variações significativas entre uma cúpula e outra. A cúpula B apresenta uma zona estreita de bons valores de inteligibilidade, principalmente na zona debaixo da cúpula. Relativamente ao modo de culto *sermão*, foram obtidos os resultados apresentados na Figura 4.57.

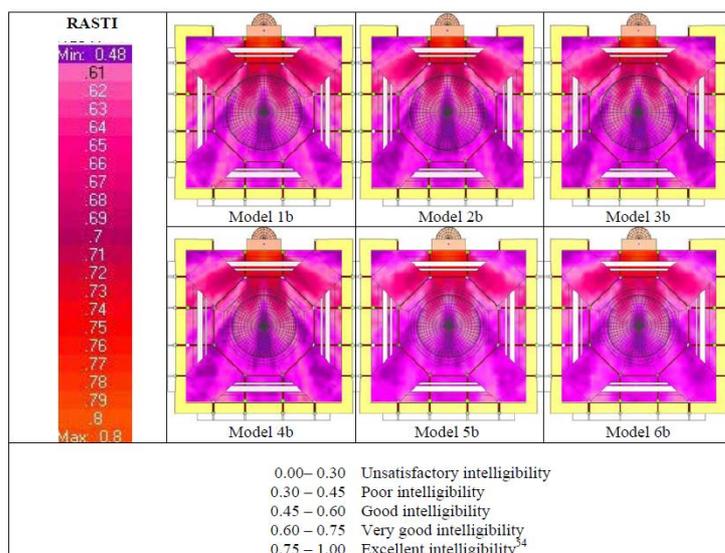


Figura 4.56 – Índices de inteligibilidade da palavra (RASTI) para os diferentes modelos de análise da mesquita *Darussholah* (*Sermão*) [6].

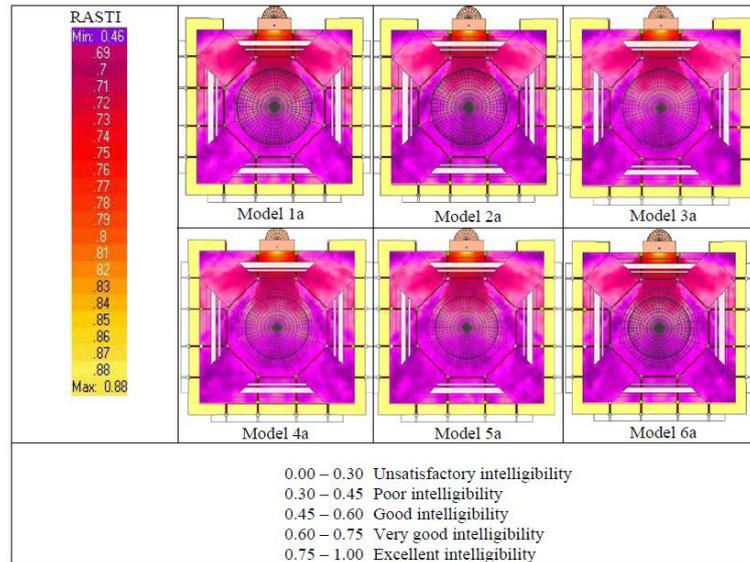


Figura 4.57 – Índices de inteligibilidade da palavra (RASTI) para os diferentes modelos de análise da mesquita *Darussholah* (Oração) [6].

A zona frontal da sala não é muito afectada pela mudança de cúpula porque o som dominante é o directo. Na zona debaixo da cúpula, existem zonas muito restritas com índices de inteligibilidade da palavra (RASTI) baixos devido às reflexões provenientes da cúpula. Verificam-se algumas diferenças nos dois modos de culto estando estas associadas às características da própria sala. Seria expectável haver melhores índices de inteligibilidade para o modo de culto *sermão* pois o líder está voltado para a audiência enquanto que, no modo *oração*, aquele está voltado para a parede sendo influenciada pelos materiais existentes nesta.

Verificou-se também que a variação do número de secções (planos) pouco afectou o nível de inteligibilidade.

Com o modelo de escala físico, os valores de RASTI não apresentaram variações de modelo para modelo, nem mesmo entre os dois modos de culto. Na Figura 4.58 pode visualizar-se um gráfico exemplo dessa situação verificando-se que o índice de inteligibilidade varia do *bom* para o *muito bom* junto à fonte sonora. A vantagem deste modelo revela-se na possibilidade de modelar os objectos de forma muito similar ao real, sendo que essa condição não se verifica para os modelos computacionais.

Quanto mais alta for a cúpula com menos intensidade regressaram as ondas reflectoras, não contribuindo suficientemente no apoio acústico da sala. Com este estudo verificou-se que a inteligibilidade da palavra não veio afectada do efeito focalizador da cúpula devido à distância, suficientemente grande, a que audiência se encontrava da cúpula.

Em resumo, para o RASTI o modelo que apresentava um desempenho mais satisfatório no modo de culto *oração* (Figura 4.56) era a combinação da cúpula B com o anel B, apesar de existirem poucas diferenças entre o anel B e o C. A cúpula A conduziu a resultados menos satisfatórios, sendo que, a junção com o anel C originou a pior combinação. Relativamente ao modo de culto *sermão*, (Figura 4.57) não surgiram diferenças significativas com a variação da cúpula e do anel, no entanto, a cúpula B com o anel B originou resultados ligeiramente melhores enquanto que, a combinação cúpula A com anel B ou C e a cúpula B com anel A conduziu a situações menos favoráveis.

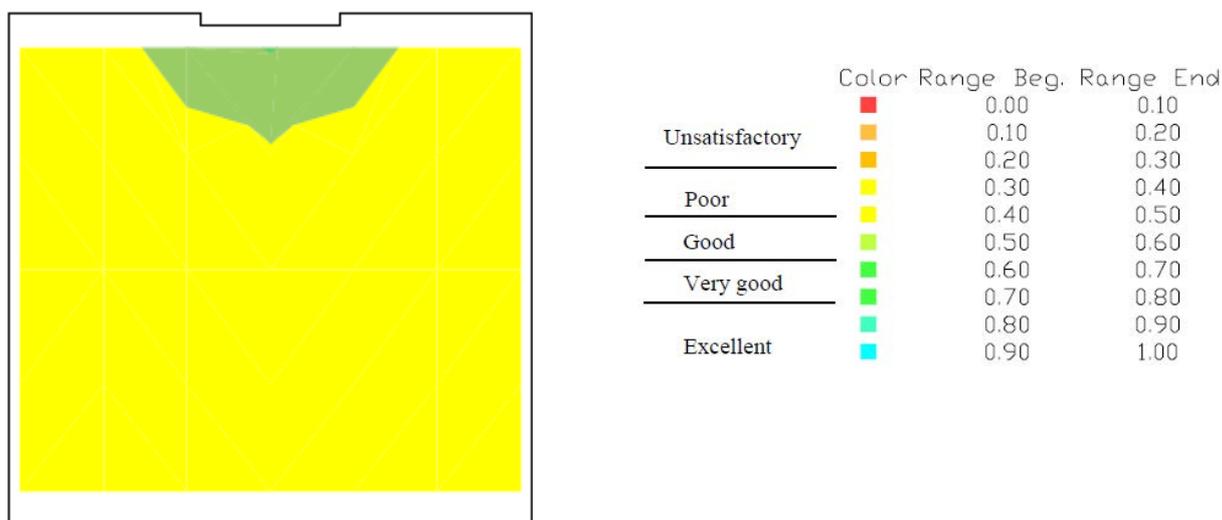


Figura 4.58 – Níveis de inteligibilidade da palavra medido através de um modelo físico de escala [6].

4.10. ESTUDO 9: PARÂMETROS ACÚSTICOS NAS MESQUITAS

4.10.1. INTRODUÇÃO

Um estudo foi realizado em 2007 por Wasim na Universidade Técnica de Berlim com o objectivo de fornecer valores de referência do tempo de reverberação (TR), da percentagem de perda de consoantes (Al_{cons}), da Claridade (C_{50}) e do STI (*Speech Transmission Index*) de forma a possibilitar melhores condições acústicas nas mesquitas [10].

4.10.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Este estudo permitiu encontrar uma relação entre o tempo de reverberação e o volume do espaço, tendo como base algumas fórmulas e considerações.

Assim, as condições admitidas neste estudo foram: o tempo de reverberação recomendado para uma sala com um volume de 10000 m^3 e com a função de transmitir a palavra ser de $1,8 \text{ s}$ e a relação entre o volume e o tempo de reverberação ser de $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Os ouvintes deveriam receber a informação transmitida pelo líder com um nível de pressão sonora de 65 dB tendo a mensagem de ser transmitida a um nível de pressão sonora de 80 dB . Este estudo só é válido para mesquitas com um volume não superior a 1440 m^3 ($1,8 \text{ s} \times 800 \text{ m}^3/\text{s}$), de forma a se poder usufruir de um nível de pressão sonora não inferior a 65 dB no campo difuso.

De acordo com este estudo, uma mesquita com um volume não superior a 1440 m^3 poderá funcionar com uma acústica aceitável sem a instalação de um sistema electroacústico. Um outro aspecto que o autor concluiu, atendendo às condições anteriores, foi que a distância crítica (distância que iguala o campo sonoro directo com o reverberado) para uma mesquita com um volume de 1440 m^3 apresenta o valor de $2,82 \text{ m}$. Na Figura 4.59, é possível visualizar o gráfico que relaciona o tempo de reverberação com o volume, sendo que o primeiro ponto do gráfico foi determinado para um volume de 1440 m^3 e uma distância crítica de $2,82 \text{ m}$. Esta relação foi desenvolvida com base no aumento e diminuição da distância crítica em função do volume.

Na Figura 4.60 é possível visualizar as variações permitidas aos valores de tempo de reverberação por banda de frequência. Pode-se verificar que para frequências inferiores a 250 Hz a variação apresenta uma taxa crescente de 0,2 por oitava. Para frequências superiores aos 2000 Hz a taxa de tolerância diminui devido à absorção sonora do ar e devido à existência dos tapetes no piso.

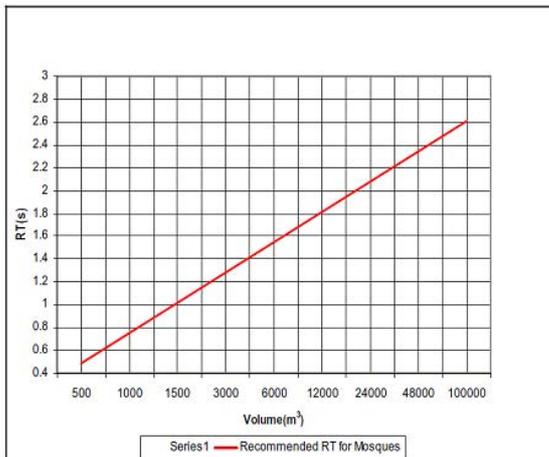


Figura 4.59 - Tempo de Reverberação recomendado em função do volume das mesquitas [10].

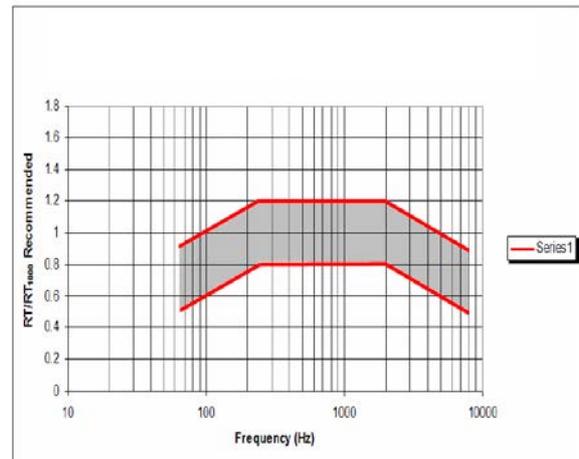


Figura 4.60 - Gama de tolerância para os tempos de reverberação por banda de frequência [10].

4.11. ESTUDO 10: MESQUITA DE ATLANTA

A mesquita de Atlanta (Figuras 4.61 e 4.62) é a maior do sudoeste dos EUA com um volume de 6370 m³ sendo constituída por uma cúpula central na sala de culto principal e um minarete. A sala de culto das mulheres situa-se no piso superior. Nesta mesquita é possível encontrar outros tipos de espaços como biblioteca, salas de reuniões, cozinha e uma sala com um elemento de vidro, com vista para a sala de culto principal, usada pelos visitantes. Esta mesquita foi estudada em 2007 por Wayne Lee [7]. Durante o seu dimensionamento teve presente as questões acústicas tendo sido a cúpula um dos elementos mais preocupantes devido à focalização do som no pavimento. As superfícies interiores foram acabadas com uma emulsão de partículas minerais, formando uma membrana micro-porosa aplicada à camada de lã mineral pré-revestida nos painéis. Depois da secagem as juntas foram lixadas e cobertas com materiais de alta densidade (pequenas partículas minerais) aplicados com uma espátula de forma alisar a superfície, dando uma aparência muito semelhante ao gesso.

De forma a reduzir o tempo de reverberação e as reflexões do sistema de som foram aplicados a todas as paredes possíveis, painéis semi-rígidos de fibra de vidro.

Relativamente aos parâmetros analisados chegaram-se aos seguintes valores: tempo de reverberação médio (500-1000 Hz): inferior a 1,5 s nas médias frequências, STI: inferior a 0,56 e por fim o nível de ruído recomendado: NC20-30.

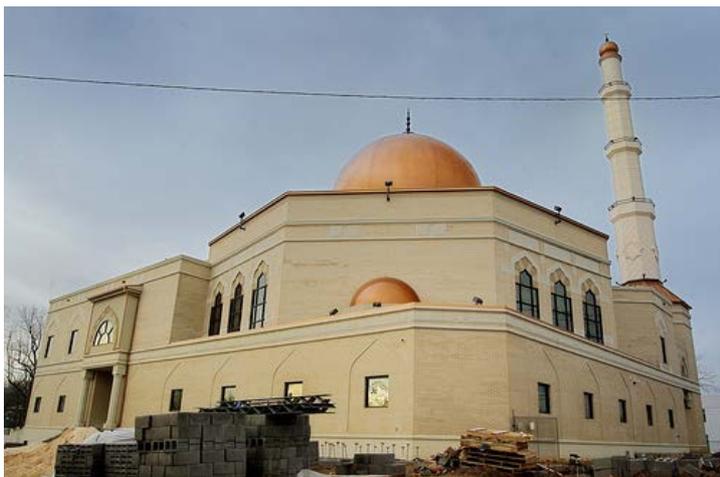


Figura 4.61 - Exterior da Mesquita *Al Farooq Masjid*, Atlanta, EUA [108].



Figura 4.62 - Interior da Mesquita *Al Farooq Masjid*, Atlanta, EUA [109].

4.12. OUTROS ESTUDOS

Durante o desenvolvimento desta dissertação tentou-se contactar alguns autores que elaboraram estudos sobre a acústica nas mesquitas, no entanto, não se obteve resposta dos mesmos. De seguida, apresentam-se os títulos dos estudos em causa.

- Estudo de três mesquitas em Istambul [110];
- Inteligibilidade da palavra na mesquita comunitária da cidade Dhaka [111];
- Medições em duas mesquitas na Arábia Saudita [112];
- Ligação dos edifícios novos com as mesquitas antigas [113];
- O santo *Haram* em Meca [114];
- As mesquitas do Profeta Maomé [115].

4.13. RESUMO

Este subcapítulo está destinado a recolher os valores numéricos susceptíveis de uma posterior comparação com a Mesquita Central de Lisboa. Assim, os valores dispostos para comparação serão de duas naturezas: valores obtidos por medições e valores ideais.

No Quadro 4.7 é possível encontrar os valores de todos os estudos abordados neste capítulo organizados por parâmetros. No Quadro 4.8 por sua vez, é possível visualizar os valores referidos em cada estudo como ideais. No caso do RASTI, apresenta-se no Quadro 4.9 uma possível classificação dos valores do RASTI apresentado num dos estudos (mesquita do *Estado do Kuwait*). Como para o RASTI não existem recomendações a autora deste trabalho propõe, com base na classificação do Quadro 7, um valor de RASTI por volta dos 0,6 de forma a atingir um bom nível de inteligibilidade da palavra.

Quadro 4.7 – Quadro Resumo dos estudos abordados neste capítulo.

Estudo	Designação		Volume (m ³)	Forma	Medidos				
					TR (s) (500-1000 Hz)	L _A (dB)	STI/RASTI		
2	<i>King Abdullah</i>	Antes	SCP	34000	Octogonal	18	58	0,15-0,45	
		Depois		34000		2,0	40	>0,7	
3	<i>Estado do Kuwait</i>	Antes	SCP s/ SRS	150000	-	6,9	-	0,15-0,45	
			SCP c/ SRS					0,3-0,45	
		SCM c/ SRS	0,15-0,45						
		Depois	SCP c/ SRS					0,3-0,6	
		SCM c/ SRS	0,3-0,45						
4	<i>Suleymanie</i>	SCP	115000	Rectangular ou Quadrada				5,8	
	<i>Selymie</i>		79300					5,4	
	<i>Sokullu</i>		5700					2,3	
	<i>SS Sergius & Bacchus</i>		14900					3,4	
5	A	TH16	SCP s/ SRS	520	Rectangular ou Quadrada	2,0	45,4 NC45	0,40	
			SCP c/ SRS					0,48	
		TH32	SCP s/ SRS	588				48,7 NC45	0,48
			SCP c/ SRS					0,45	
		DM242	SCP s/ SRS	675				42,9 NC40	0,43
			SCP c/ SRS					0,43	
		TH27	SCP s/ SRS	747				39,1 NC35	0,46
			SCP c/ SRS					0,45	
		TH48	SCP s/ SRS	1203				39,4 NC35	0,58
			SCP c/ SRS					0,56	
		DM16	SCP s/ SRS	1218				45,2 NC40	0,45
			SCP c/ SRS					0,51	
	DM260	SCP s/ SRS	1245	40,5 NC35				0,45	
		SCP c/ SRS		0,54					
	KH45	SCP s/ SRS	1371	39,4 NC35				0,44	
		SCP c/ SRS		0,45					
	KH17	SCP s/ SRS	1405	37,7 NC35				0,47	
		SCP c/ SRS		0,54					
	KH03	SCP s/ SRS	1561	36,8 NC35				0,50	
		SCP c/ SRS		0,53					
	TH42	SCP s/ SRS	1776	42,9 NC40				0,42	
		SCP c/ SRS		0,44					
	KH12	SCP s/ SRS	1951	36,6 NC35				0,47	
		SCP c/ SRS		0,48					
DH14	SCP s/ SRS	1994	34,9 NC35	0,40					
	SCP c/ SRS		0,51						
DM125	SCP s/ SRS	2025	36,6 NC35	0,51					
	SCP c/ SRS		0,57						
KH59	SCP s/ SRS	2081	38,3 NC35	0,49					
	SCP c/ SRS		0,58						
TH06	SCP s/ SRS	2200	40,3 NC35	0,37					
	SCP c/ SRS		0,48						
DM06	SCP s/ SRS	2505	36,6 NC35	0,41					
	SCP c/ SRS		0,51						
DH03	SCP s/ SRS	5105	37,5 NC35	0,38					
	SCP c/ SRS		0,45						
TH13	SCP s/ SRS	6286	40,1 NC40	0,47					
	SCP c/ SRS		0,49						
TH01	SCP s/ SRS	7034	44,2 NC40	0,38					
	SCP c/ SRS		-						
DM43	SCP s/ SRS	23390	39,3 NC35	0,35					
	SCP c/ SRS		0,37						

Estudo	Designação	Volume (m ³)	Forma	Medidos			
				TR (s) (500-1000 Hz)	L _A (dB)	STI/RASTI	
6	A	1659	Rectangular	1,6 (1/3 ocupação)	-	0,45-0,55	
	B	1659	Trapezoidal			0,45-0,55	
	C	1659	Quadrada			0,45-0,60	
	D	1662	Hexagonal			0,45-0,60	
	E	1656	Octogonal			0,50-0,65	
8	Mesquita Atlanta	SCP	6370	Octogonal	<1,5	-	-

SCP - Sala de Culto Principal SCM- Sala de Culto das Mulheres

Quadro 4.8 - Valores ideais dos parâmetros tempo de reverberação e NC.

Estudo	Recomendados	
	TR (s) (500-1000 Hz)	NC
2	1	-
5	0,9	25-30
6	0,5-1,0	25
8	-	20-30

Quadro 4.9 - Limites para a classificação do parâmetro RASTI [3].

Classificação RASTI	Intervalos
Má	[0,00-0,30[
Medíocre	[0,30-0,45[
Aceitável	[0,45-0,60[
Boa	[0,60-0,75[
Excelente	[0,75-1,00]

5

A MESQUITA CENTRAL DE LISBOA

5.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A influência árabe é ainda sentida na Península Ibérica sendo que no caso de Portugal a intensidade da sua influência aumenta de Norte para Sul [116].

Em 712 os muçulmanos iniciaram a sua conquista na Península Ibérica e num espaço de um ano conseguiram conquistar quase todo o território pertencente ao país conhecido hoje como Portugal. No entanto, esta influência não teve o mesmo nível de intensidade e duração nas várias regiões. Na zona norte do rio Douro começaram a ser expulsos por D. Afonso I das Astúrias em 750. No entanto, estiveram durante perto de quatro séculos entre o Douro e o Tejo [116].

Em 1000 os mouros conseguiram voltar às suas conquistas mas em meados do século XI, D. Fernando I de Léon-Castela reconquistou as terras até ao Mondego voltando estas a pertencer ao domínio cristão. O primeiro rei de Portugal, D. Afonso Henriques, foi responsável pela reconquista de Santarém, Lisboa e Sintra em 1147. A reconquista cristã prosseguiu para sul e só em 1250 conseguiram expulsar definitivamente os árabes com a conquista do Algarve [116].

Os árabes tiveram total domínio do norte do Douro durante 38 anos enquanto que o Algarve esteve sobre sua influência durante 539 anos. Assim, as zonas com maior influência foram o Algarve, a região de Alcácer-Setúbal, a Península de Lisboa, as regiões de Évora, Elvas e Coimbra. A cidade de Silves era povoada por pessoas provenientes do Iémen [116].

Nos arredores de Elvas era possível encontrar plantações de trigo, frutas, hortaliças e gado. À volta de Alcácer existiam grandes florestas de pinheiros que eram mais tarde utilizados para a construção naval. Em Sintra produzia-se também trigo, aveia e maçãs. Todas estas regiões, com a exceção de Alcácer, continuam a ser densamente cultivadas e povoadas [116].

A influência árabe permitiu a introdução em Portugal de diversas plantas ainda hoje cultivadas. Existem mais de quarenta espécies entre as quais: o limão, a laranja, a alfarroba, a cana-de-açúcar, a banana e muito provavelmente o arroz. A cultura da oliveira foi intensificada pelos árabes [116].

A presença árabe deixou assim, uma rica herança cultural tanto na arquitectura como na linguagem, mas, nenhuma população muçulmana, ou seja, a presença muçulmana de hoje não tem qualquer ligação com essa anterior população muçulmana [117].

A conquista muçulmana não acabou com o culto cristão na Península Ibérica nem com a construção de igrejas. Na verdade estas adoptavam características islâmicas nos seus elementos de decoração. O arco

em ferradura é um elemento característico da arquitectura da época visigótica que foi utilizado nas igrejas nesta altura [118].

Em 997 as invasões ao território cristão pelas tropas de Almançor chegaram a destruir Santiago de Compostela quebrando o ritmo do repovoamento e progresso que se operava no Condado Portucalense. Mas de qualquer forma, a vida a norte do Douro foi-se organizando lentamente, embora a sul isso só tenha sido possível após a reconquista da linha do Mondego em 1064. Esta fase foi caracterizada pela construção de novas igrejas, paróquias, residências para os clérigos, armazéns, celeiros e habitações para os servos. A arquitectura da época da Reconquista é designada por moçárabe [118].

Em Portugal só existe um edifício verdadeiramente notável no campo da arte moçárabe: a igreja S. Pedro de Lourosa (Figuras 5.1 e 5.2) em Oliveira do Hospital construída em 912. Esta obra já sofreu um processo de reabilitação que provocou alterações profundas em certos planos. Na Figura 5.1 é possível visualizar um arco de volta perfeita enquanto que na Figura 5.2 estão representados os arcos em ferradura [118].



Figura 5.1 - Exterior da Igreja S. Pedro de Lourosa, Oliveira do Hospital [119].



Figura 5.2 - Interior da Igreja S. Pedro de Lourosa, Oliveira do Hospital [119].

Actualmente na Europa existem cerca de 15 milhões de muçulmanos dos quais perto de 38 mil estão localizados em Portugal. Aos muçulmanos está associada uma capacidade de adaptação de certos hábitos e padrões europeus mantendo ao mesmo tempo os seus costumes e padrões religiosos e culturais. À semelhança do que acontece em outros países na Europa os muçulmanos existentes em Portugal encontram-se activos em questões sociais, culturais e religiosas [117].

Em 1980 os académicos começaram a desenvolver estudos relacionados com a presença muçulmana em Portugal. Estes estudos foram iniciados pelos países que detinham uma maior densidade populacional imigrante como a França, Inglaterra, Alemanha, Países Baixos, Bélgica e Suécia. No entanto, só na década de 1990 começou-se a colmatar a falha de informação nesta matéria a sul da Europa. Contudo, as novas presenças islâmicas mais pequenas localizadas na Irlanda, Luxemburgo e Portugal ainda se encontram por caracterizar [117].

Em Portugal a falta de informação existente está relacionada com o facto de haver poucos muçulmanos no país, e, por outro lado, existir outros fenómenos relacionados com o enorme fluxo migratório que se mostravam mais interessantes e importantes. O maior grupo de imigrantes muçulmanos provém de Moçambique e da Guiné-Bissau e vieram para Portugal graças à africanização

e mais tarde à guerra civil (Moçambique). Os muçulmanos provenientes da Índia e de Moçambique pertenciam normalmente à classe média e trabalhavam em actividades tradicionais e terciárias modernas [117].

Os muçulmanos são um grupo que teve a tendência a ser secundarizado em Portugal devido à existência de outros grupos específicos com mais pessoas como os ciganos e os timorenses. A maioria dos muçulmanos vive em Lisboa e nos respectivos subúrbios, principalmente em bairros. Os primeiros imigrantes muçulmanos vieram para Portugal na década de 1950 para obter uma educação universitária [117].

A comunidade islâmica de Lisboa (CIL) foi criada em 1968 por um grupo de estudantes (25 a 30 membros) das províncias ultramarinas que na altura estavam em Portugal a estudar e sentiram a necessidade de formar uma associação onde pudessem reunir-se e fazer as orações em conjunto. A CIL, por causa da elite muçulmana portuguesa que a constitui, desempenha um papel importante na sociedade islâmica. Esta comunidade gere as relações com não muçulmanos aos níveis de política, jornalismo, outras organizações religiosas e seculares de forma a esclarecer eventuais dúvidas que existam em relação ao islamismo e à própria comunidade. O senhor Suleyman Valy Mamede chegou a Portugal em 1953 e fundou a comunidade. Este dirigiu-a durante 17 anos e é conhecido como o “Pai da Mesquita”. Em 1989, fundou o Centro Português de Estudos Islâmicos. Um outro aspecto curioso está relacionado com o facto da maioria dos membros da actual comunidade já se conhecer na comunidade ismaelita em Moçambique [117, 120].

É importante referir que o número de muçulmanos em Portugal tem vindo a aumentar com o decorrer dos anos, seguindo a mesma tendência que a Europa. O fenómeno da imigração pela descolonização e/ou pela migração económica tem provocado modificações nos sistemas religiosos e culturais de forma a se adaptar a esta nova realidade. No entanto, verifica-se uma boa adaptação desta comunidade em Portugal [117].

Nos anos 1980 e 90 os muçulmanos detinham na zona de Lisboa a maior parte das lojas de fotocópias e tinham como objectivo integrar os filhos no mundo do comércio de forma a adquirir dinheiro para pagar os estudos superiores às filhas. No caso de terem possibilidades de as enviar para o estrangeiro aqueles demonstravam preferência pela Grã-Bretanha devido aos laços desenvolvidos entre estas duas comunidades [117].

A partir de Abril de 1974 o número de muçulmanos a viver em Portugal situava-se entre os 4 e os 6 mil. Atendendo a esta situação, o embaixador do Egipto ofereceu as caves da sua residência como local de oração. Em 1979 o governo de Mota Pinto ofereceu uma parte do palácio do Príncipe Real (Figura 4.3) à comunidade para instalar uma mesquita provisória. No entanto, estes locais não se encontravam perto da área de residência de muitos muçulmanos que nesta altura aguardavam resposta da câmara a uma petição para um terreno perto da Praça de Espanha, onde se situa actualmente a Mesquita Central de Lisboa, para a construção de uma mesquita (1966). Em Setembro de 1977 a câmara aprovou esta petição e cedeu o terreno à comunidade islâmica. Em 1979 deu-se o lançamento da primeira pedra e a 29 de Março de 1985 deu-se a inauguração da primeira fase de construção da mesquita. O projecto de Arquitectura, este esteve a cargo dos arquitectos António Braga e João Paulo da Conceição. A 22 de Junho de 2001 a câmara atribuiu à rua que passa à frente da mesquita o nome de Rua da Mesquita, a pedido da comunidade islâmica [117, 120].



Figura 5.3 - Palácio do Príncipe Real, Lisboa [121].

Este empreendimento só pode ser concretizado com o apoio financeiro de países islâmicos. Assim, em 1976 foi fundado o Centro Islâmico pelo embaixador de Marrocos com o objectivo de prestar auxílio à comunidade existente em Portugal. Esta era uma cooperação constituída por todos os representantes diplomáticos dos países islâmicos. Os países islâmicos que tornaram esta construção possível foram a Arábia Saudita, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos, Líbia, Jordânia, Irão, Egipto, Omã, Paquistão, Líbano e Turquia com a ajuda de muitos muçulmanos e não muçulmanos. A situação económica da CIL passou por tempos difíceis mas agora é independente [117, 120].

A primeira mesquita em Portugal dos tempos modernos, foi construída em 1982 no Laranjeiro (Comunidade Islâmica a Sul do Tejo). Passado um ano procedeu-se a construção de uma nova mesquita em Odivelas, *Aicha Siddika* (Figuras 5.4). Em 1985 a grande Mesquita Central de Lisboa (Figura 5.7) foi inaugurada e em 1991 foi inaugurada uma mesquita em Coimbra no bairro de Santa Apolónia. No entanto, é possível encontrar vários locais de culto espalhados pelo país. Na verdade hoje em dia é possível encontrar o Corão em português bem como outros elementos relacionados com a história, cultura e culto do islamismo [117].

Actualmente a comunidade islâmica presta auxílio a todos os imigrantes muçulmanos que chegam em condições precárias a Portugal, com base no sistema de caridade islâmico *Zakat* [117].



Figura 5.4 - Mesquita *Aicha Siddika*, Odivelas [122].

5.2. CARACTERIZAÇÃO DA MESQUITA CENTRAL DE LISBOA

A Mesquita Central de Lisboa localiza-se na avenida José Malhoa entre a rua da Mesquita e a rua Dr. Júlio Dantas (Figuras 5.5 e 5.6). Na Figura 5.7 é possível visualizar a fachada principal da mesquita.



Figura 5.5 - Mapa do Google com a localização da Mesquita Central de Lisboa [123].

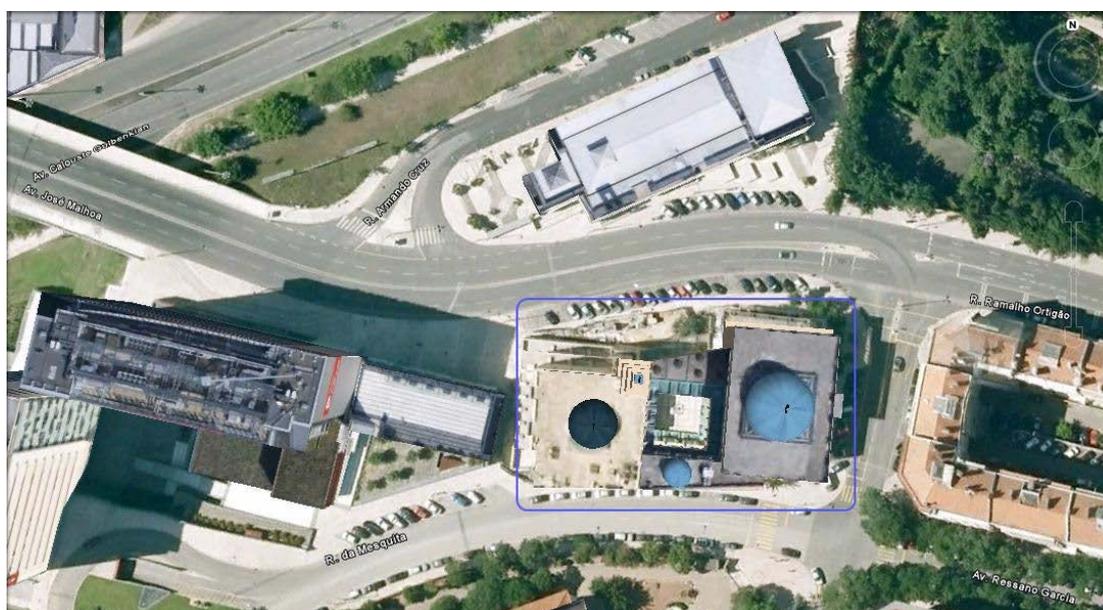


Figura 5.6 - Localização da Mesquita Central de Lisboa [124].



Figura 5.7 – Entrada principal da Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora].

A Mesquita Central de Lisboa apresenta-se dividida em três corpos constituídos por quatro pisos e cave. Na cave encontra-se o piso técnico. Os pisos 1 e 2 são constituídos por um espaço destinado ao desporto, ao convívio entre os homens, havendo ainda, balneários, camarins, foyer, cafetaria e apoio médico. Os pisos 3 e 4 estão representados na Figura 5.8. Estes são compostos pelas zonas de culto: a sala de culto principal (Figuras 5.9 e 5.10) e pela sala de culto das mulheres (Figuras 5.9 e 5.12). Nestes pisos podem-se encontrar ainda as duas salas de abluções associadas a cada sala de culto (Figuras 5.13 e 5.14), uma zona de convívio para as mulheres, habitações, uma sala de ablução para os mortos (Figura 5.15), uma biblioteca (Figura 5.16), um pátio (Figura 5.17) e um minarete (Figuras 5.18 e 5.19). Existem ainda duas cúpulas associadas à sala de culto principal (Figuras 5.19 e 5.20) e à biblioteca (Figuras 5.19 e 5.21). À entrada de cada sala de culto era possível encontrar um armário para colocar os sapatos [125].

Nas Figuras 5.10 e 5.11 pode-se visualizar o tipo de materiais que compõem as superfícies interiores da sala de culto principal. As paredes e os pilares são constituídos por materiais reflectores como o mármore, os azulejos, os tijolos e algumas paredes são rebocas e pintadas. O tecto é também rebocado e pintado sendo constituído por uma cúpula central enquanto que o pavimento é coberto com tapetes. Na Figura 5.11 pode-se observar que a zona do *Mihrab* é composta somente por materiais reflectores (mosaicos). Na Figura 5.9 pode-se verificar que um dos elementos usados na decoração foi a caligrafia árabe.

Todas as zonas que compõem a mesquita estão hierarquizadas na importância das funções específicas que comportam e desempenham. Todas as zonas têm circulações independentes bem como acessos para o exterior. No entanto, pode-se aceder a todas as partes sem necessitar de sair da mesquita, uma vez que o minarete possibilita o acesso vertical. A zona de abluções dos mortos situa-se num dos extremos do edifício enquanto que a zona técnica contém elementos como a aparelhagem de força motriz, eléctrica, climatização bem como todos os aparelhos centrais de controlo e de medida. As janelas foram introduzidas com o objectivo de garantir a entrada de luz natural, no entanto, como estas contêm pequenas aberturas, deixam passar algum ruído do exterior [125].

A área do terreno é de 2760 m² sendo a sua área de implantação de 2212 m². As áreas distribuem-se da seguinte forma pelos vários pisos, a cave: 427 m²; o piso 1: 1383 m², o piso 2: 691 m²; o piso 3: 1393

m²; o piso 4: 1053 m² e a cobertura: 2168 m². A zona de culto apresenta um volume de aproximadamente 6040 m³ e um pé-direito máximo de 15,4 m. Esta mesquita tem capacidade de receber quase 950 pessoas (744 homens e 192 mulheres) podendo ser classificada como mesquita comunitária [125].

Nesta mesquita são celebradas as orações diárias às 6h15, às 14h, às 17h, às 19h e às 20h15 e o sermão de Sexta-feira (*Khutba*).

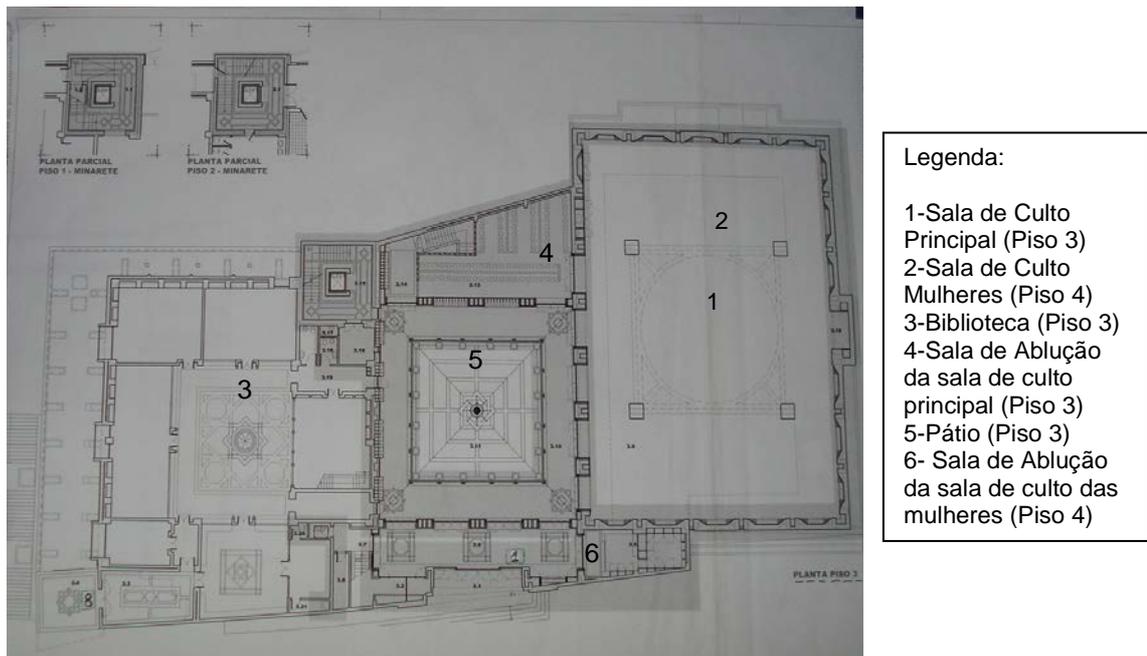


Figura 5.8 - Planta da Mesquita Central de Lisboa [Foto da Autora].



Figura 5.9 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de culto principal e sala de culto das mulheres no piso superior [Foto da Autora].



Figura 5.10 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de culto principal [Foto da Autora].



Figura 5.11 - Mesquita Central de Lisboa: *Mihrab* [Foto da Autora].

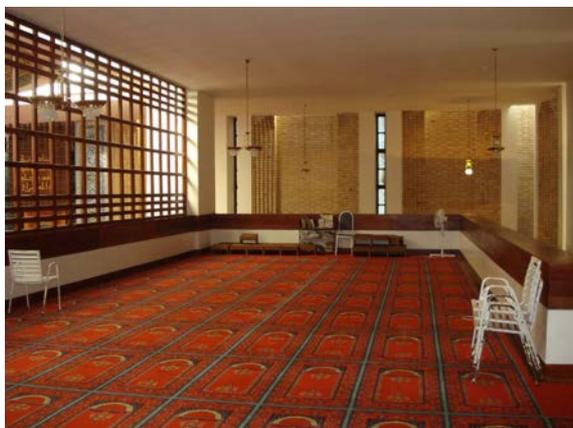


Figura 5.12 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de culto das mulheres [Foto da Autora].



Figura 5.13 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de ablução associada à sala de culto principal [Foto da Autora].



Figura 5.14 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de ablução associada à sala de culto das mulheres [Foto da Autora].



Figura 5.15 – Mesquita Central de Lisboa: Sala de ablução dos mortos e Xequie Munir [126].



Figura 5.16 – Mesquita Central de Lisboa: Pátio da Biblioteca [Foto da Autora].



Figura 5.17 – Mesquita Central de Lisboa: Pátio da mesquita [Foto da Autora].

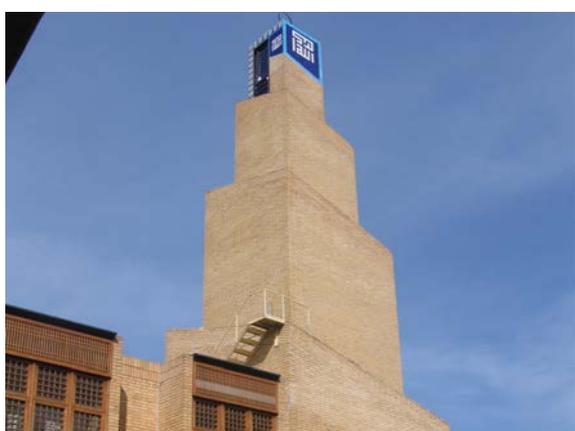


Figura 5.18 – Mesquita Central de Lisboa: Minarete [Foto da Autora].



Figura 5.19 – Mesquita Central de Lisboa: À esquerda, cúpula da sala de culto principal; à direita, cúpula da biblioteca; no centro, minarete [Foto da Autora].

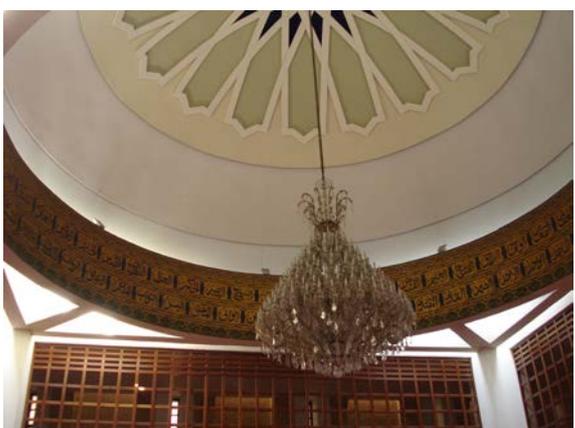


Figura 5.20 – Mesquita Central de Lisboa: Interior da cúpula da sala de culto principal [Foto da Autora].



Figura 5.21 – Mesquita Central de Lisboa: Interior da cúpula localizada no pátio da biblioteca [Foto da Autora].

Esta mesquita não tem sistema de ar condicionado ou de ventilação mecânica mas tem sistema de reforço sonoro (SRS). Assim, este é constituído por quatro colunas localizadas nos cantos da sala (Figura 5.22), oito colunas mais pequenas espaçadas igualmente na cúpula (Figuras 5.9 e 5.20) e, existem ainda quatro colunas colocadas superiormente nos cantos, sendo que as duas colunas da zona posterior não estavam a funcionar à data da visita do local (Figuras 5.9 e 5.10). No pátio é ainda possível encontrar um altifalante (Figura 5.23). Estas colunas estavam dirigidas para a sala de culto principal, não existindo nenhuma direccionada para a sala de culto das mulheres.



Figura 5.22 – Mesquita Central de Lisboa: Colunas colocadas nos cantos da sala de culto principal [Foto da Autora].



Figura 5.23 – Mesquita Central de Lisboa: Sistema de som no pátio [Foto da Autora].

5.3. CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA

5.3.1. DESCRIÇÃO

A caracterização acústica nesta mesquita é feita segundo duas ópticas diferentes: a objectiva e a subjectiva. No caso da objectiva foram seleccionados três parâmetros, o tempo de reverberação, o RASTI e o nível sonoro, que com base nos resultados permitiu a caracterização do espaço quanto ao nível de inteligibilidade da palavra e de audibilidade sonora. Relativamente ao ruído de fundo, notar que esta mesquita não tem sistema de ar condicionado nem de ventilação mecânica. As medições destes parâmetros foram realizadas pelo Laboratório de Acústica da FEUP com o apoio do Engenheiro António Eduardo Costa.

Pretendeu-se caracterizar a sala de culto principal e analisar também as diferenças existentes entre esta e a sala de culto das mulheres. A análise subjectiva foi efectuada com base no depoimento do Xeiq Munir.

5.3.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

5.3.2.1. Metodologia

Para medir o tempo de reverberação emitiu-se um ruído, aproximadamente rosa, capaz de varrer todo o espectro de frequências com interesse a analisar. Relativamente ao decaimento, este deve-se sobrepor ao ruído de fundo. A fonte emissora utilizada é da marca *Brüel & Kjær* modelo 4224 (Figura 5.24) e foi colocada à frente do *Mihrab*. O receptor, por sua vez, é um sonómetro da marca *Brüel & Kjær* modelo 2260 (Figura 5.25) que regista o nível de pressão sonora calculando assim, o tempo de decaimento correspondente a 20 ou a 30 dB. Contudo, o valor fornecido pelo equipamento é já extrapolado para um decaimento de 60 dB.

O tempo de reverberação foi medido na sala de culto principal e na sala de culto das mulheres. Na sala de culto principal foram seleccionados seis pontos diferentes em metade da sala visto esta ser simétrica (Figura 5.26). Na sala de culto das mulheres efectuaram-se medições somente numa das salas em três posições diferentes (Figura 5.27). Em cada posição mediu-se duas vezes o tempo de reverberação, na primeira medição rodou-se o microfone 30-40° para a esquerda e na segunda para a direita. Ao fim deste procedimento foram registados os valores dos tempos de reverberação por bandas de frequência entre os 125 Hz e os 4000 Hz.



Figura 5.24 - Fonte Emissora Brüel & Kjær modelo 4224 [Foto da Autora].



Figura 5.25 - Sonómetro Brüel & Kjær modelo 2260 [Foto da Autora].

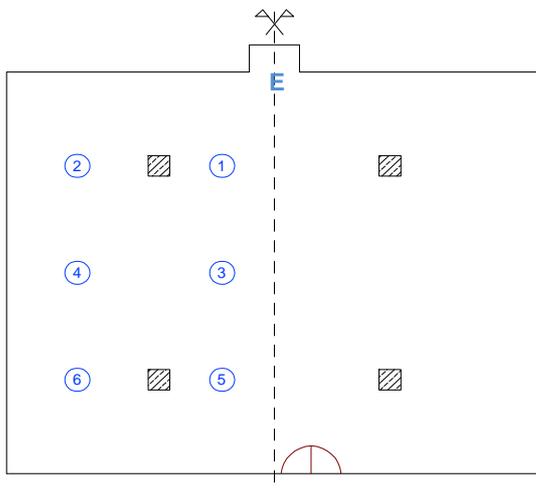


Figura 5.26 - Mapa de pontos de medição do tempo de reverberação na sala de culto principal (seis pontos de recepção e um, E, de emissão) na Mesquita Central Lisboa.

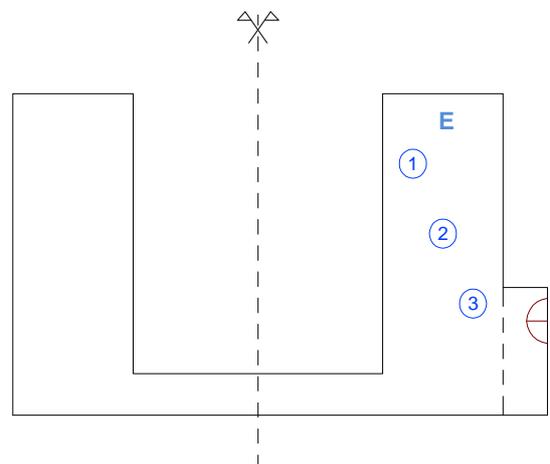


Figura 5.27 - Mapa de pontos de medição do tempo de reverberação na sala de culto das mulheres (três pontos de recepção e um, E, de emissão) na Mesquita Central de Lisboa.

5.3.2.2. Resultados

Os valores dos tempos de reverberação obtidos na sala principal e das mulheres estão apresentados nos Quadros 5.1 e 5.2, respectivamente. O tempo de reverberação médio obtido para a sala de culto principal nas frequências médias (500,1000 Hz) é de 2,8 s enquanto que a sala de culto das mulheres apresenta um valor ligeiramente mais baixo de 2,6 s. Estes valores são muito superiores aos recomendados (aproximadamente 1 s) para salas onde a inteligibilidade da palavra é importante. Observando o Quadro 5.1 pode-se concluir que os tempos de reverberação são mais baixos nas altas frequências devido à existência de maior absorção sonora causada pelos tapetes no piso. Um outro aspecto importante a referir é que o grau de dispersão dos valores, por gama de frequências, é muito baixo existindo uma certa uniformização dos valores do tempo de reverberação medido nas várias posições da sala de culto principal da mesquita (Figura 5.28). Relativamente à sala de culto das mulheres, verifica-se uma dispersão maior para as baixas frequências entre as posições 1 e 3 da sala sendo que para as restantes bandas de oitava as variações são insignificativas (Figura 5.29).

Um dos motivos para a existência de um tempo de reverberação tão elevado pode ser explicado pela presença de materiais reflectores a cobrir as superfícies interiores, pela cúpula central e pelo grande volume.

Quadro 5.1 - Tempos de reverberação medidos na sala de culto principal da Mesquita Central de Lisboa.

Parâmetro (Pontos)	Banda de Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
TR ₁ (s)	2,19	2,45	2,90	2,62	1,83	1,34
TR ₂ (s)	2,56	2,50	2,82	2,74	1,93	1,46
TR ₃ (s)	2,28	2,56	3,00	2,82	1,93	1,44
TR ₄ (s)	2,33	2,50	2,93	2,72	1,99	1,53
TR ₅ (s)	2,38	2,57	2,90	2,83	1,92	1,53
TR ₆ (s)	2,18	2,57	2,84	2,62	2,05	1,56
TR _{médio} (s)	2,3	2,5	2,9	2,7	1,9	1,5
Desvio-padrão (s)	0,14	0,07	0,08	0,11	0,11	0,14

Quadro 5.2 - Tempos de reverberação medidos na sala de culto das mulheres da Mesquita Central de Lisboa.

Parâmetro (Pontos)	Banda de Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
TR ₁ (s)	1,92	2,12	2,76	2,42	1,49	0,99
TR ₂ (s)	2,09	2,41	2,66	2,55	1,46	1,00
TR ₃ (s)	2,39	2,47	2,67	2,45	1,64	1,16
TR médio (s)	2,1	2,3	2,7	2,5	1,5	1,1
Desvio-padrão (s)	0,21	0,21	0,04	0,05	0,06	0,06

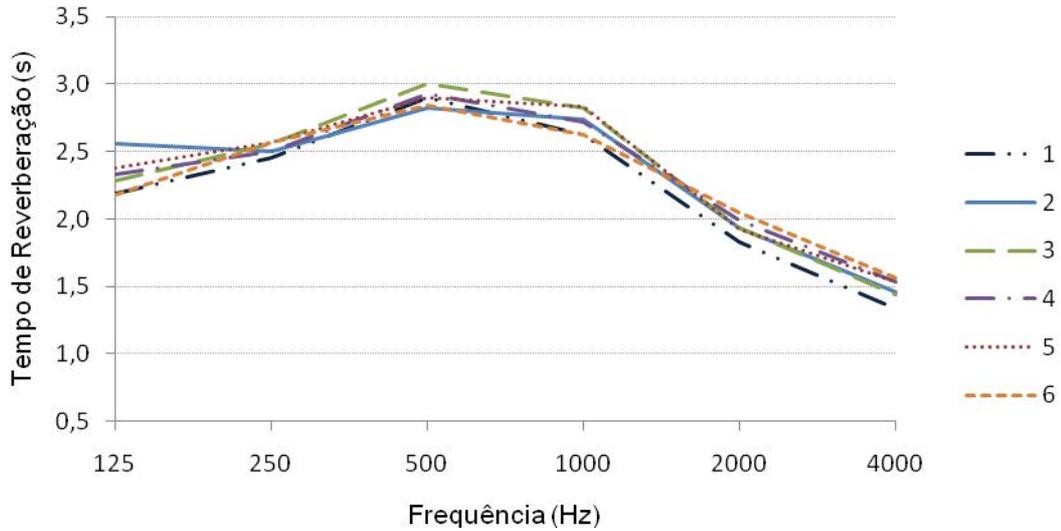


Figura 5.28 - Tempo de reverberação medido nos seis pontos na sala de culto principal da Mesquita Central de Lisboa.

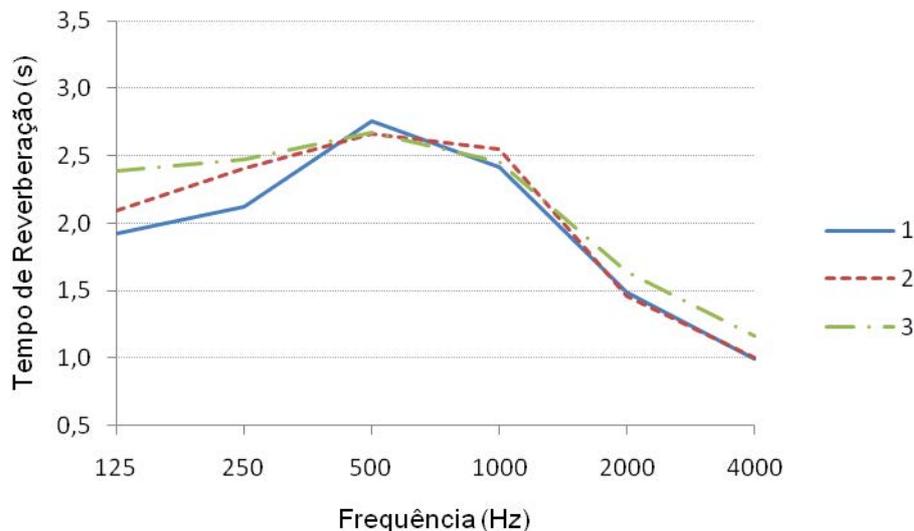


Figura 5.29 - Tempo de reverberação medido nos três pontos na sala de culto das mulheres da Mesquita Central de Lisboa.

Através da Figura 5.30 podem-se analisar as diferenças associadas ao tempo de reverberação entre estas duas salas. Verifica-se que existem maiores diferenças para as altas frequências sendo que nas baixas os valores são muito próximos. Esta situação poderá ser explicada com o facto da sala de culto principal apresentar um volume muito superior ao das mulheres originando ondas reflectidas um pouco mais atrasadas. No entanto, é de salientar que estes dois espaços não estão totalmente desligados, sendo somente separados por um reguado aberto de madeira visível nas Figuras 5.9 e 5.12.

Assim, atendendo aos valores ideais, a sala de culto das mulheres apresenta valores de tempos de reverberação mais adequados do que a sala de culto principal no entanto, continua com valores superiores aos ideais.

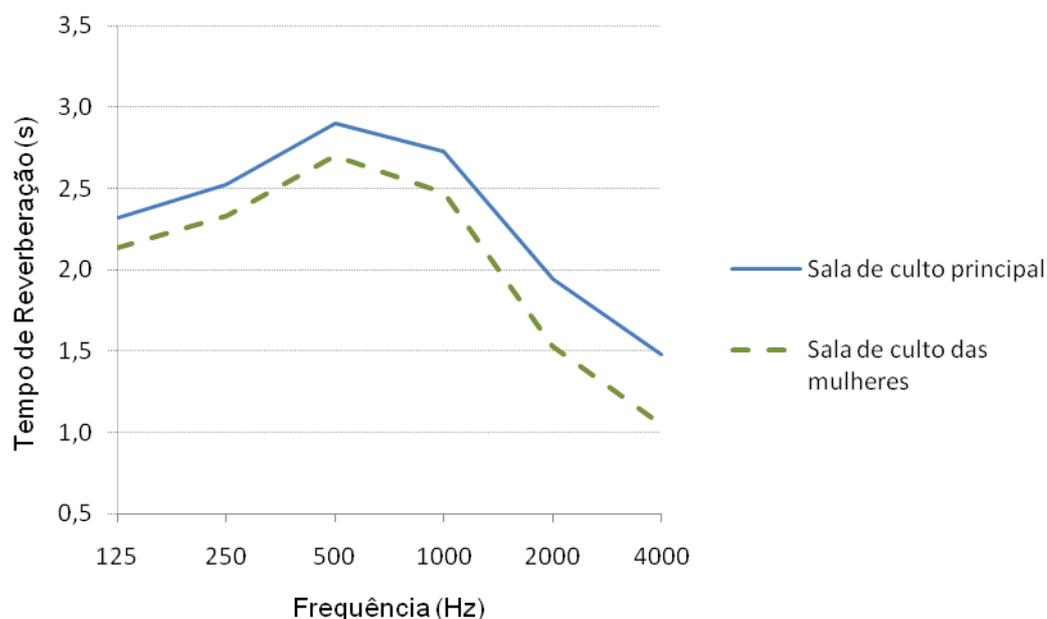


Figura 5.30 - Tempo de reverberação médio medido nas salas de culto principal e das mulheres da Mesquita Central de Lisboa.

5.3.2.3. Comparação com valores recomendados

Neste subcapítulo pretende-se verificar se os valores do tempo de reverberação medidos nos ensaios *in situ* se aproxima dos valores propostos por alguns autores (Quadro 5.3). Na Figura 4.28 podem-se visualizar as curvas dos valores recomendados por vários autores para diferentes situações em função do volume. Assim, verifica-se que no caso da Mesquita Central de Lisboa só os estudos 5B (frequência de 500 Hz), 5C (salas de conferências) e 5D (frequências médias) se aplicam. No caso do estudo 5B, o valor máximo sugerido do tempo de reverberação é de 0,6 s, no entanto, o valor presente na sala de culto principal é de 2,8 s e na das mulheres 2,6 s. O estudo 5C para um volume de 6040 m³ recomenda um valor de tempo de reverberação máximo entre 0,8 e 0,9 s, sendo que o valor presente na sala de culto principal e das mulheres se encontram acima dos 2 s. Por fim, o estudo 5D recomenda um valor muito baixo de 0,4 s.

Os outros estudos, apresentado também no capítulo 4 que referem valores de tempos de reverberação em função do volume para mesquitas (Figuras 4.42, 4.59 e 4.60) recomendam para o volume de 6040 m³ um valor de tempo de reverberação máximo de 2,0 s. Na Figura 4.60 pode-se verificar que aplicando a tolerância máxima ao valor obtido pela Figura 4.59 (1,7 s) obtém-se um valor máximo de tempo de reverberação de 2,0 s. Existem ainda outros valores recomendados para o tempo de reverberação de 1,0 s no ponto 4.3.2. (Estudo 2), e de 0,5 a 1,0 s no ponto 4.7.2. (Estudo 6).

Assim, conclui-se que a Mesquita Central de Lisboa apresenta valores de tempo de reverberação excessivos para o tipo de utilização previsto.

Quadro 5.3 - Quadro resumo dos valores do tempo de reverberação recomendados nos estudos do capítulo 4 e respectivos valores do tempo de reverberação medidos na Mesquita Central de Lisboa nas salas de culto principal e das mulheres.

Estudo	Tipo	TR máximos (s) Recomendados	TR (s) Medidos	
			Mesquita Central de Lisboa	
			Sala de Culto Principal	Sala de Culto das Mulheres
Mesquita <i>King Abdullah</i> , Amman (frequências médias)		1,0	2,8	2,6
	B (para frequência de 500 Hz)	0,6	2,9	2,7
Mesquitas da Arábia Saudita (Figura 4.28)	C (para salas de conferência – frequências médias)	0,8-0,9	2,8	2,6
	D (para frequências médias)	0,4	2,8	2,6
Desempenho acústico de mesquitas usando modelos computacionais (frequências médias)		0,5-1,0	2,8	2,6
Soluções acústicas na arquitectura otomana clássica (frequências médias)		2,0	2,8	2,6
Parâmetros acústicos nas mesquitas (frequências médias) (Figuras 4.59 e 4.60)	Sem tolerância	1,7	2,8	2,6
	Com tolerância	2,0	2,8	2,6

5.3.3. RASTI

5.3.3.1. Metodologia

O ensaio consistiu na emissão de um sinal durante aproximadamente 8 s modelado em duas bandas de oitava, 500 Hz e 2000 Hz, com as mesmas flutuações de intensidade sonora da voz humana. A fonte sonora é da marca *Briuel & Kjaer* modelo 4225 (Figura 5.31) e o receptor, *Briuel & Kjaer* modelo 4419 (Figura 5.32) está ligado a um microfone omnidireccional que se encontra a uma distância deste de 25-30 cm. Este encontra-se ainda a uma altura de 1 m do pavimento, com o objectivo de simular a situação quando os muçulmanos estão ajoelhados nos tapetes. Este sistema regista em cada posição seleccionada as diferenças entre o som emitido pela fonte e o recebido pelo microfone receptor. O RASTI é calculado automaticamente pelo aparelho atribuindo um valor numérico entre 0 e 1, de forma

a avaliar o nível de degradação do sinal emitido. Este método permite avaliar o nível de inteligibilidade nas diferentes posições na mesquita.

A fonte sonora foi colocada a uma distância de 2,65 m do *Mihrab*. Foram seleccionadas nove pontos receptores na sala de culto principal (Figura 5.33), três posições na sala de culto das mulheres (Figura 5.34) e por fim, de forma a avaliar o sistema de som no pátio efectuou-se uma medição no centro deste. Em cada ponto efectuaram-se três leituras sendo posteriormente realizada uma média aritmética dos valores fornecidos pelo aparelho. De forma a avaliar o sistema de som, realizaram-se medições com e sem este a funcionar.

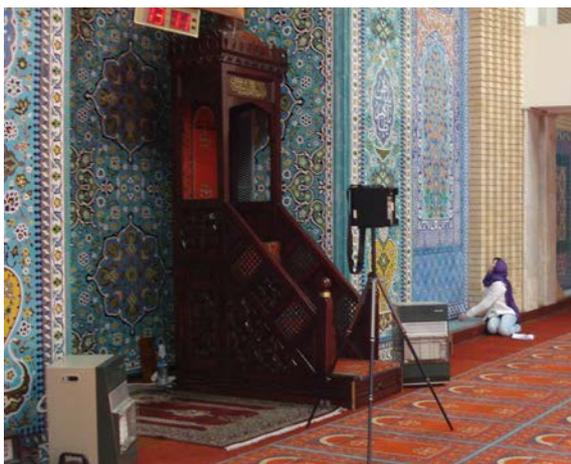


Figura 5.31 - Fonte emissora RASTI da *Brüel & Kjaer* modelo 4225 [Foto da Autora].



Figura 5.32 – Receptor RASTI da *Brüel & Kjaer* modelo 4419 [Foto da Autora].

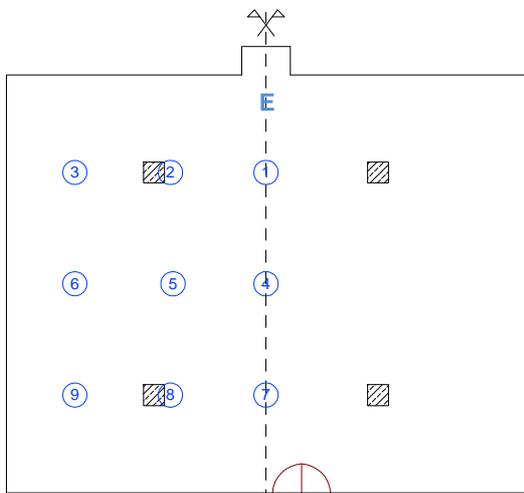


Figura 5.33 - Mapa de pontos de medição do RASTI na sala de culto principal (nove pontos receptores e um, E, emissor) na Mesquita Central de Lisboa.

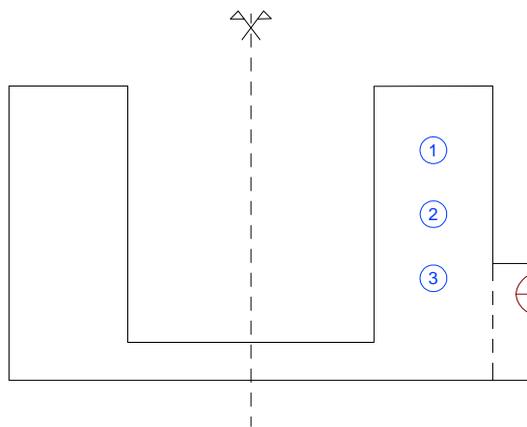


Figura 5.34 - Mapa de pontos de medição do RASTI na sala de culto das mulheres (três pontos receptores e um, E, emissor) na Mesquita Central de Lisboa.

5.3.3.2. Resultados

Os resultados dos valores de RASTI estão presentes nos quadros 5.4 a 5.9.

A sala de culto principal, sem apoio do sistema de som, apresenta um RASTI médio de 0,48, ou seja, um nível de inteligibilidade *suficiente* (Quadro 5.4). A sala de culto das mulheres por sua vez obteve

um valor mais baixo do que a sala principal de 0,38 estando quase num nível considerado de má inteligibilidade (Quadro 5.5).

Quadro 5.4 - Valores do RASTI medidos na sala de culto principal sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Pontos	RASTI				média da sala
	1. ^a medição	2. ^a medição	3. ^a medição	média	
1	0,71	0,73	0,70	0,71	0,48
2	0,62	0,64	0,62	0,63	
3	0,40	0,41	0,41	0,41	
4	0,50	0,50	0,51	0,50	
5	0,46	0,46	0,47	0,46	
6	0,37	0,37	0,38	0,37	
7	0,44	0,43	0,43	0,43	
8	0,40	0,41	0,42	0,41	
9	0,39	0,38	0,41	0,39	

Quadro 5.5 - Valores do RASTI medidos na sala de culto das mulheres sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Pontos	RASTI				média da sala
	1. ^a medição	2. ^a medição	3. ^a medição	média	
1	0,39	0,40	0,41	0,40	0,38
2	0,37	0,37	0,36	0,37	
3	0,36	0,37	0,36	0,36	

Analisando a Figura 5.35 (situação sem o sistema sonoro) pode-se verificar que apesar da média da sala ser um valor baixo, a nível de inteligibilidade existem pontos onde esta é *boa*, são esses os pontos 1 e 2 (próximos da fonte sonora). Verifica-se que conforme se afasta da fonte sonora menor é a inteligibilidade da palavra. No entanto, a posição 3 situada no canto da sala de culto na fila da frente apresenta uma inteligibilidade da palavra mais baixa do que a que se tem na posição 4 em frente à fonte emissora na segunda fila de medições. Observando mais atentamente a Figura 5.35 pode-se verificar que para a mesma fila de medições conforme se afasta para os cantos da sala o nível de inteligibilidade diminui e, essa diminuição varia menos quando se fala das posições localizadas na parte de trás da sala. Por exemplo, na última fila de medições a variação do RASTI é muito baixa. Verifica-se por outro lado, grandes variações entre a posição 1 e a posição 7 localizadas em frente à fonte sonora de 0,71 para 0,43.

Em relação à sala de culto das mulheres, esta tem variações menos significativas mas apresenta uma inteligibilidade *mediocre*. É importante referir que é normal esta variação ser mais pequena do que na sala de culto principal porque a distância dos pontos em relação à fonte, entre as posições, varia menos

do que no caso anterior, ou seja, para além da sala ser mais pequena a fonte localiza-se a uma distância considerável (Figura 5.35).

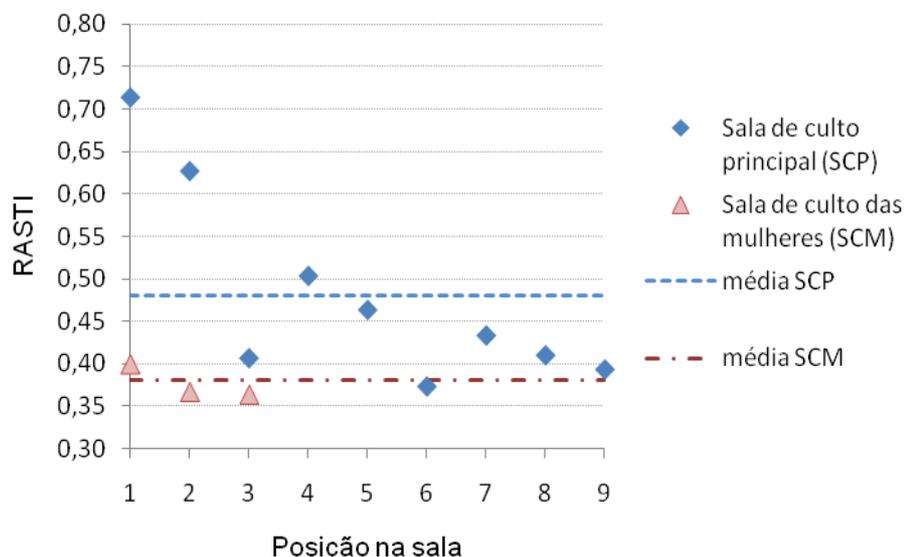


Figura 5.35 - Valores do RASTI obtidos para as várias posições na sala de culto principal e das mulheres sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Na segunda fase de medições ligou-se o sistema de som (SRS) e avaliaram-se as diferenças provocadas na inteligibilidade da palavra por este elemento nas mesmas posições. Assim, na sala de culto principal chegou-se a um valor médio de 0,47 ligeiramente inferior ao anterior, ou seja, este elemento não provocou melhoria na inteligibilidade no seu aspecto global à sala (Quadro 5.6). Em relação à sala de culto das mulheres, verificou-se uma ligeira melhoria na percepção da palavra, no entanto, é importante referir que não existe nenhuma coluna direccionada para este espaço (Quadro 5.7). Relativamente ao pátio, (Quadro 5.8) resolveu-se medir no centro deste a inteligibilidade da palavra e, verificou-se que com o sistema de som ligado este era o local com melhor inteligibilidade (0,64).

Quadro 5.6 - Valores do RASTI medidos na sala de culto principal com o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Pontos	RASTI				média da sala
	1.ª medição	2.ª medição	3.ª medição	média	
1	0,48	0,48	0,49	0,48	
2	0,43	0,43	0,44	0,43	
3	0,51	0,52	0,53	0,52	
4	0,47	0,47	0,48	0,47	
5	0,45	0,46	0,46	0,46	0,47
6	0,45	0,45	0,44	0,45	
7	0,47	0,46	0,48	0,47	
8	0,47	0,46	0,46	0,46	
9	0,52	0,53	0,52	0,52	

Quadro 5.7 - Valores do RASTI medidos na sala de culto das mulheres com o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Pontos	RASTI				
	1. ^a medição	2. ^a medição	3. ^a medição	média	média da sala
1	0,45	0,46	0,46	0,46	
2	0,42	0,42	0,41	0,42	0,44
3	0,44	0,44	0,45	0,44	

Quadro 5.8 - Valores do RASTI medidos no pátio com o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Pontos	RASTI			
	1. ^a medição	2. ^a medição	3. ^a medição	Média
1	0,63	0,63	0,65	0,64

Na Figura 5.36 podem-se visualizar os resultados obtidos nas várias posições com o sistema de som ligado, na sala de culto principal, das mulheres e no pátio. Começando pela sala de culto principal verifica-se uma certa uniformidade nos valores. As posições 3 e 9 apresentam os valores mais altos do RASTI pois localizam-se perto das colunas situadas nos cantos. Relativamente às restantes posições, verifica-se mais ou menos o mesmo nível de inteligibilidade. Na sala de culto das mulheres verifica-se que existe pouca variação dos valores do RASTI nas três posições mas, constata-se uma ligeira melhoria resultante possivelmente das colunas localizadas na cúpula e nos cantos superiores, que permitem uma certa uniformização do som no espaço central. Em relação à pouca variação da inteligibilidade nas várias posições, ela já foi explicada no gráfico anterior. Por fim, mediu-se o nível de inteligibilidade no centro do pátio e conclui-se que este apresentava um valor superior ao de qualquer ponto no interior das salas.

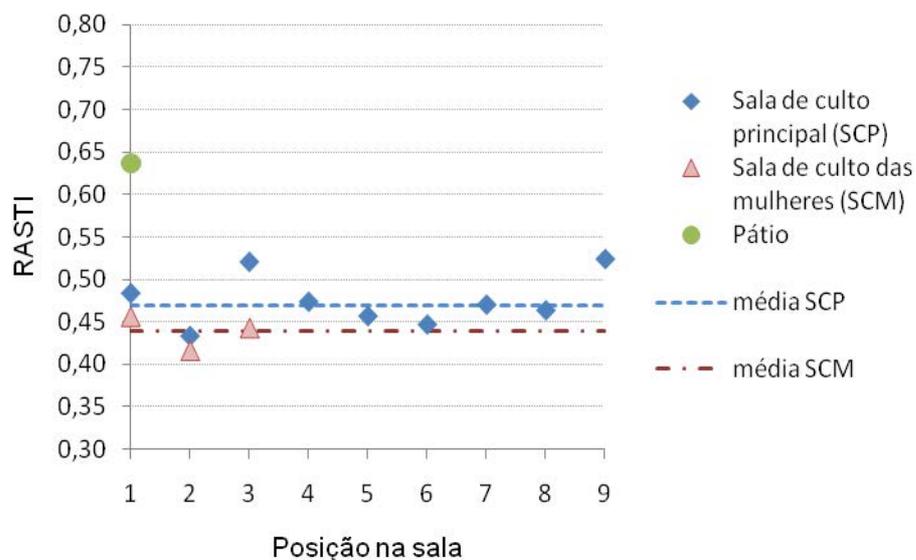


Figura 5.36 - Valores do RASTI obtidos para as diferentes posições na sala de culto principal e das mulheres e no pátio com o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Com a Figura 5.37 é possível avaliar o efeito do sistema de som na sala de culto principal. Assim, verifica-se que para as posições perto da fonte sonora, 1 e 2, este prejudica a inteligibilidade da palavra. Na posição 3 constata-se uma melhoria considerável. Para as posições 4 e 5 localizadas na segunda fila de medições verifica-se uma ligeira quebra na percepção da palavra sendo que a posição 5 apresenta quase os mesmos valores nas duas situações. Para as posições mais afastadas obteve-se uma ligeira melhoria na percepção. Assim, pode-se concluir que o sistema de som possibilita uma melhoria do nível de inteligibilidade nas posições junto aos cantos da sala, sendo que a tendência mostra que os lugares mais afastados da fonte sonora melhoram a sua inteligibilidade com o sistema de som. O único problema deste sistema é provocar uma perda de percepção nos lugares frontais junto da fonte emissora. Assim, este sistema conduz a uma perda de inteligibilidade da palavra na sala de culto principal.

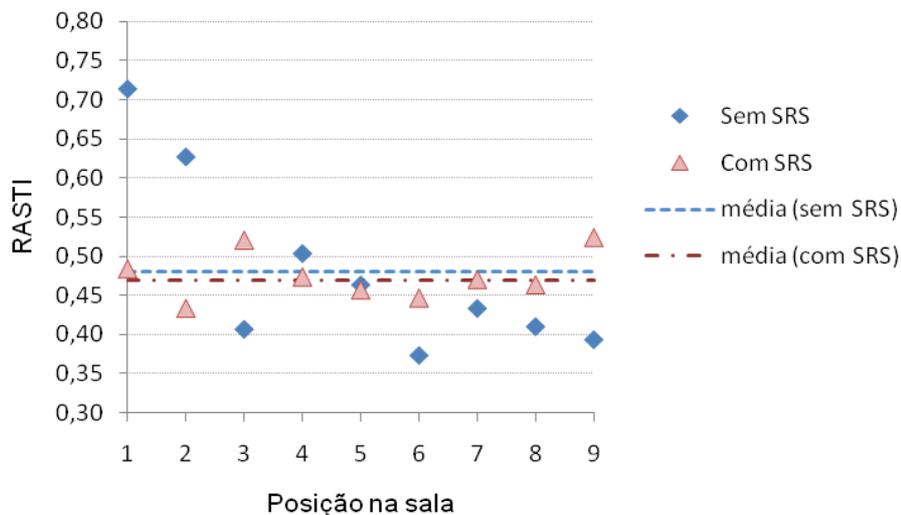


Figura 5.37 - Valores de RASTI obtidos para as várias posições na sala de culto principal com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Na Figura 5.38 pode-se verificar uma melhoria do RASTI na sala de culto das mulheres com o uso do sistema em todas as posições. Contudo, apesar de se ter verificado um incremento este não é suficiente para se considerar uma boa inteligibilidade.

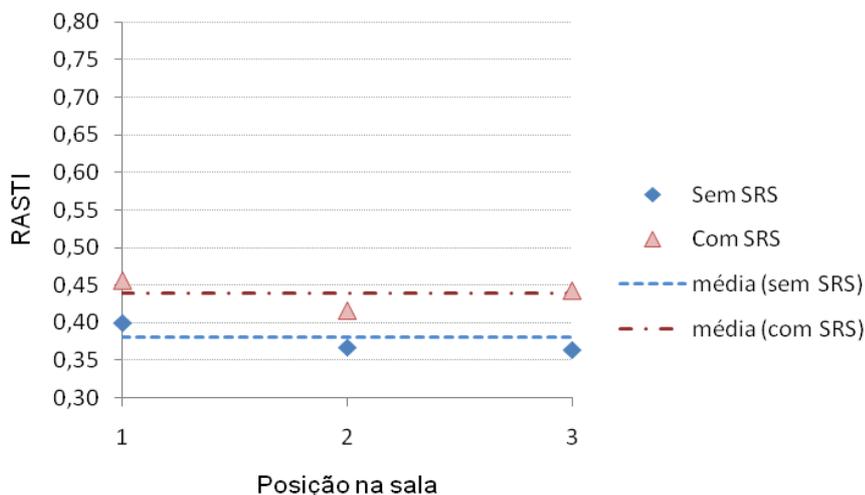


Figura 5.38 - Valores do RASTI obtidos para as várias posições na sala de culto das mulheres com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS) na Mesquita Central de Lisboa.

Para finalizar apresenta-se no Quadro 5.9 os valores do RASTI médios para as duas salas com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS).

Assim, na sala de culto principal verifica-se que o uso do sistema sonoro conduz a uma diminuição dos valores do RASTI de 0,01. Esta situação é explicada pela localização do sistema de som em cantos, zonas maléficas no que diz respeito a geração de reflexões, e, pelo facto do sistema de som vir a agravar esta situação provocando ainda mais reflexões atrasadas e com uma intensidade considerável. Assim, é preferível desligar o sistema de reforço electroacústico.

Quadro 5.9 - Quadro resumo dos cinco RASTI médios na Mesquita Central de Lisboa.

Local	Sem SRS	Com SRS	Δ RASTI
Sala de Culto Principal	0,48	0,47	-0,01
Sala de Culto das Mulheres	0,38	0,44	0,06
Pátio	-	0,64	-

SRS – Sistema de Reforço Electroacústico

5.3.4. NÍVEL SONORO

5.3.4.1. Metodologia

A avaliação dos níveis sonoros do ruído de fundo foi realizado com o sonómetro *Brüel & Kjaer* modelo 2260 (Figura 5.25). Atendendo ao facto desta mesquita se localizar entre ruas movimentadas implica a que exista algum nível de ruído de tráfego. Por outro lado, esta mesquita encontra-se numa zona onde existem rotas de aviões, implicando que a cerca de cada três minutos passe um avião. Tendo por base estas considerações realizou-se uma medição de 15 minutos de forma a estabilizar o ruído de fundo. Foram obtidos níveis de pressão sonora dos 63 Hz aos 16000 Hz. Esta medição foi realizada na sala de culto principal e das mulheres (Figuras 5.39 e 5.40). Na Figura 5.41 estão localizados os pontos de medição do ruído de fundo na sala de culto principal e na Figura 5.42 os pontos na sala de culto das mulheres.



Figura 5.39 - Medição do ruído de fundo na sala de culto principal [Foto da Autora].



Figura 5.40 - Medição do ruído de fundo na sala de culto das mulheres [Foto Autora].

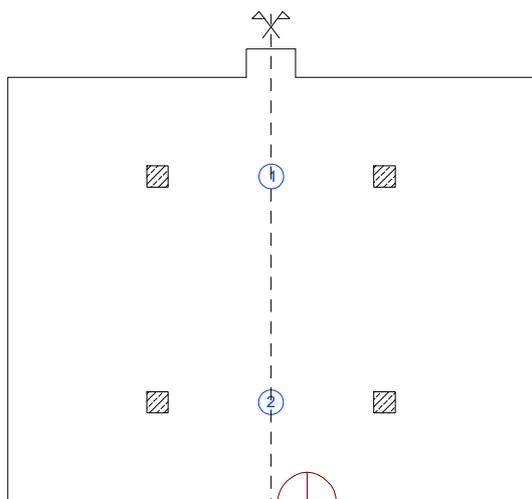


Figura 5.41 - Mapa de pontos de medição do ruído de fundo na sala de culto principal na Mesquita Central de Lisboa.

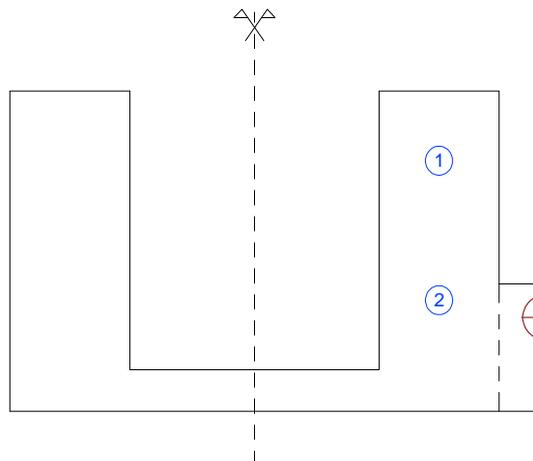


Figura 5.42 - Mapa de pontos de medição do ruído de fundo na sala de culto das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.

5.3.4.2. Resultados

Observando os Quadros 5.10 e 5.11 podem-se visualizar os valores obtidos para os níveis de pressão sonora do ruído de fundo nos dois pontos medidos por banda de frequência. O ruído de fundo corresponde à média energética destes valores na sala de culto principal e na das mulheres. No Quadro 5.2 pode-se verificar que não existem diferenças significativas no ruído de fundo entre as duas salas, visto estas funcionarem de certa forma como um todo, ou seja, não existem elementos suficientes a separar a sala de culto das mulheres da principal (Figura 5.43). Assim, o nível de pressão sonora do ruído de fundo global nas salas é de 59 dB.

Quadro 5.10 - Níveis de pressão sonora medidos em cada ponto na sala de culto principal na Mesquita Central de Lisboa.

Parâmetro (Pontos)	Banda de Frequência (Hz)								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
L ₁ (dB)	57,0	50,6	48,2	48,2	43,8	36,6	26,6	18,0	12,7
L ₂ (dB)	57,1	50,8	48,4	48,5	44,2	36,9	26,7	18,0	12,7
L _{médio} (dB)	57,1	50,7	48,3	48,4	44,0	36,8	26,7	18,0	12,7

Quadro 5.11 - Níveis de pressão sonora medidos na sala de culto das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.

Parâmetro (Pontos)	Banda de Frequência (Hz)								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
L ₁ (dB)	57,0	50,2	48,0	48,1	43,6	36,6	26,6	17,8	12,8
L ₂ (dB)	57,1	50,6	48,3	48,4	44,0	36,8	26,6	17,8	12,6
L _{médio} (dB)	57,1	50,4	48,2	48,3	43,8	36,7	26,6	17,8	12,7

Quadro 5.12 - Níveis de pressão sonora médios na sala de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.

Sala de Culto	Banda de Frequência (Hz)									Σ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	
Principal	57,1	50,7	48,3	48,4	44,0	36,8	26,7	18,0	12,7	59,0
Mulheres	57,1	50,4	48,2	48,3	43,8	36,7	26,6	17,8	12,7	58,9
ΔL (dB)	0,0	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1

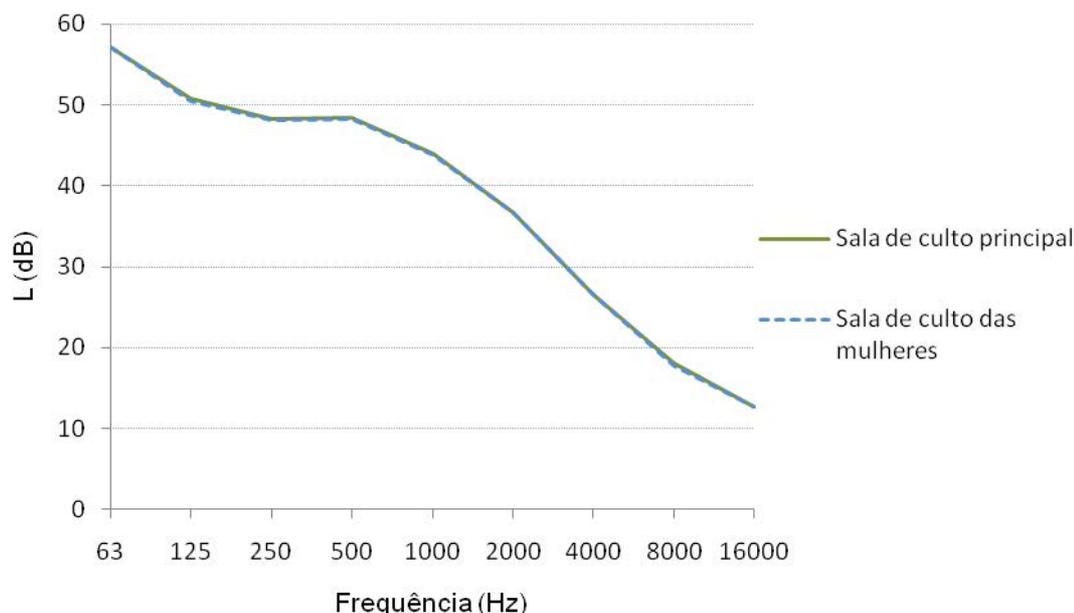


Figura 5.43 - Níveis de pressão sonora médios nas salas de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.

No Quadro 5.13 e Figura 5.44 é possível visualizar o que já foi anteriormente concluído e, pode-se verificar que o nível sonoro com a aplicação do filtro A é de 49 dB(A).

Quadro 5.13 - Níveis sonoros com aplicação do filtro A nas salas de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.

Sala de Culto	Banda de Frequência (Hz)									Σ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	
Principal	31,1	35,2	39,8	45,4	44,0	37,8	27,7	17,0	5,7	49,0
Mulheres	31,1	34,9	39,7	45,3	43,8	37,7	27,6	16,8	5,7	48,9
ΔL_A (dB)	0,0	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1

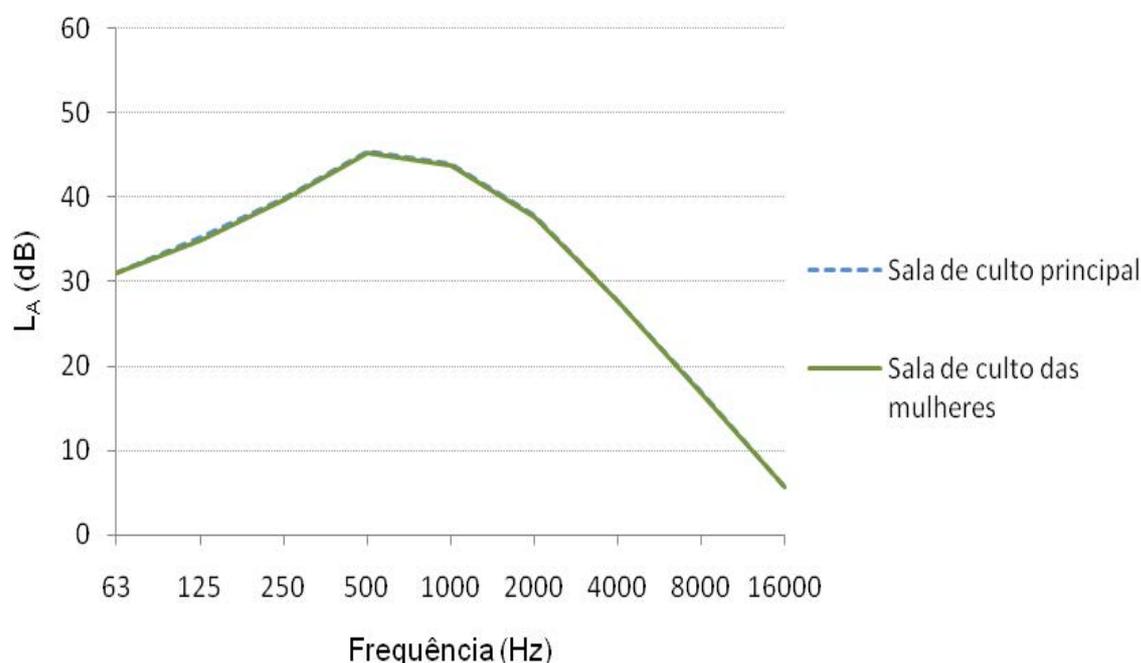


Figura 5.44 - Níveis sonoros médios com aplicação do filtro A nas salas de culto principal e das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.

5.3.4.3. Curvas de Incomodidade

De forma a avaliar o nível de incomodidade nas salas recorreu-se ao método *Noise Criteria* (NC). É importante referir que este método foi pensado para ser aplicado a situações de existência de equipamentos AVAC ou de ventilação mecânica, pois tem como objectivo avaliar o nível de incomodidade provocado pelo uso contínuo deste tipo de equipamentos. Como neste caso não existe este tipo de equipamento na sala, o uso deste parâmetro é um pouco deslocado. Espera-se contudo, que este se encontre abaixo do limite estipulado para salas cuja a inteligibilidade da palavra é importante (NC30). Recorrendo aos valores do Quadro 5.12 e às curvas do método *Noise Criteria* verifica-se que o nível de pressão sonora do ruído de fundo instalado nas salas de culto principal e das mulheres corresponde em ambos os locais ao NC44 (Figura 5.45 e 5.46) devido à similaridade do nível de pressão sonora do ruído de fundo instalado nestas salas.

Estes valores permitem concluir que o valor NC instalado nas salas de culto ultrapassa o limite superior estipulado para salas cuja a inteligibilidade é importante. Como não existem equipamentos AVAC ou de ventilação mecânica, a justificação para este valor está relacionado com o ruído de tráfego, tanto rodoviário como aéreo. Tal como já foi referido, a mesquita está localizada entre ruas principais a que se adiciona o fraco isolamento sonoro da mesquita que conduz a um incomodativo nível de pressão sonora do ruído de fundo.

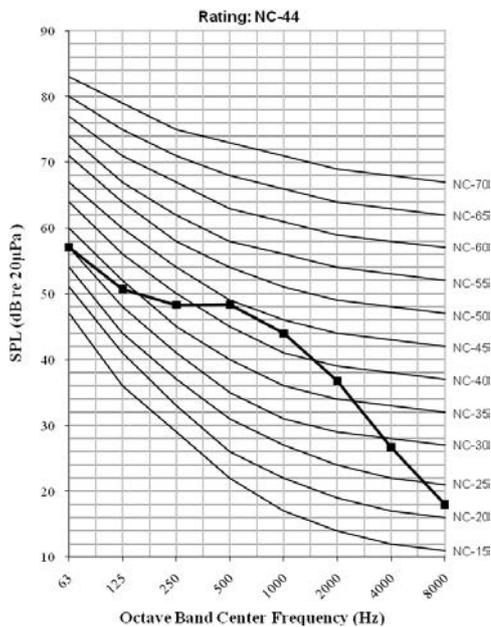


Figura 5.45 - Método *Noise Criteria* (NC) aplicado à sala de culto principal na Mesquita Central de Lisboa.

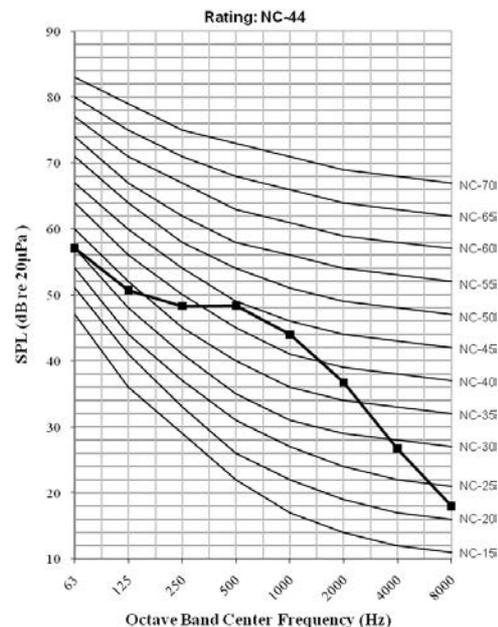


Figura 5.46 - Método *Noise Criteria* (NC) aplicado à sala de culto das mulheres na Mesquita Central de Lisboa.

5.3.5. ANÁLISE SUBJECTIVA

Para uma análise subjectiva aos espaços pediu-se ao Xeique Munir que transmitisse com base na sua opinião e na dos frequentadores da mesquita algumas informações sobre a Mesquita Central de Lisboa. Assim, os problemas expostos foram:

- O sistema de som está adaptado à voz do Xeique, por vezes quando outra pessoa o utiliza poderão surgir problemas devido a essa situação ou, pelo facto da pessoa não projectar bem a voz;
- Relativamente ao ruído de tráfego aéreo apesar de passar um avião de 3 em 3 minutos o Xeique disse que este não incomodava;
- O ruído de tráfego rodoviário apresenta-se incomodativo, mas o maior problema associado a este é a existência de um parque de estacionamento à volta da mesquita e haver pessoas que estacionam de maneira a impedir a saída de outras viaturas. Daí um dos ruídos incomodativos ser o das buzinas;
- Relativamente aos locais onde se ouve melhor, ele referiu que apesar de não ter muita percepção, por vezes as pessoas preferem ficar localizadas perto do sistema de som, ou perto das paredes, havendo mesmo quem opte por ficar no pátio durante a celebração do sermão de Sexta-feira;
- Relativamente à sala de culto das mulheres, o Xeique disse que a sala mais perto da entrada é a mais usada, mas que a outra sala é usada principalmente quando as mulheres pretendem alguma tranquilidade durante a oração.

5.3.6. COMENTÁRIO FINAL

Neste subcapítulo pretende-se confrontar a análise acústica objectiva com a subjectiva.

Em relação ao parâmetro tempo de reverberação na sala de culto principal foram seleccionados seis pontos diferentes (em metade da sala visto esta ser simétrica). Na sala de culto das mulheres efectuaram-se medições em três pontos. Com as medições obteve-se valores de tempo de reverberação para as frequências médias (500-1000 Hz) de 2,8 s e de 2,6 s, para a sala de culto principal e das mulheres, respectivamente. Assim, pode-se concluir que estes valores estão muito acima dos valores recomendados para salas cuja inteligibilidade da palavra é importante (≈ 1 s) e para mesquitas (≈ 2 s). Por outro lado, ambas as salas apresentam valores de tempo de reverberação mais elevados nas frequências médias do que no resto da gama das frequências. Relativamente ao facto do tempo de reverberação ser mais elevado na sala de culto principal do que das mulheres, pode ser explicado com o facto da sala de culto principal apresentar um volume muito superior ao das mulheres originando ondas reflectidas um pouco mais atrasadas. No entanto, é importante referir que estes espaços estão unicamente separados por um reguado aberto de madeira.

Para avaliar o nível da inteligibilidade da palavra mediu-se o RASTI em nove pontos diferentes na sala de culto principal e em três pontos na sala de cultos das mulheres. Para a sala de culto principal obteve-se um RASTI médio de 0,48 (nível de inteligibilidade *razoável*) com o sistema electroacústico (SRS) desligado, apresentando melhor inteligibilidade na posição perto do Imã, e, piores resultados na zona posterior junto às paredes laterais. Com o sistema ligado obteve-se um RASTI médio de 0,47 verificando-se uma perda de percepção junto da fonte, Imã, e, uma ligeira melhoria nos cantos junto às colunas de som. Relativamente à sala de culto das mulheres, verificou-se a existência de pouca variação dos valores nas diferentes posições obtendo-se um RASTI médio de 0,38 (nível de inteligibilidade *baixo*) com o sistema SRS desligado e de 0,44 (nível de inteligibilidade perto do *suficiente*) com este ligado. Por outro lado, obteve-se um RASTI de 0,64 na zona do pátio. Assim, pode-se verificar que os resultados obtidos confirmam que quando o sistema de som está ligado o local onde se ouve com melhor inteligibilidade é no pátio. Relativamente à preferência por ficarem junto às paredes e ao sistema de som, como já foi comentado anteriormente, quando este está em funcionamento melhora a percepção junto dele mas diminui noutros pontos da sala. Esta situação é explicado com o facto do sistema de som estar localizado nos cantos, zonas malélicas no que diz respeito à geração de reflexões e, pelo facto do sistema de som vir a agravar esta situação provocando ainda mais reflexões atrasadas e com uma intensidade considerável, prejudicando a inteligibilidade. Assim, é preferível desligar o sistema de reforço electroacústico.

O nível de ruído de fundo foi medido em dois pontos diferentes em cada sala de culto, principal e das mulheres, e obteve-se um nível de pressão sonora semelhante de 59 dB. Relativamente ao nível sonoro, obteve-se valores de 49 dB(A) em ambas as salas de culto. Assim, apesar de não existir equipamentos AVAC ou de ventilação mecânica verifica-se um elevado nível de pressão sonora do ruído de fundo na sala. Relativamente ao método *Noise Criteria*, obteve-se um NC44 muito superior ao máximo recomendado para salas cuja a inteligibilidade da palavra é importante (NC30) concluindo-se assim, que este é excessivo para as condições a que a sala está destinada.

6

COMPARAÇÃO DA MESQUITA CENTRAL DE LISBOA COM OUTRAS MESQUITAS E IGREJAS COM VOLUMETRIA SEMELHANTE

6.1. COMPARAÇÃO COM OUTRAS MESQUITAS

6.1.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Com base nos estudos descritos no capítulo 4 pretende-se avaliar as semelhanças e diferenças existentes entre essas mesquitas e a de Lisboa. De acordo com aqueles estudos, para o tempo de reverberação só existem informações sobre a sala de culto principal.

A Figura 6.1 apresenta os volumes e os valores de tempos de reverberação médios (500-1000 Hz) das respectivas mesquitas estudadas. Foi usada uma escala logarítmica no eixo das abcissas dada a disparidade verificada entre os volumes das mesquitas. Existem duas mesquitas que apresentam tempos de reverberação que não seguem a tendência das restantes mesquitas: a mesquita *King Abdullah* e a mesquita pertencente ao grupo F das mesquitas da Arábia Saudita. Estas apresentam uns valores de tempo de reverberação mais baixos do que as mesquitas com volumes próximos destas. No caso da mesquita *King Abdullah*, este valor é compreensível visto ter sido considerada a situação após o tratamento acústico. Em relação à outra mesquita, não existem informações sobre a existência ou não de tratamento acústico, mas este valor aponta para que também tenha existido essa preocupação.

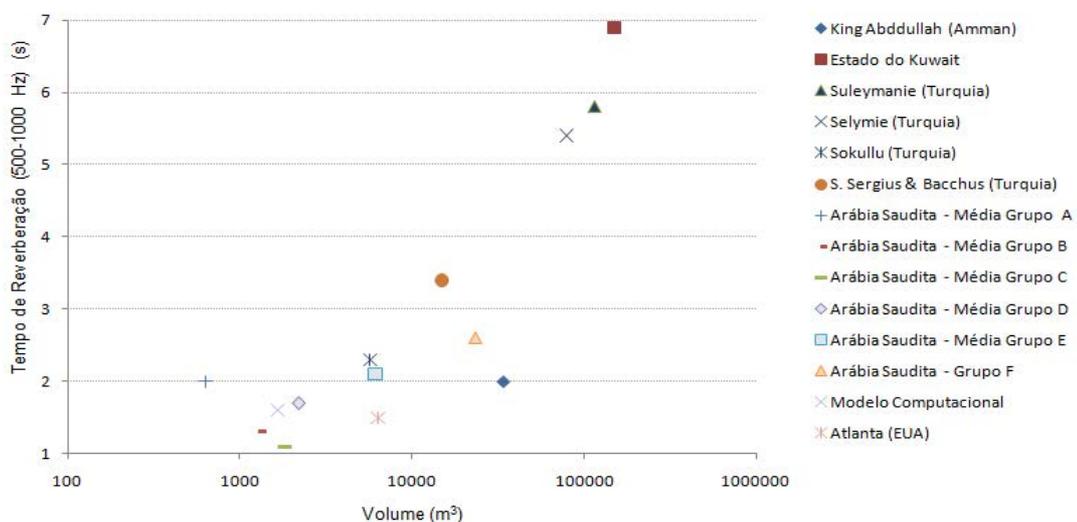


Figura 6.1 - Valores dos tempos de reverberação (500, 1000 Hz) das mesquitas em função do volume.

Na Figura 6.2 pode-se visualizar a função de regressão (quadrática) que melhor se aproxima ao grupo de mesquitas apresentado na Figura 6.1, com um coeficiente de correlação R^2 de 0,91. Relembrando o facto da Mesquita Central de Lisboa apresentar um volume de 6040 m^3 e um tempo de reverberação para as médias frequências de 2,8 s, pode-se concluir que esta apresenta uma discrepância de 0,9 s em relação ao previsível pela função de ajuste que, para este volume, prevê um tempo de reverberação de 1,9 s. Assim, a mesquita não segue a tendência das restantes mesquitas apresentando um valor de tempo de reverberação superior ao espectável para este tipo de edifício.

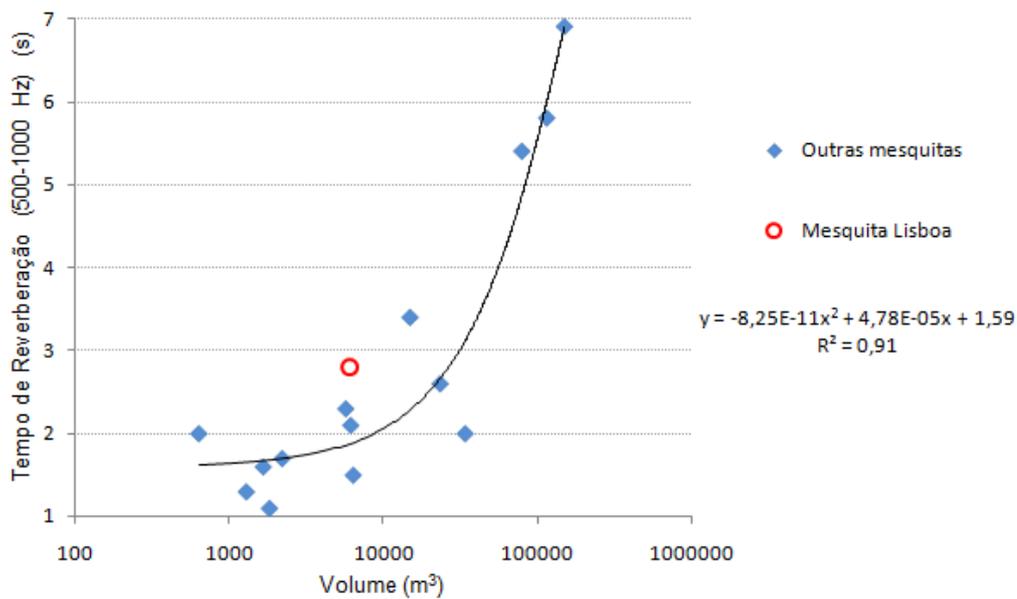


Figura 6.2 - Tempo de Reverberação (500, 1000 Hz) das mesquitas em função do volume e a função de regressão.

Atendendo ao estudo realizado na Arábia Saudita compararam-se os valores obtidos de tempos de reverberação para o grupo E, cujas mesquitas apresentam um volume superior a 3000 m^3 e inferior a 10000 m^3 , com os valores obtidos na Mesquita Central de Lisboa. No Quadro 6.1 e na Figura 6.3 é possível visualizar que em determinadas bandas como as dos 1000 Hz existem diferenças consideráveis nos tempos de reverberação (cerca de 0,8 s), mas é importante relembrar que estes valores correspondem a uma média de três mesquitas que apresentam volumes um pouco diferentes (5105 , 6286 e 7034 m^3) e a envolvente interior pode oferecer condições diferentes a nível de absorção sonora. Nas frequências altas, verificam-se diferenças menos significativas, pois esta parcela de absorção deve-se aos tapetes e ao ar, ou seja, atendendo ao facto da área de piso abrangida por aqueles e o volume de ar serem parecidos é normal que nestas frequências se verifique esta aproximação. Um outro aspecto curioso inerente a essas mesquitas do Grupo E relaciona-se com o facto dos valores de tempo de reverberação diminuírem com o aumento do valor da banda de frequência (efeito do ar) enquanto que a Mesquita Central de Lisboa apresenta valores de tempo de reverberação mais elevados para as médias frequências. Consequentemente, o tempo de reverberação médio (500, 1000 Hz) para as mesquitas do Grupo E é de 2,2 s enquanto que para a mesquita de Lisboa é de 2,8 s.

Quadro 6.1 - Tempos de Reverberação por banda de frequência para as mesquitas pertencentes ao grupo E na Arábia Saudita e à mesquita Central de Lisboa.

Banda de Frequência (Hz)	TR (s) Mesquitas Arábia Saudita - Grupo E (3000 <V< 10000 m ³)	TR (s) Mesquita Central de Lisboa	ΔTR (s)
125	2,9	2,3	0,6
250	2,7	2,5	0,2
500	2,4	2,9	0,5
1000	2,0	2,7	0,8
2000	1,7	1,9	0,2
4000	1,5	1,5	0,0

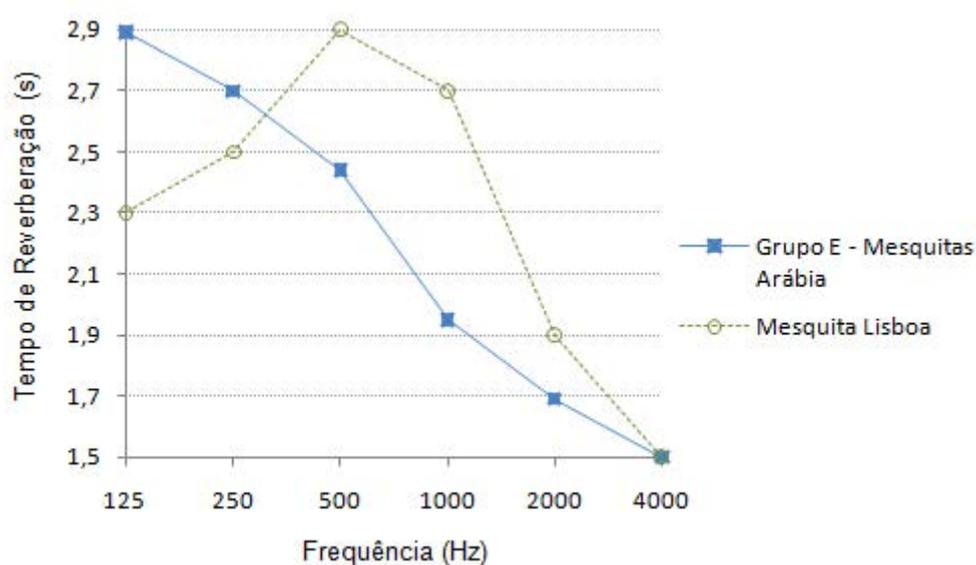


Figura 6.3 - Tempos de Reverberação por banda de frequência do Grupo E das mesquitas na Arábia Saudita e da Mesquita Central de Lisboa.

6.1.2. RASTI

Os valores de RASTI/STI serão comparados de duas formas distintas, com ou sem sistema de reforço electroacústico. Este parâmetro aparece referenciado no estudo da mesquita do *Estado do Kuwait* para a sala de culto das mulheres. Um outro aspecto importante está relacionado com o facto de muitos estudos não apresentarem um valor médio mas sim, mapas com a referenciação dos valores de RASTI/STI nos diferentes pontos da sala. Assim, por simplificação, optou-se por verificar quais as zonas com o RASTI/STI predominante e atribuir um valor médio desse intervalo. Os valores presentes nas Figuras 6.4 e 6.5 estão disponibilizados no capítulo 4 no Quadro 4.7.

Observando a Figura 6.4 referente aos valores obtidos na sala de culto principal nas diversas mesquitas pode-se concluir que a mesquita que apresenta o melhor valor é a *King Abdullah*, na cidade de Amman, sendo este valor compreensível pois foi atingido após tratamento acústico. Relativamente aos valores obtidos nas restantes mesquitas sem o uso do sistema de reforço electroacústico, verifica-se que existe uma oscilação desde os 0,30 aos 0,58 ou seja, são ambientes cuja inteligibilidade da palavra

varia de *mediocre* a *suficiente*. A Mesquita Central de Lisboa apresenta um valor de RASTI (0,48) acima da média (0,44) das mesquitas analisadas no capítulo 4.

Atendendo agora ao uso do sistema de reforço electroacústico, pode-se concluir que a maioria das mesquitas apresenta um valor médio do RASTI/STI melhor do que sem o uso deste, mas no entanto, esta informação não é suficiente na medida que o sistema pode ter provocado melhorias significativas em pontos concretos e prejudicado outros. Assim, recorrendo à Figura 4.34 referente às mesquitas da Arábia Saudita pode-se verificar que em nenhum caso o sistema provocou o aparecimento de valores para o STI inferiores aos obtidos sem o uso do sistema sonoro. No entanto, existem alguns casos (TH32, TH27 e TH48) como o da Mesquita Central de Lisboa cujo o sistema se encontra desadequado à sala de culto provocando um ligeiro decréscimo no valor do RASTI/STI médio. No caso da Mesquita Central de Lisboa, verificou-se mesmo a perda de inteligibilidade em algumas posições. Existe ainda um outro caso interessante, a mesquita DM242 pertencente ao grupo A das mesquitas da Arábia Saudita em que uso do sistema electroacústico não provocou alterações no valor médio do STI. Para finalizar a Mesquita Central de Lisboa apresenta um valor do RASTI médio (0,47) abaixo da média das outras mesquitas analisadas (0,49).

Com isto pode-se concluir que a Mesquita Central de Lisboa apresenta características internas ligeiramente melhores que a maioria das mesquitas para a inteligibilidade da palavra que com um bom sistema sonoro poderia apresentar valores acima da média das outras mesquitas.

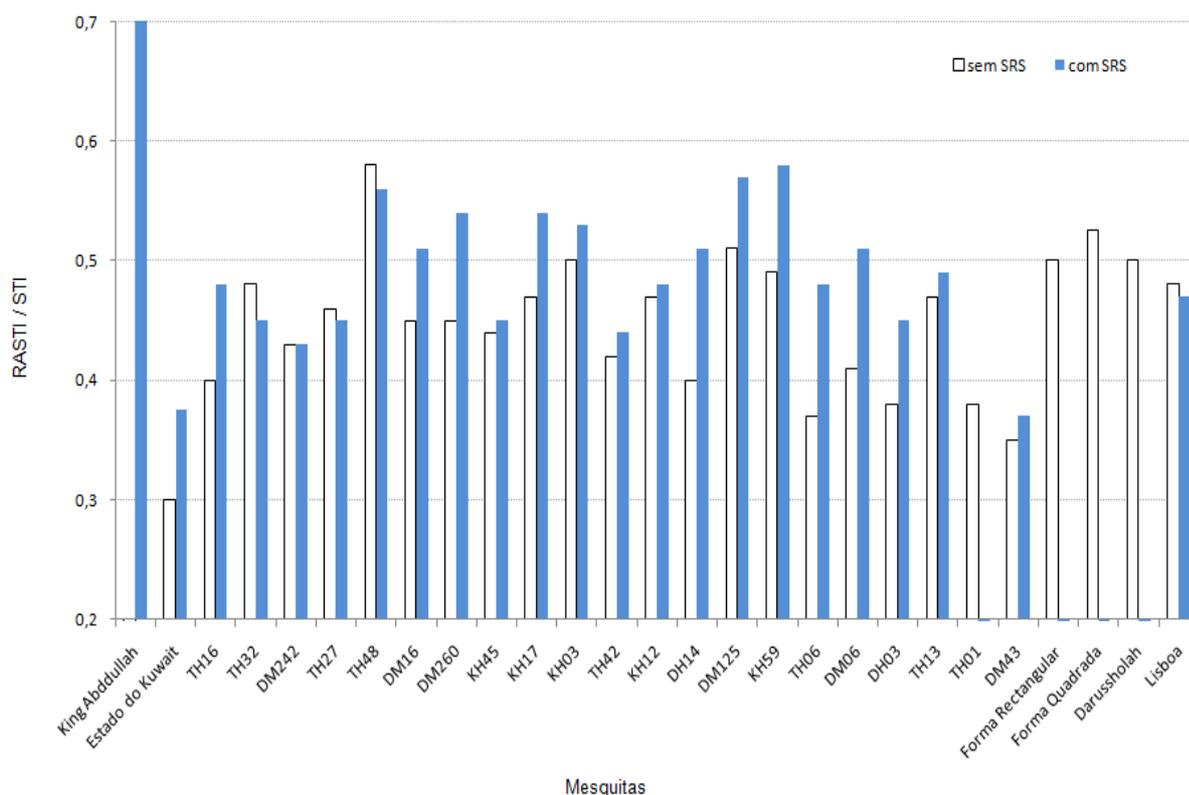


Figura 6.4 - Valores médios do RASTI medidos na sala de culto principal nas mesquitas com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico (SRS).

Na Figura 6.5 apresentam-se os valores de RASTI obtidos na sala de culto das mulheres nas mesquitas do *Estado do Kuwait* e Central de Lisboa. Como é possível verificar não existem informações referentes ao RASTI na sala de culto das mulheres sem o uso do sistema electroacústico. Assim, só é possível comparar os valores com o uso do sistema sonoro. Pode-se concluir que a Mesquita Central

de Lisboa apresenta um valor do RASTI médio superior ao da mesquita do *Estado do Kuwait*, sendo que estes valores conduzem a um nível de inteligibilidade *mediocre*.

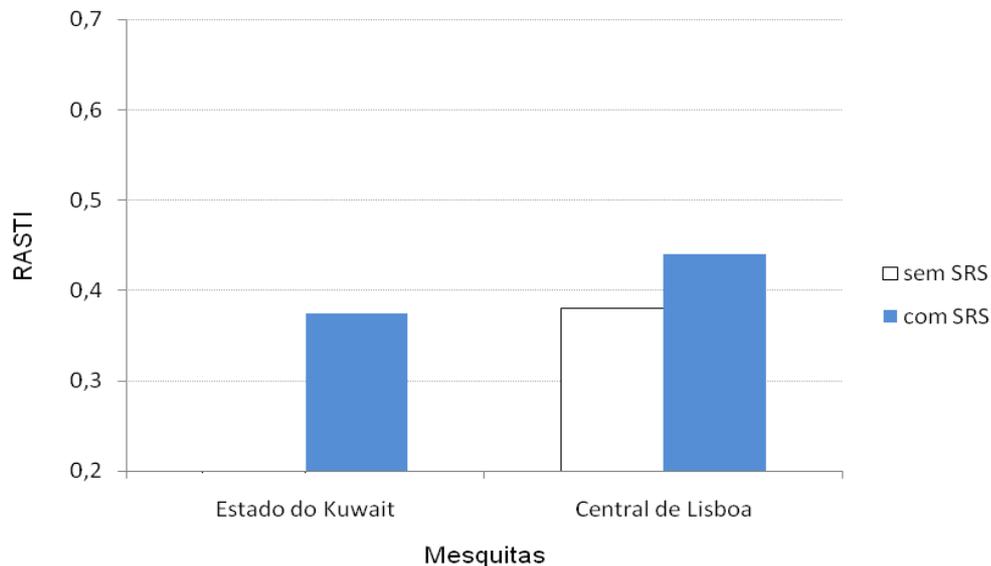


Figura 6.5 - Valores médios do RASTI medidos na sala de culto das mulheres nas mesquitas do *Estado do Kuwait* e Central de Lisboa com e sem o uso do sistema de reforço electroacústico.

Para concluir pretende-se comparar os valores obtidos na Mesquita Central de Lisboa (Figuras 5.34 e 5.38) nos diversos pontos com os mapas disponibilizados nos estudos da mesquita do Kuwait (Figuras 4.11 e 4.14) e, dos modelos computacionais (Figura 4.38), mais propriamente as formas rectangulares e quadrada.

Atendendo aos valores medidos na sala de culto principal sem o uso do sistema reforço electroacústico pode-se verificar que junto ao Imã, na zona central, existe uma mancha onde a inteligibilidade é *boa* sendo que na zona em redor desta a inteligibilidade será *suficiente* apresentando uma tendência a diminuir com o afastamento da fonte. Junto às paredes verifica-se uma diminuição da inteligibilidade para valores considerados *mediocres*. Estes valores do RASTI tendem a estabilizar com o afastamento à fonte sonora porque quanto mais afastado os receptores tiverem da fonte menos sujeitos estão ao campo directo estando sobre influência do reverberado, o que não acontece para as posições perto do Imã. Um outro aspecto importante é que as medições foram efectuadas com a fonte voltada para os fiéis, assim, para comparar com o estudo dos modelos computacionais a situação que mais se aproxima é no modo *sermão* com a diferença deste ter sido medido ao nível do piso.

Assim, para a sala de culto principal verifica-se que o mapa de medições da mesquita do *Estado do Kuwait* (Figura 4.11) apresenta algumas diferenças resultantes, possivelmente, da própria geometria e materiais que compõem as superfícies interiores, ou mesmo, pelo facto de haver mais precisão (mais pontos de medição) no estudo da mesquita do *Estado do Kuwait*. No entanto, o modelo computacional rectangular apresenta um aspecto muito semelhante ao descrito anteriormente para a Mesquita Central de Lisboa. A forma quadrada apresenta uma ligeira diferença na fila da frente junto à parede com valores superiores aos obtidos na mesquita. Em relação aos valores obtidos com o sistema de reforço electroacústico, só seria possível comparar com a mesquita do *Estado do Kuwait* no entanto, devido aos problemas inseridos pelo sistema sonoro na Mesquita Central de Lisboa e devido disparidade dos resultados entre ambas optou-se por não fazer a comparação.

6.1.3. NÍVEL SONORO DO RUÍDO DE FUNDO

Os valores obtidos para o nível sonoro na sala de culto principal devido ao ruído de fundo na Mesquita Central de Lisboa (Quadro 5.12) são comparados na Figura 6.6 com os valores obtidos na mesquita *King Abdullah* (Amman) e nas vinte e uma mesquitas na Arábia Saudita, Quadro 4.4. A Mesquita Central de Lisboa apresenta o valor mais elevado. Este valor tem graves repercussões na inteligibilidade da palavra. O valor mais baixo é apresentado pela mesquita DH14 (35 dB(A)). Por outro lado, a maior parte das mesquitas apresenta valores de níveis sonoros inferiores aos 40 dB(A).

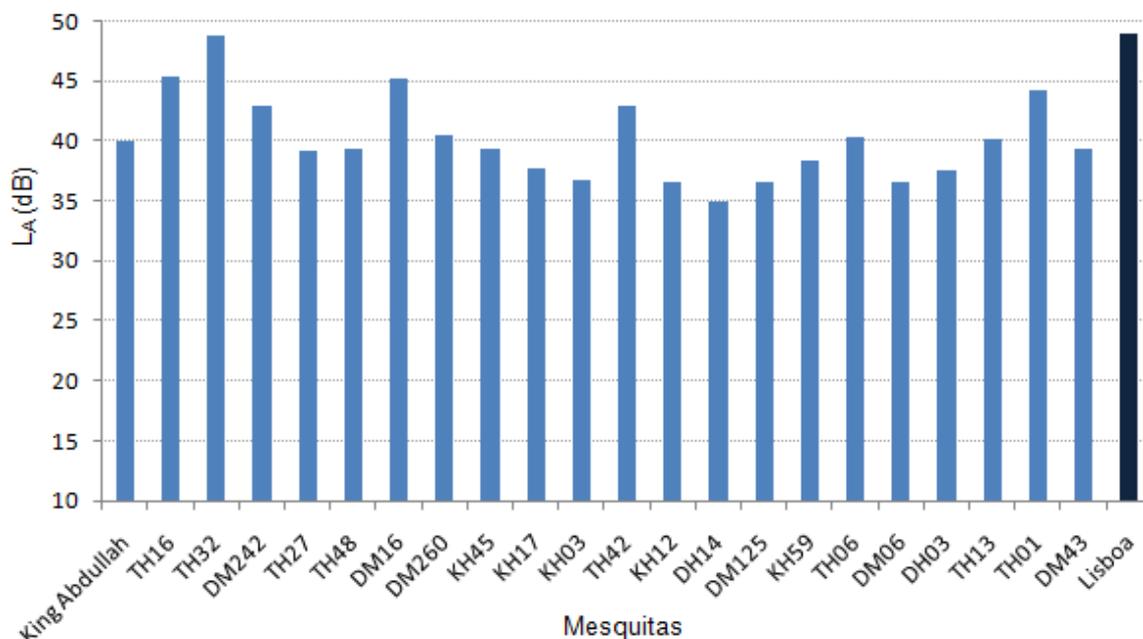


Figura 6.6 - Níveis sonoros nas mesquitas *King Abdullah* (Amman), diversas na Arábia Saudita e na Central de Lisboa.

Na Figura 6.7 apresentam-se os valores de NC (*Noise Criteria*) que permitem avaliar o grau de incomodidade. Este método deveria ser aplicado no caso da existência de equipamentos mecânicos mas neste caso como ele não existe na Mesquita Central de Lisboa esta análise limitar-se-á ao nível de ruído de fundo presente na sala de culto principal. Assim, pode-se concluir tal como seria esperado, devido ao elevado nível sonoro presente na sala, a Mesquita Central de Lisboa é uma das que se encontra mais longe de cumprir os valores máximos recomendados (NC30). É interessante verificar que existem mesquitas que apesar de obterem um nível sonoro global inferior ao da Mesquita Central de Lisboa, obtêm um valor de NC superior. Isto é explicado pela existência de um nível de pressão sonora mais elevado nas médias e altas frequências do que nas baixas. Contudo o valor de NC mais baixo corresponde a um NC 35 que se encontra ainda fora do limite recomendado.

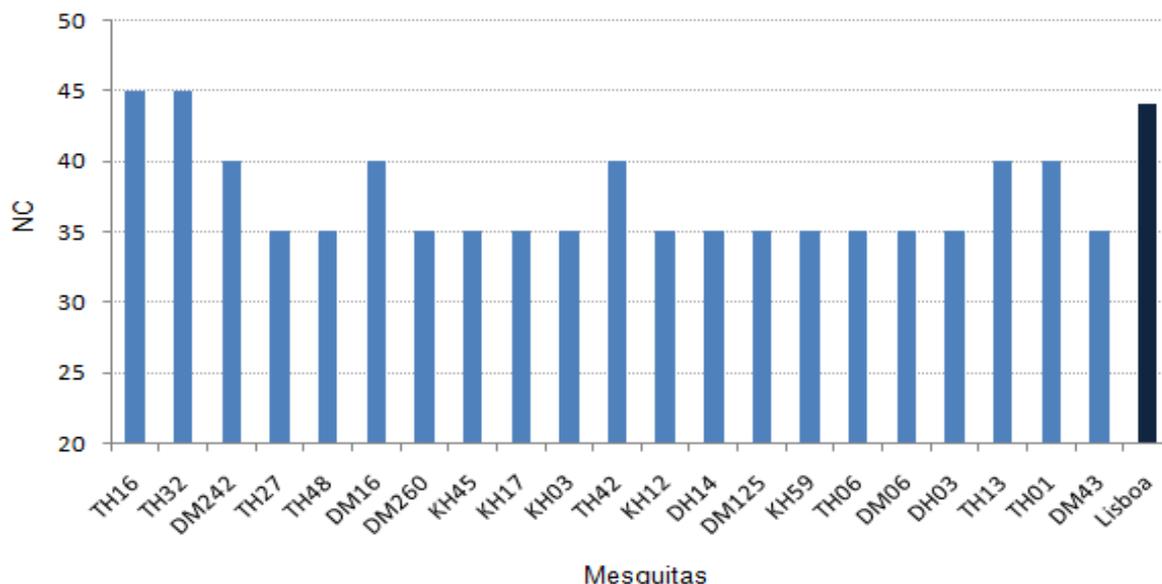


Figura 6.7 - Valores *Noise Criteria* (NC) para as mesquitas da Arábia Saudita e Central de Lisboa.

6.2. COMPARAÇÃO COM IGREJAS COM VOLUMETRIA SEMELHANTE

6.2.1. INTRODUÇÃO

Os dados das igrejas apresentadas neste subcapítulo foram retiradas da dissertação “Guião da Acústica de Igrejas em Portugal” realizada por Telma Silva [11]. Apresenta-se no Quadro 6.2 as igrejas alvo de comparação com volumes compreendidos entre os 5100 e os 7200 m³ (próximos do volume de 6040 m³ da Mesquita Central de Lisboa) e a sua localização, aspectos relacionados com a geometria destas, os respectivos valores de tempos de reverberação para as médias frequências (500 e 1000 Hz) e o valor do RASTI médio.

Quadro 6.2 – Caracterização das igrejas sujeitas a comparação com a Mesquita Central de Lisboa e respectivos parâmetros TR (s) para médias frequências (500 e 1000 Hz) e RASTI [11].

Designação	Localização	Volume (m ³)	Área (m ²)	H _{máx} (m)	N.º de lugares	TR (s)	RASTI médio
Igreja dos Clérigos	Porto	5130	273	20,0	169	3,4	0,39
Igreja de Santa Clara	Vila do Conde	5394	458	13,8	n.d.	n.d.	0,44
Igreja Matriz Golegã	Golegã	5563	545	13,7	384	3,6	0,39
Igreja Matriz de Caminha	Caminha	5899	641	14,4	252	2,9	0,42
Igreja do Salvador	Penafiel	6028	546	16,8	198	2,9	0,39
Igreja São Baptista	Foz do Douro, Porto	6048	412	16,7	n.d.	n.d.	0,42
Igreja São Baptista	Moura	6300	611	13,4	250	6,6	0,32
Mosteiro de Bustêlo	Penafiel	6476	515	16,1	421	4,1	0,36
Igreja do Santíssimo Sacramento	Porto	6816	510	15,5	220	5,0	0,33
Igreja de Santa Maria de Azurara	Vila do Conde	7212	604	15,0	n.d.	n.d.	0,41

n.d. – não disponível

Os valores recomendados para as igrejas diferem um pouco do das mesquitas pois aquelas têm objectivos acústicos diferentes. No Quadro 6.3 podem-se visualizar os valores recomendados para os parâmetros tempo de reverberação e RASTI relativamente à Palavra e à Música. Em relação ao tempo de reverberação, os valores ideais são um pouco mais altos porque nas igrejas existem cânticos ao contrário das mesquitas.

Quadro 6.3 - Valores recomendados para os parâmetros tempo de reverberação e RASTI relativamente à qualidade acústica para a Palavra e para a Música [Adaptado de 11].

Parâmetros	Valores óptimos	
	Palavra	Música
TR médio (s) (500-1000 Hz)	1,0 a 1,5	2 a 4
RASTI	≥ 0,70	-

6.2.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Na Figura 6.8 pode-se visualizar os valores dos tempos de reverberação das respectivas igrejas em função do volume. Observando o gráfico é possível verificar que a igreja São Baptista em Moura, Beja apresenta um valor de tempo de reverberação muito elevado em comparação com as restantes igrejas.

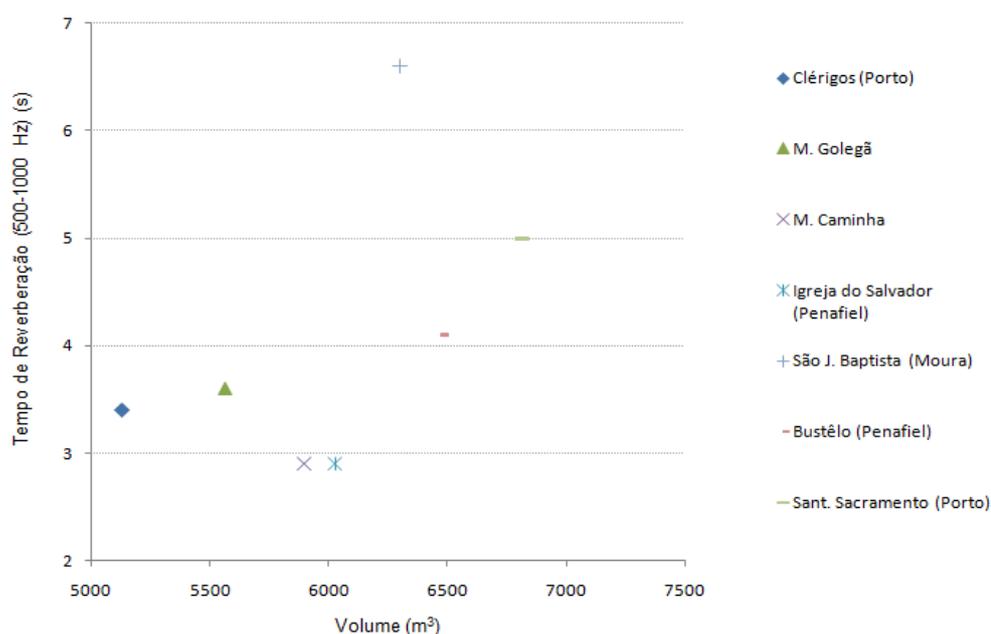


Figura 6.8 - Tempo de Reverberação médio em função do Volume das igrejas (volumes compreendidos entre 5100 e 7200 m³).

Na Figura 6.9 apresenta-se a função que melhor se ajustou à amostra (quadrática) com um R^2 de 0,31. Assim, com esta função o tempo de reverberação esperado para a Mesquita Central de Lisboa seria de 3,9 s, muito superior ao existente na mesquita (2,8 s). O tempo de reverberação na Mesquita Central de Lisboa está pois com valores inferiores ao que seria de esperar, em geral, para uma igreja com semelhante volume. Verifica-se que esta situação está de acordo com os objectivos acústicos, visto uma mesquita ser utilizada unicamente para a palavra enquanto que numa igreja é preferível o tempo de reverberação ser um pouco mais elevado devido à existência de cânticos. Mas, atendendo aos

valores ideais a Mesquita Central de Lisboa apresenta um tempo de reverberação apropriado à existência de cânticos. Nesta situação encontram-se duas igrejas, a de Caminha e a do Salvador em Penafiel que apresentam volumes e valores de tempo de reverberação muito similares aos da mesquita.

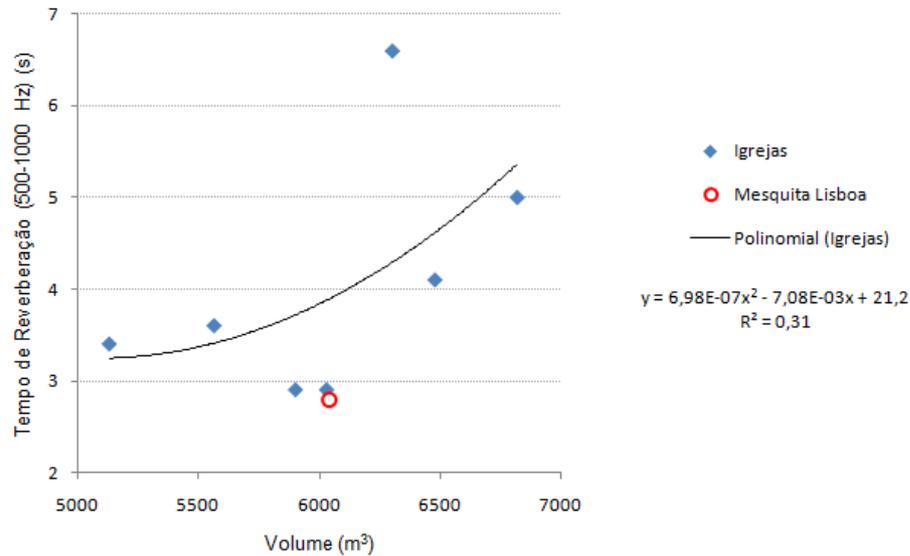


Figura 6.9 - Tempo de Reverberação médio em função do volume das igrejas e da mesquita e respectiva função de regressão.

6.2.3. RASTI

Na Figura 6.10 é possível visualizar os valores disponibilizados no Quadro 6.2. Verifica-se que a Mesquita Central de Lisboa apresenta um RASTI médio superior ao verificado nas igrejas seleccionadas com idêntico volume. Por outro lado, verifica-se que o valor mais baixo é de 0,32 para a igreja de São João Baptista em Moura. O valor médio do RASTI para estas igrejas ronda os 0,39 permitindo concluir que as mesquitas apresentam um melhor nível de inteligibilidade do que as igrejas semelhantes. Isto pode ser explicado pelo tempo de reverberação ser um pouco mais elevado do que nas mesquitas, o que por um lado é bom para os cânticos mas prejudica a inteligibilidade da palavra.

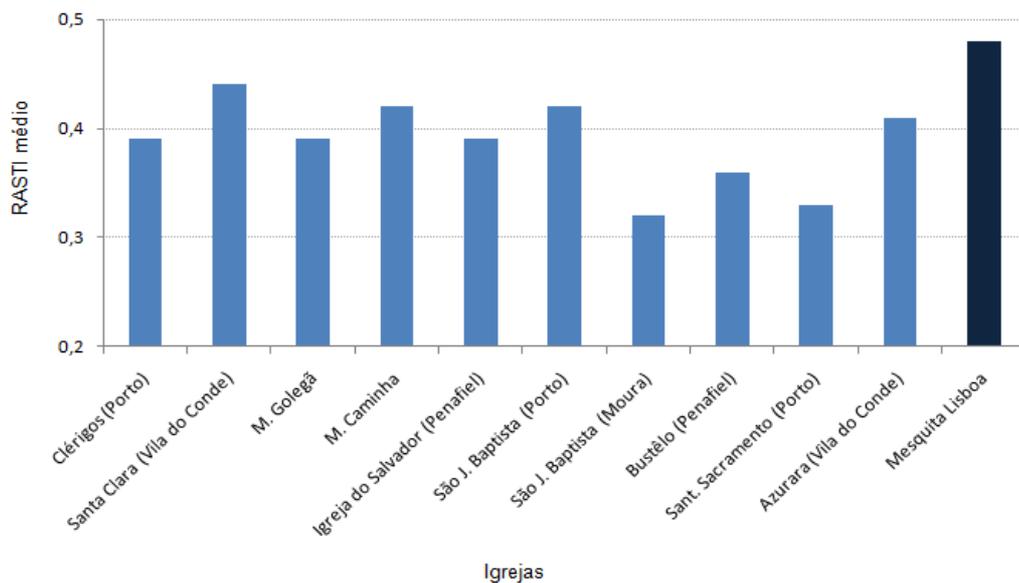


Figura 6.10 - Valores médios do RASTI para as igrejas seleccionadas e para a Mesquita Central de Lisboa.

6.3. CONCLUSÕES

Com este estudo concluiu-se que a Mesquita Central de Lisboa apresenta valores de tempo de reverberação superiores a outras mesquitas com volume semelhante. Embora sendo previsível (atendendo ao volume) um valor de 1,9 s, na realidade na sala de culto principal o tempo de reverberação é de 2,8 s. Relativamente ao RASTI, a sala de culto principal da Mesquita Central de Lisboa apresenta um valor (0,48) superior à média de outras mesquitas (0,44) sem o sistema de reforço electroacústico ligado. Quando este está em funcionamento o valor do RASTI médio (0,47) desce, sendo inferior à média das mesquitas (0,49). Para a sala de culto das mulheres os valores de RASTI foram unicamente comparados com a mesquita do *Estado do Kuwait* e concluiu-se que com o sistema electroacústico ligado a Mesquita Central de Lisboa apresenta um valor (0,44) superior a essa outra mesquita (0,38). Em relação ao nível sonoro do ruído de fundo a Mesquita Central de Lisboa apresenta o nível sonoro mais elevado (49 dB(A)) proporcionado pelo fraco isolamento sonoro e pela sua localização junto de ruas principais, sendo que as outras mesquitas analisadas apresentam níveis sonoros do ruído de fundo inferiores a 40 dB(A). O mesmo se concluiu com o método *Noise Criteria* em que a Mesquita Central de Lisboa apresenta um NC44, havendo só, duas mesquitas com um valor superior (NC45). O valor mais baixo verificado nas outras mesquitas é NC35 que encontra-se ainda acima do nível recomendado (NC30). Assim, pode-se concluir que a Mesquita Central de Lisboa apresenta pior comportamento acústico do que as mesquitas com volume semelhante no mundo nos quatro aspectos analisados.

Em comparação com templos católicos (igrejas) a sala de culto principal da Mesquita Central de Lisboa apresenta um valor de tempo de reverberação (2,8 s) inferior ao previsível para igrejas com o mesmo volume (3,9 s). A Mesquita Central de Lisboa tem um RASTI médio (0,48) superior às restantes igrejas que apresentam valores a rondar os 0,39. Assim, a Mesquita Central de Lisboa exhibe um comportamento acusticamente melhor do que as igrejas com volumetria semelhante, sendo pois mais adequada ao uso da palavra.

7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

O Islamismo, em conjunto com o Judaísmo e o Cristianismo constituem as religiões monoteístas que continuam a influenciar a Humanidade.

A religião islâmica surgiu no século VII d.C. na cidade de Meca, localizada a noroeste da Península Arábica e baseia-se nas informações reveladas por Deus ao profeta Maomé. O Corão é o livro sagrado para os muçulmanos e inclui referências às outras religiões, como por exemplo, a Torá, livro sagrado para os Judeus e que constitui parte do Antigo Testamento para os Cristãos e, inclui informações sobre os profetas Moisés e Jesus. O Islamismo vê o Judaísmo e o Cristianismo como versões imperfeitas, no entanto, as três adoram o mesmo Deus.

A Arábia, antes da influência de Maomé, nunca sofrera uma influência verdadeiramente religiosa sendo a maioria dos árabes politeísta. A cidade de Meca era um importante centro comercial e de culto. A nível comercial era um importante cruzamento de rotas caravaneiras entre o Iémen e os portos mediterrâneos e, um importante centro de peregrinação que recebia pessoas de toda a Arábia para adorar os seus deuses na pedra negra, chamada *Caaba*.

Maomé durante a idade adulta costumava ir meditar para uma gruta fora da cidade de Meca. E foi numa dessas idas que foi acordado pelo anjo Gabriel. A partir desse momento acreditou ter sido escolhido para transmitir a mensagem divina à Humanidade. Começou a pregar em Meca no entanto, alguns governadores de Meca começaram a vê-lo como uma ameaça aos seus negócios, pois Maomé defendia uma religião monoteísta e os comerciantes lucravam com as visitas dos povos politeístas à pedra *Caaba*.

Em 622 deu-se a emigração de Maomé e dos seus seguidores, conhecida como *Hégira*, para a cidade de Yathird, sendo que esta marca o início do calendário islâmico e o início do islamismo como religião. Nesta cidade, Maomé conseguiu pregar com sucesso e, em pouco tempo conseguiu passar de profeta para governador. A cidade mudou o nome para Medina, ou seja, cidade do profeta. Em 630 d. C. Meca rendeu-se ao Islamismo. Maomé realizou uma última peregrinação, conhecida por *Hajji*, um dos rituais islâmicos e, pouco tempo depois veio a falecer em sua casa na cidade de Medina onde foi enterrado. Este local é considerado nos dias de hoje um santuário e um importante lugar de peregrinação na cidade de Medina, sendo conhecido por Mesquita do Profeta.

Após a morte do profeta surgiram algumas discussões sobre quem o deveria suceder levando ao aparecimento de seitas: os Xiitas defendiam que Ali, primo de Maomé deveria de ser o sucessor e os

Sunitas defendiam que Abu Becre, um amigo íntimo de Maomé, era a melhor pessoa para tomar o lugar devido à sua avançada idade e proximidade a Maomé. Foi durante os três primeiros califados que se juntaram as revelações pronunciadas pelo profeta num livro que se dá o nome Corão. No entanto, a versão que existe nos dias de hoje com a escrita árabe moderna só surgiu entre 650 e 656. Existe um outro documento importante na vida dos muçulmanos e dá-se pelo nome de *hadith*. Este pretende transmitir o modelo de comportamento de Maomé, ou seja, disposições legais, obrigações religiosas, indicações do que é permitido e proibido, pureza ritual, questões de ética e cortesia. Para orar os muçulmanos para além de usarem o Corão e o *hadith*, usam o *Mashaba* que é o equivalente ao terço para os cristãos.

A religião islâmica assenta em cinco pilares da fé fundamentais: a unidade divina, a profecia, a relevação, a intercessão angelical e o julgamento e a vida eterna. Por outro lado, existem os pilares da prática que correspondem aos rituais que os muçulmanos devem cumprir e englobam a *Shahada*, a oração, o jejum, a caridade e a peregrinação (*Haiji*).

Existem referências sobre o papel da mulher na sociedade no Corão. Este pretende que as pessoas compreendam as diferenças entre os conceitos de igualdade e identidade, defendendo alguns interesses em função das mulheres. O Corão defende igualdade, cooperação e distribuição das tarefas entre o homem e a mulher.

As mesquitas correspondem aos locais de culto dos muçulmanos onde se realizam cinco orações diárias (*Salat*) e o sermão de Sexta-feira (*Khutba*). A primeira mesquita não oficial foi a casa do profeta na cidade de Medina. As mesquitas apresentam hoje algumas características semelhantes como a existência de pelo menos um minarete, um pátio e uma cúpula. As salas de culto são separadas por sexos, estando associada a cada, uma sala de ablução onde é possível realizar o ritual da purificação. A mesquita tem normalmente uma forma rectangular. Na sala de culto os crentes são ordenados por filas paralelas à parede com um comprimento maior, parede *Quibla*, que se encontra orientada para Meca e onde se localiza um nicho, *Mihrab* e neste localiza-se o *Minbar* (púlpito) onde o Imã pronuncia o sermão de Sexta-feira (*Khutba*). Na decoração as mesquitas não utilizam imagens (quadros ou esculturas) nem velas e, não existem bancos, somente tapetes. As superfícies são decoradas com caligrafia árabe, ladrilhos arabescos ou motivos florais.

As mesquitas podem ser classificadas de acordo com a sua arquitectura como *tradicionais* ou *contemporâneas*. As tradicionais são classificadas de acordo com a sua forma e configuração arquitectónica e inclui três estilos: Hipostilo, Mesquita de Pátio e Mesquita em espaço aberta. As contemporâneas podem ser classificadas de acordo com o seu volume e localização em relação à comunidade e podem ser de quatro tipos: Monumentos Maiores, Mesquitas do Grande Estado, Mesquitas Comunitárias e as pequenas Mesquitas Locais.

Nos dias de hoje verifica-se a implementação de novas ideias durante a construção das mesquitas. Ideias como juntar as salas de culto das mulheres e dos homens num mesmo espaço e, substituir o chamamento através do som por sinais luminosos, ou mesmo, questionar a existência deste devido às leis que impossibilitam o seu uso. Neste momento, está em construção no Dubai uma mesquita flutuante.

Em Portugal, existe uma pequena comunidade islâmica mas, já contam com quatro mesquitas e alguns locais de culto espalhados pelo país. A comunidade islâmica em Portugal foi criada em 1968 por um grupo de estudantes das províncias ultramarinas. Em 1977 a câmara aprovou a construção de uma mesquita (a Mesquita Central de Lisboa) perto da praça de Espanha sendo esta inaugurada em 1985.

Este estudo tinha como principal objectivo a caracterização acústica das salas de culto da Mesquita Central de Lisboa. É importante referir que até à presente data não se tinha efectuado nenhuma caracterização acústica a mesquitas em Portugal, sendo assim este um trabalho pioneiro nesta área. Assim, através de medições realizadas *in situ* foi possível caracterizar o espaço do ponto de vista da reverberação, com o parâmetro tempo de reverberação (TR), da inteligibilidade da palavra, com o RASTI e o ruído de fundo, com o nível de pressão sonora (L) e o nível sonoro (L_A).

De forma a perceber as similaridades e diferenças existentes entre esta mesquita e outras no mundo recolheu-se um conjunto de estudos com caracterizações acústicas de outras mesquitas no mundo e, trabalhos que permitissem perceber os valores mais indicados para os parâmetros em análise para este tipo de espaço.

Os valores do tempo de reverberação foram alvo de comparação directa, enquanto que o ruído de fundo foi caracterizado a partir das curvas do Método *Noise Criteria* (NC). No entanto, não existem curvas directamente recomendadas para este tipo de espaço, mas o valor indicado para as salas cuja a inteligibilidade da palavra é importante pode ser um bom valor de referência. Relativamente ao RASTI, não existem valores de referências, mas existe uma classificação subjectiva para os valores medidos. Propõe-se neste trabalho um valor mínimo de RASTI médio de 0,6 de forma a garantir condições de boa inteligibilidade da palavra.

Observando os Quadros 7.1 e 7.2 concluiu-se que os valores de tempo de reverberação medidos para a sala de culto principal e das mulheres são muito superiores ao valor recomendado para salas cuja a inteligibilidade da palavra é importante (≈ 1 s) e para mesquitas (≈ 2 s). Um dos motivos para este valor ser elevado é explicado pela existência de materiais reflectores a cobrir as superfícies interiores, pela cúpula central e pelo grande volume.

Verificou-se ainda, a existência de tempos de reverberação mais baixos nas altas frequências devido à existência dos tapetes e ao grande volume de ar. Estas duas salas apresentam variações maiores nos valores de tempo de reverberação para as altas frequências sendo que nas baixas os valores são muito próximos. Um outro aspecto importante a referir é o grau de dispersão dos valores, por gama de frequências ser muito baixo existindo uma certa uniformização dos valores do tempo de reverberação medidos nas várias posições da sala de culto principal da mesquita. Em relação à sala de culto das mulheres, verifica-se que esta apresenta uma ligeira dispersão as baixas frequências entre as posições 1 e 3 da sala sendo que para as restantes bandas de oitava as variações são insignificativas.

A diferença dos tempos de reverberação entre as duas salas, que na realidade não estão totalmente desligadas (sendo separadas apenas por um reguado aberto de madeira) poderá ser explicada pelo facto da sala de culto principal apresentar um volume muito superior ao das mulheres originando ondas reflectidas um pouco mais atrasadas. Assim, atendendo aos valores ideais, a sala de culto das mulheres apresenta valores de tempos de reverberação um pouco mais adequados do que a sala de culto principal, no entanto, continua a apresentar valores superiores aos ideais.

Em relação à inteligibilidade da palavra, sem o uso do sistema de reforço electroacústico, a sala de culto principal apresentou uma inteligibilidade *suficiente* enquanto que a sala de culto das mulheres foi classificada como *mediocre*. Na sala de culto principal pode-se verificar que apesar da média da sala ter dado um valor baixo, a nível de inteligibilidade existem pontos onde a inteligibilidade é boa, são esses os pontos 1 e 2 (próximos da fonte sonora). Verifica-se que conforme se afasta da fonte sonora menor é a inteligibilidade da palavra. No entanto, a posição 3 situada no canto da sala de culto na fila da frente apresenta uma inteligibilidade da palavra mais baixa do que a que se tem na posição 4 em frente à fonte emissora na segunda fila de medições. Pode-se ainda verificar que, para a mesma fila de medições, conforme se afasta para os cantos da sala o nível de inteligibilidade diminui e, essa variação

atenua quando se fala das posições localizadas a uma certa distância da fonte sonora. Por exemplo, na última fila de medições a variação do RASTI é muito baixa. Por outro lado, verificou-se grandes variações entre a posição 1 e 7, localizadas em frente à fonte sonora, de 0,71 para 0,43. Em relação à sala de culto das mulheres, esta apresenta variações menos significativas. É importante referir que é normal esta variação ser mais pequena do que na sala de culto principal porque a distância dos pontos em relação à fonte sonora, entre as posições, varia menos do que no caso anterior, ou seja, para além da sala ser mais pequena a fonte localiza-se a uma distância considerável.

Com o sistema electroacústico ligado verificou-se uma diminuição de 0,01 do valor do RASTI médio na sala de culto dos homens e um incremento de 0,06 na sala das mulheres. O pátio, por sua vez, foi o local que apresentou melhor inteligibilidade na mesquita. Começando pela sala de culto principal, verifica-se uma certa uniformidade nos valores. As posições 3 e 9 apresentam os valores mais altos do RASTI pois localizam-se perto das colunas situadas nos cantos. As posições perto da fonte sonora, 1 e 2, apresentam uma inteligibilidade da palavra inferior com o sistema SRS ligado. Para as posições 4 e 5, localizadas na segunda fila de medições, verifica-se uma ligeira quebra na percepção da palavra sendo que a posição 5 apresenta quase os mesmos valores nas duas situações. Para as posições mais afastadas verifica-se uma ligeira melhoria na percepção. Assim, pode-se concluir que o sistema de som possibilita uma melhoria do nível de inteligibilidade nas posições junto aos cantos da sala, sendo que a tendência mostra que os lugares mais afastados da fonte sonora melhoram a sua inteligibilidade com o sistema de som. O único problema do SRS é provocar uma perda de percepção nos lugares frontais junto da fonte emissora. Esta situação foi explicada pela localização do sistema de som vir a agravar esta situação, provocando ainda mais reflexões atrasadas e com uma intensidade considerável, prejudicando assim, a inteligibilidade. Recomenda-se, enquanto não se alterar o sistema existente, desligar o sistema de reforço electroacústico. Na sala de culto das mulheres verifica-se que existe pouca variação dos valores do RASTI nas três posições, mas verifica-se uma ligeira melhoria resultante possivelmente das colunas localizadas na cúpula e nos cantos superiores que permitem uma certa uniformização do som no espaço central. Em relação à pouca variação da inteligibilidade nas várias posições ela já foi explicada anteriormente.

Por fim, o nível de pressão sonora do ruído de fundo existente nas duas salas é muito semelhante, 59 dB, devido ao facto destes dois espaços não estarem totalmente separados e, verificou-se de acordo com as curvas *Noise Criteria* que o nível instalado na sala conduzia a um NC44 se revela extremamente desadequado ao espaço em questão. O nível sonoro existente na sala é de 49 dB(A). Estes valores permitem concluir que o valor NC instalado nas salas de culto ultrapassa o limite superior estipulado para salas cuja a inteligibilidade é importante. Como não existem equipamentos AVAC ou de ventilação mecânica, a justificação para este valor está relacionado com o ruído de tráfego, tanto rodoviário como aéreo. Tal como já foi referido a mesquita está localizada entre ruas principais a que se adiciona o fraco isolamento sonoro da mesquita conduzindo a um incomodativo nível de pressão sonora do ruído de fundo.

Estes resultados foram confrontados com a opinião do Xeiq Munir atendendo às informações prestadas pela audiência e, verificou-se a coincidência de aspectos como as pessoas preferirem ouvir o sermão de Sexta-feira no pátio, ou localizadas junto das colunas e, o ruído de tráfego rodoviário manifestar-se incómodo para as pessoas que frequentam a mesquita.

Quadro 7.1 - Quadro Resumo dos valores médios medidos na Mesquita Central de Lisboa.

Parâmetros		Sala de culto principal (SCP)	Sala de culto das mulheres (SCM)	Pátio	Observações
Tempo de Reverberação	TR (s) (500-1000 Hz)	2,8	2,6	-	Desadequado, acima do ideal (≈ 1 s)
Rapid Speech Transmission Index	RASTI sem SRS	0,48	0,38	-	SCP: RASTI é aceitável SCM: RASTI é medíocre Desejável: $\geq 0,6$
	RASTI com SRS	0,47	0,44	0,64	SCP: RASTI é aceitável SCM: RASTI é quase aceitável Desejável: $\geq 0,6$
Nível de Pressão Sonora	L (dB)	59	59	-	Elevado Desejável: ≤ 50 dB
Nível Sonoro	L _A (dB)	49	49	-	Elevado Desejável: ≤ 40 dB
Noise Criteria	NC	NC44*	NC44*	-	Desadequado e muito superior ao máximo recomendável (NC30)

SRS – Sistema de Reforço Electroacústico * obtido com o ruído de tráfego (não existe AVAC)

Quadro 7.2 – Quadro resumo da qualidade subjectiva dos parâmetros medidos na Mesquita Central de Lisboa.

Qualidade Subjectiva	Sala de culto principal	Sala de culto das mulheres	Pátio
Reverberação (para a palavra)	<i>Mau</i>	<i>Mau</i>	-
Inteligibilidade da palavra (sem SRS)	<i>Suficiente</i>	<i>Medíocre</i>	-
Inteligibilidade da palavra (com SRS)	<i>Suficiente</i>	<i>Medíocre</i>	<i>Boa</i>
Ruído de Fundo	<i>Mau</i>	<i>Mau</i>	-

Com este estudo concluiu-se que a Mesquita Central de Lisboa apresenta um valor de tempo de reverberação (2,8 s) superior ao expectável a partir de mesquitas para um volume semelhante (1,9 s). A função de regressão (quadrática) que melhor se ajustou ao grupo de mesquitas apresenta um coeficiente de correlação R^2 de 0,91.

Atendendo ao grupo E (volume superior a 3000 m³ e inferior a 10000 m³) das mesquitas da Arábia Saudita, concluiu-se que em determinadas bandas, como as dos 1000 Hz, existem diferenças consideráveis nos tempos de reverberação (cerca de 0,8 s), em comparação com a Mesquita Central de Lisboa. Nas frequências altas verificaram-se diferenças menos significativas, pois esta parcela de absorção deve-se ao tapetes e, como a área de piso abrangida por estes é parecida é normal que nestas frequências se verifique esta aproximação. Um outro aspecto curioso inerente a essas mesquitas do Grupo E relaciona-se com o facto dos valores de tempo de reverberação diminuírem com o aumento do valor da banda de frequência (efeito do ar) enquanto que a Mesquita Central de Lisboa apresenta valores de tempo de reverberação mais elevados para as médias frequências. Consequentemente, o tempo de reverberação médio (500, 1000 Hz) para as mesquitas do Grupo E é de 2,2 s enquanto que para a mesquita de Lisboa é de 2,8 s.

Relativamente ao RASTI, a sala de culto principal apresenta um valor (0,48) superior à média das mesquitas (0,44) sem o sistema de reforço electroacústico ligado. Verifica-se uma flutuação desde os 0,30 aos 0,58 na amostra das mesquitas, ou seja, são ambientes cuja inteligibilidade da palavra varia de *medíocre* a *suficiente*.

Atendendo agora ao uso do sistema de reforço electroacústico pode-se concluir que a maioria das mesquitas apresenta um valor médio do RASTI/STI melhor do que sem o uso deste, mas no entanto, esta informação não é suficiente na medida que o sistema pode ter provocado melhorias significativas em pontos concretos e prejudicando outros. No caso da Mesquita Central de Lisboa verificou-se mesmo a perda de inteligibilidade em algumas posições. A Mesquita Central de Lisboa apresenta um valor do RASTI médio (0,47) abaixo da média das outras mesquitas analisadas (0,49).

Com isto pode-se concluir que a Mesquita Central de Lisboa apresenta características internas ligeiramente melhores que a maioria das mesquitas para a inteligibilidade da palavra que com um bom sistema sonoro poderia apresentar valores acima da média apresentada.

Para a sala de culto principal da Mesquita Central de Lisboa verifica-se ainda, que o mapa de medições da mesquita do *Estado do Kuwait* apresenta algumas diferenças proporcionadas possivelmente pela própria geometria e materiais que compõem as superfícies interiores ou mesmo, pelo facto de haver mais precisão (mais pontos de medição) no estudo da mesquita do *Estado do Kuwait*. No entanto, o modelo computacional rectangular apresenta aspectos muito semelhantes aos descritos anteriormente na Mesquita Central de Lisboa. A forma quadrada exhibe uma ligeira diferença na fila da frente junto à parede apresentando valores superiores aos obtidos na mesquita. Em relação aos valores obtidos com o sistema de reforço electroacústico, só seria possível comparar com a mesquita do *Estado do Kuwait*, no entanto, devido aos problemas inseridos pelo sistema sonoro na Mesquita Central de Lisboa e devido à disparidade dos resultados entre ambas optou-se por não fazer a comparação.

Em relação ao nível sonoro do ruído de fundo a Mesquita Central de Lisboa apresenta o nível sonoro mais elevado (49 dB(A)) proporcionado pelo fraco isolamento sonoro e pela sua localização junto de ruas principais, sendo que as restantes mesquitas apresentam níveis sonoros do ruído de fundo inferiores a 40 dB(A). O mesmo se concluiu com o método *Noise Criteria* em que a Mesquita Central de Lisboa apresenta um NC44, havendo só, duas mesquitas com um valor superior (NC45). É interessante verificar que apesar da Mesquita Central de Lisboa apresentar o maior nível de pressão sonora não apresenta o nível de NC mais elevado. Isto é explicado pela existência de um nível de pressão sonora nesses mesquitas mais elevado nas médias e altas frequências do que nas baixas. O valor mais baixo verificado nas mesquitas é de NC35 que se encontra ainda acima do nível recomendado (NC30). Assim, pode-se concluir que a Mesquita Central de Lisboa apresenta pior comportamento acústico do que as mesquitas com volume semelhante no mundo.

Em comparação com as igrejas, a sala de culto principal da Mesquita Central de Lisboa apresenta um valor do tempo de reverberação (2,8 s) inferior ao normal para igrejas com o mesmo volume (3,9 s). A função que melhor se ajustou à amostra das igrejas foi a quadrática com um R^2 de 0,31. Verifica-se que esta situação está de acordo com os objectivos acústicos, visto uma mesquita ser utilizada unicamente para a palavra enquanto que numa igreja é preferível o tempo de reverberação ser um pouco mais elevado devido à existência de cânticos. Mas, atendendo aos valores ideais a Mesquita Central de Lisboa apresenta um tempo de reverberação apropriado à existência de cânticos.

A Mesquita Central de Lisboa apresenta um RASTI médio (0,48) superior às igrejas de volumetria que apresentam valores a rondar os 0,39. Estes valores permitem concluir que as mesquitas apresentam um melhor nível de inteligibilidade do que as igrejas. Isto pode ser explicado pelo tempo de reverberação

ser um pouco mais elevado do que nas mesquitas, o que por um lado é bom para os cânticos mas prejudica a inteligibilidade da palavra. Assim, a Mesquita Central de Lisboa apresenta um comportamento acusticamente melhor do que as igrejas com volumetria semelhante para o uso da palavra.

7.2. PISTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Este estudo poderia ser complementado com a medição do RASTI para os dois modos de culto diferentes: *oração* e *sermão* porque num dos modos o Imã fica voltado para a audiência e no outro o Imã fica voltada para o *Mihrab* constituído por materiais reflectores. Em relação ao tempo de reverberação podia-se efectuar medições com diferentes níveis de ocupação (1/3, 2/3 e lotada) de forma a verificar a influência desta nos valores do tempo de reverberação. O isolamento sonoro da mesquita poderia ser alvo de medições possibilitando a quantificação do nível de isolamento ($D_{2m,nT,w}$) presente nesta em relação ao exterior. Seria também interessante reunir um grupo de auditores masculinos e femininos complementando a análise subjectiva. Por fim, poderiam-se efectuar medições a outros parâmetros acústicos como o STI para validar os resultados obtidos do RASTI, a Claridade (C_{50}), a Definição (D_{50}) e a percentagem de perda de consoantes, $\%Al_{cons}$ de forma a completar a caracterização acústica.

Contudo, interessa referir que o estudo da aplicação da acústica nas mesquitas encontra-se ainda em desenvolvimento e espera-se no futuro encontrar informações sobre esta área com mais facilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Philbrick, R.L. *The Sound System for Shah Alam Mosque*. 1987.
- [2] Abdelazeez, Mohamed K. *et al. Acoustics of King Abdullah Mosque*. Faculty of Engineering and Technology, University of Jordan, Acoustical Society of America, 1991.
- [3] Hamadah, Hamed A. *et al. Assessment of Speech Intelligibility in Large Auditoria Case Study: Kuwait State Mosque*. Colege of Technological Studies, Kuwait, 1997.
- [4] Fausti, P. *et al. Comparing the Acoustics of Mosques and Byzantine Churches*. Department of Engineering of the University of Ferrara, Italy, 2000.
- [5] Adbou, Adel A. *Measurement of acoustical characteristics of mosques in Saudi Arabia*. Acoustical Society of America, March 2003.
- [6] Utami, Sentaagi S. *An acoustical analysis of domes coupled to rooms, with special application to the Darussholah Mosque in East Java*. Department of Physics and Astronomy, Brigham Young University, Indonesia, 2005.
- [7] Lee, Wayne. *Al-Farooq Masjid of Atlanta*. Acoustical Consult: Sound Design, 2007.
- [8] Abdou, Adel A. *Comparison of the Acoustical Performance Mosque Geometry Using Model Studies*. King Fahd University of Petroleum and Minerals, Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Holanda, 2003.
- [9] Kayili, Mutbul. *Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture*. Faculty of Architecture Engineering of Gazi University, Foundation for Science, Technology and Civilisation, Turkey, 2005.
- [10] Orfali, Wasim. *Sound Parameters in mosques*. Proceeding of Meetings on Acoustics, Salt Lake City, 2007.
- [11] Lopes, Telma. *Guião de Acústica de Igrejas em Portugal*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 2008.
- [12] Vitruvius. *De Architectura*. Translated by Morris Morgan, Harvard University Press, EUA, 1913.
- [13] Isbert, Antoni. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions UPC, Barcelona, 1998.
- [14] Rayleight, John. *The Theory of sound*. Dover Publications, New York, 1976.
- [15] Oliveira de Carvalho, A. P. *Acústica Ambiental e de Edifícios v.7.2*. FEUP, 2009.
- [16] http://www.exames.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1090&Itemid=27. Acedido a 18/05/2010.
- [17] Brüel & Kjaer. *Measuring Sound*. 1984.
- [18] Egan, M. D. *Architectural Acoustics*. J. Ross Publishing, Fort Lauderdale, EUA, 2007.
- [19] <http://www.projectrho.com/rocket/inverseSquare.jpg>. Acedido a 18/05/2010.
- [20] EN ISO 140. *European Norm Standard - Measurement of sound insulation in buildings elements*.
- [21] Aula teórica de acústica do Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, Ano lectivo 2009/2010.
- [22] <http://chracustica.zip.net/images/ponderacao.JPG>. Acedido a 18/05/2010.

- [23] EN ISO 11654:1997. *European Norm Standard - Sound absorbers for in use in buildings – Rating of sound absorption.*
- [24] EN ISO 354:2003. *European Norm Standard - Measurement of sound absorption in a reverberation room.*
- [25] Long, Marshall. *Architectural Acoustics.* Elsevier Academic Press, EUA, 2006.
- [26] Houtgast, T. *et al. The modulation transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility.* Netherlands, 1973.
- [27] Mapp, Peter. *Limitations of current sound system intelligibility verification techniques.* Convention Paper 5668, Los Angeles, 2002.
- [28] Brüel & Kjaer. *Measurements in Buildings Acoustics.* 1988.
- [29] Houtgast, T. *A review of MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility.* Netherlands, 1985.
- [30] CEI IEC 60268-16. *International Electrotechnical Commission - Sound System equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.*
- [31] Schroeder, Manfred. *Springer Handbook Acoustics.* Thomas D. Rossing Editor, New York, 2007.
- [32] Mapp, Peter. *Relationship between Speech Intelligibility Measures for Sound Systems.* 112th AES Convention, Munich, 2002.
- [33] ANSI S12.2-2008. *American National Standard - Criteria for evaluating room noise.*
- [34] http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html. Acedido a 20/05/2010.
- [35] <http://pt.shvoong.com/books/holy-scriptures/1673940-tor%C3%A1-lei-mois%C3%A9s/>. Acedido a 07/03/2010.
- [36] <http://www.suapesquisa.com/judaismo/>. Acedido a 07/03/2010.
- [37] <http://www.jessusite.com.br/acervo.asp?id=72>. Acedido a 07/03/2010.
- [38] Robert, J.M. O Islão e o Renascimento do Próximo Oriente. In *Breve História do Mundo*, Volume 2, páginas 9-29, Editorial Presença, Lisboa, 1997.
- [39] Sourdel, Dominique. *O Islão.* Publicações Europa-América, Mem Martins, 1991.
- [40] Elias, Jamal J. *Islamismo.* Edições 70, Lisboa, 2000.
- [41] <http://pt.danielpipes.org/2763/ala-e-deus>. Acedido a 07/03/2010.
- [42] ur-Rahim, Muhammad Àta. Jesus no Alcorão. In *Jesus um Profeta do Islão*, páginas 155-162, Al Furqán, Lisboa, 1995.
- [43] ur-Rahim, Muhammad Àta. Jesus no Hadice e nas Tradições Muçulmanas. In *Jesus um Profeta do Islão*, páginas 163-168, Al Furqán, Lisboa, 1995.
- [44] <http://professorborges.zip.net/images/peninsula.jpg>. Acedido a 21/03/2010.
- [45] <http://professorborges.zip.net/images/caaba.jpg>. Acedido a 21/03/2010.
- [46] http://2.bp.blogspot.com/_RmXUv1lzTVQ/SzxYV_f2sI/AAAAAAAAABos/OREcPvCLip0/s407/calendario-islamico.jpeg. Acedido a 21/03/2010.

- [47] http://farm3.static.flickr.com/2166/2105236257_48b61c151a.jpg. Acedido a 21/03/2010.
- [48] Robert, J. M. Os Impérios Árabes. In *Breve História do Mundo*, Volume 2, páginas 30-45, Editorial Presença, Lisboa, 1997.
- [49] http://www.comunidadeislamica.pt/04b.php?nivel_1=4&nivel_2=42. Acedido a 08/03/2010.
- [50] Watt, Montgomery *et al.* *As religiões do Mundo*. Círculo de Leitores, Lisboa, 1982.
- [51] http://www.comunidadeislamica.pt/03g1.php?nivel_1=3&nivel_2=37&nivel_3=371. Acedido a 07/03/2010.
- [52] Welply, Micheël *et al.* *As Civilizações Islâmicas*. Lello & Irmão, Porto, 1989.
- [53] <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/242870/1/Dissertacao.pdf>. Acedido a 12/10/2010.
- [54] Bois, Yves-Alain *et al.*, *O Grande Atlas da Arquitectura Mundial*. Alphabooks Publishers, 1988.
- [55] http://www.jerusalemshots.com/b/old_city/Jerusalem-Old-City-4.jpg. Acedido a 21/03/2010.
- [56] http://pt.shvoong.com/humanities/h_history/1646192-maravilhas-da-antiguidade-mausoléu-halicarnasso/. Acedido a 13/10/2010.
- [57] <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/sete-maravilhas-do-mundo-antigo/mausoleu-de-halicarnasso1.php>. Acedido a 13/10/2010.
- [58] <http://www.bepeli.com.br/educacional/maravilhas.html>. Acedido a 13/10/2010.
- [59] http://3.bp.blogspot.com/_fvMmtgX9Xf0/Sjr-0C-W94I/AAAAAAAAFWw/cCKBEsXpyZM/s400/Sete+Maravilhas++Mausoléu+de+Halicarnasso.JPG. Acedido a 21/03/2010.
- [60] http://www.misteriosantigos.com/taj_mahal.htm. Acedido a 13/10/2010.
- [61] http://obviousmag.org/archives/2005/08/taj_mahal.html. Acedido a 13/10/2010.
- [62] <http://www.imotion.com.br/imagens/data/media/41/8356taj1.jpg>. Acedido a 21/03/2010.
- [63] <http://www.tecnet.pt/portugal/ref/43972.html>. Acedido a 21/10/2010.
- [64] http://www.comunidadeislamica.pt/02b2.php?nivel_1=2&nivel_2=22&nivel_3=222. Acedido a 13/10/2010.
- [65] http://2.bp.blogspot.com/_sBVrn3f4i-s/ScO5rJ3MbII/AAAAAAAAABUk/xiUfJdawbao/s400/BXK9360_mesquita-al-aqsa-jerusalem800.jpg. Acedido a 22/03/2010.
- [66] Monteiro, Cândido. *Comparação entre a Acústica em Igrejas Católicas e em Mesquitas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 2008.
- [67] <http://www.clickfozdoiguacu.com.br/static/image/midia/images/noticias/Dani%20Rodrigues/Mesquita.jpg>. Acedido a 22/03/2010.
- [68] [http://www.infopedia.pt/\\$dinastia-sassanida](http://www.infopedia.pt/$dinastia-sassanida). Acedido a 21/10/2010.
- [69] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/97/Malaysia_National_Mosque_inside.jpg/800px-Malaysia_National_Mosque_inside.jpg. Acedido a 22/03/2010.
- [70] http://farm4.static.flickr.com/3056/2407844126_2fe99c35c0.jpg. Acedido a 22/03/2010.
- [71] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Model_of_Jame_Mosque.jpg. Acedido a 22/03/2010.
- [72] http://lh3.ggpht.com/_YPuem1s8VgQ/R11tQOhdKFI/AAAAAAAAAek/Yqo8pYyWfYs/K_Dschuma+Moschee+Säulen-1.jpg. Acedido a 23/03/2010.

- [73] http://www.ignezferraz.com.br/img/dicas/bod06b_patio-int.jpg. Acedido a 23/03/2010.
- [74] http://terre.sans.frontiere.free.fr/page_a_voir_a_faire/a_voir_a_faire_images/lahore_badshahi.jpg. Acedido a 23/03/2010.
- [75] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a6/Masjid-al-haram.jpg/800px-Masjid-al-haram.jpg>. Acedido a 23/03/2010.
- [76] http://2.bp.blogspot.com/_5YnAXWNMz8I/R-DATd4uTDI/AAAAAAAAACP0/oUqWHasJ-9g/s320/east+london+mosque.jpg. Acedido a 23/03/2010.
- [77] http://www.ottawa.ca/residents/heritage/doorsopen/buildings/central/central_main_mosque_en-1.jpg. Acedido a 23/03/2010.
- [78] <http://photos.mydomesite.com/000/000/970/medium/indomosqueimg-0130.jpg>. Acedido a 23/03/2010.
- [79] <http://www.touregypt.net/featurestories/mosqueoverview.htm>. Acedido a 23/03/2010.
- [80] Power, Carla. *Updating the mosque for 21st century*. TIME, 2009.
- [81] http://www.mimoa.eu/images/2123_1.jpg. Acedido a 13/05/2010.
- [82] <http://moinansari.files.wordpress.com/2009/08/cologne-mosque-inside-2.jpg>. Acedido a 13/05/2010.
- [83] <http://www.journalistinturkey.com/wordpress/wp-content/uploads/2009/06/sakirincami02.jpg>. Acedido a 13/05/2010.
- [84] <http://www.newscientist.com/data/galleries/dn16952-future-proof-homes/floatingmosque.jpg>. Acedido a 13/05/2010.
- [85] <http://islamworld.net/docs/juma1.html>. Acedido a 21/10/2010.
- [86] http://www.comunidadeislamica.pt/04d4.php?nivel_1=4&nivel_2=44&nivel_3=444. Acedido a 09/05/2010.
- [87] http://en.allexperts.com/e/b/ba/babri_mosque.htm. Acedido a 09/05/2010.
- [88] <http://www.molon.de/galleries/Malaysia/KL/NearKL/images01/08%20Shah%20Alam%20mosque%20at%20dusk.jpg>. Acedido a 04/04/2010.
- [89] http://farm1.static.flickr.com/64/183592049_4266ef3a5b.jpg. Acedido a 04/04/2010.
- [90] http://www.atlastours.net/jordan/abdullah_mosque.jpg. Acedido a 30/03/2010.
- [91] http://farm3.static.flickr.com/2550/3714744950_4fd54ddd9c.jpg?v=1247438379. Acedido a 30/03/2010.
- [92] Mackenzie, R.. *Auditorium Acoustics*. Applied Science Publishers, London, 1979.
- [93] http://www.archnet.org/library/images/one-image.jsp?location_id=1996&image_id=25458. Acedido a 01/04/2010.
- [94] http://www.archnet.org/library/images/one-image.jsp?location_id=1996&image_id=25465. Acedido a 01/04/2010.
- [95] <http://www.gettyimages.com/detail/82563823/Photographers-Choice>. Acedido a 29/03/2010.
- [96] <http://www.gettyimages.com/detail/CA09272/Taxi>. Acedido a 29/03/2010.

- [97] <http://static.panoramio.com/photos/original/8896911.jpg>. Acedido a 29/03/2010.
- [98] http://www.treearth.com/gallery/Middle_East/Turkey/Marmara/Edirne/Edirne/photo935430.htm. Acedido a 29/03/2010.
- [99] http://lh3.ggpht.com/_5ynkPBHgpY0/SsEdtN6RYnI/AAAAAAAAAys/uSxL9XMP-PA/IMG_1317.JPG. Acedido a 29/03/2010.
- [100] <http://static.panoramio.com/photos/original/10570049.jpg>. Acedido a 29/03/2010.
- [101] http://farm4.static.flickr.com/3302/3205322858_a8aac0402d.jpg. Acedido a 29/03/2010.
- [102] http://farm2.static.flickr.com/1010/1107305807_b4ed58c6c6.jpg. Acedido a 29/03/2010.
- [103] Silva, P. Martins da. *Acústica de Edifícios*. LNEC, Lisboa, 1998.
- [104] *Sinan Eserlerinde Akustik (Acoustics of Buildings Designed by Sinan)*. Turk Vakif medeniyeti Cercevesinde: *Mimar Sinan ve Dönemi Sempozyumu*. Vakiflar Genel Müdürlüğü, Istanbul, 1989.
- [105] <http://www.eastjava.com/tourism/surabaya/al-akbar-mosque/source/image/al-akbar-mosque-01.jpg>. Acedido a 15/04/2010.
- [106] <http://www.eastjava.com/tourism/surabaya/al-akbar-mosque/source/image/al-akbar-mosque-03.jpg>. Acedido a 15/10/2010.
- [107] <http://www.stier-acustica.com/downloads/Baswaphon%20Catalogo.pdf>. Acedido a 11/05/2010.
- [108] http://www.muslimherald.com/Files/m/Masjid_Al-Farooq_Atlanta.jpg. Acedido a 03/03/2010.
- [109] <http://www.newmuslimthailand.com/images/Mosque/US/Atlanta/mosque%20-%20us,%20atlanta,%20farooq%201.jpg>. Acedido a 03/04/2010.
- [110] Karabiber, Zerban. *Acoustical problems in mosques: A case study on the three mosques in Istanbul*. Join Meeting ASA/EAA/DEGA, Berlim, 1999.
- [111] Najmul, Muhammad. *Speech Intelligibility in the community mosques of Dhaka City*. Pan-American/Iberian Meeting on Acoustics, Cancun, 2002.
- [112] Orfali, Wasim A. *et al. Measurements and verification of two mosques in Saudi Arabia*. 151st meeting Acoustical Society of America, Providence, 2006.
- [113] Ciao, Quinsan. *A sound encounter or deaf ignorance: Coherence of new buildings to old mosques*. 151st meeting Acoustical Society of America, Providence, 2006.
- [114] Orfali, Wasim A. *et al. The Holy Haram in Makkah, Saudi Arabia*. 151st meeting Acoustical Society of America, Providence, 2006.
- [115] Orfali, Wasim A. *et al. Prophets Mohammed Mosques, Medinah, Saudi Arabia*. 151st meeting Acoustical Society of America, Providence, 2006.
- [116] Ribeiro, Orlando *et al. Geografia de Portugal*. Volume III, Edições João Sá Costa, Lisboa, 1989.
- [117] <http://www.comunidadeislamica.pt/webservices/docs/Presen%20mu%20ulm%20port.pdf>. Acedido a 24/04/2010.
- [118] Fortunato de Almeida da Academia de Ciências de Lisboa. *O Cristianismo na Península sob Dominação Muçulmana*. In *História da Igreja em Portugal*, Edição Damião Perez, Lisboa, 1968.
- [119] <http://saopedrodelourosa.no.sapo.pt/foto.htm>. Acedido a 24/04/2010.

[120] http://www.comunidadeislamica.pt/02b1.php?nivel_1=2&nivel_2=22&nivel_3=221. Acedido a 24/04/2010.

[121] http://marcasciencias.fc.ul.pt/imagem/db_marcasciencias/imagens/original/577.jpg. Acedido a 11/05/2010.

[122] <http://www.aliasoft.com/images/mosque.gif>. Acedido a 24/04/2010.

[123] <http://maps.google.com/maps?ll=38.735425,-9.1584711&z=19&t=h&hl=pt-PT>. Acedido a 11/05/2010.

[124] <http://maps.google.pt/maps/mm?ie=UTF8&hl=pt-PT&ll=38.736201,-9.157383&spn=0.004051,0.010171&t=h&z=17>. Acedido a 24/04/2010.

[125] Comissão Executiva do Centro Islâmico de Portugal, Brochura da Mesquita Central de Lisboa, Cerimónia de Inauguração, Lisboa, 1985.

[126] <http://lisboasos.blogspot.com/2009/03/mesquita-de-lisboa.html>. Acedido a 24/04/2010.