

OUVIR A ARQUITECTURA
O ESPAÇO COMO ÚLTIMO INSTRUMENTO SONORO



A. CATARINA ROCHA ALMEIDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITECTURA
FACULDADE DE ARQUITECTURA DA UNIVERSIDADE DO PORTO 2009

Imagem da capa: análise acústica da fala através do método do oscilograma.

in GARRIDO, J.M.; LLISTERRI, J.; de la MOTA; C-RÍOS, A. (1993) *"Prosodic differences in reading style: Isolated vs. Contextualized Sentences"*, in Eurospeech'93. 3rd European conference of Speech Communication and Technology. Berlin, Germany, 21-23 September 1993. Vol.1. pp.573-576.

http://homepage.mac.com/joaquim_llisterri/phonetics/fon_prosod/suprasegmentales_acento.html

ORIENTADOR: DOUTORA MARIA TERESA S. P. F. DIAS DA FONSECA – FAUP

Agradecimentos

À professora Teresa Fonseca pela orientação e por ter acreditado em mim desde o primeiro momento deste trabalho.

Ao professor António Madureira pela atenção e cedência dos desenhos.

À engenheira de som Mandy Parnell por ter despertado em mim o interesse pelas qualidades sonoras do espaço.

À arquitecta Catharina Dyrssen pelos seus documentos sobre o som.

Ao professor Paulo Quintela por me ter proporcionado o contacto com a Binaural.

Ao Luís Costa pelo projecto das paisagens sonoras.

Ao professor Oliveira de Carvalho pela disponibilidade em me esclarecer algumas dúvidas.

Ao engenheiro Octávio Inácio.

Ao engenheiro acústico Daniel Commins pela atenção e cedência dos documentos sobre Serralves.

À fundação de Serralves por me ter concedido uma visita ao auditório guiada pelo engenheiro de som Nuno Aragão.

À Isabel Koehler pela cedência dos desenhos de Serralves.

Aos meus pais e à minha irmã pelo apoio em todos os momentos e por acreditarem em mim.

Ao Alberto por me ter dado coragem.

Ao Zé Miguel, Cristóvão, Félix e Rui pelos documentos sobre o som.

À Nani, Anabela, Hugo Silvestre, Ana Lúcia, Neuza e Débora por me terem dado coragem e pelos bons momentos.

À Margot.

À Sofia, Isabel, David, Nei e Rodrigo pela amizade.

A autora agradece que possíveis críticas ao trabalho possam ser enviadas para o seguinte contacto:

catarina.arqsonora@gmail.com

Resumo

O presente trabalho tem por objectivo evidenciar a hipótese de se inverter a consideração corrente ou vulgarizada da questão acústica na arquitectura, que privilegia a eliminação dos factores negativos do som (quase exclusivamente tratado como ruído), através de uma proposta alternativa de entendimento do espaço sonoro e de uma atitude positiva de valorização da qualidade sonora na arquitectura. Trata-se de uma focalização dos aspectos fundamentais relacionados com o Som e o Espaço, desde os conceitos até às terminologias, associando enquadramento teórico com campo prático da materialização desses conceitos. Estudam-se espaços e formas onde se geram as várias manifestações sonoras que se estendem desde o som ao silêncio.

O som é uma matéria poderosa, responsável pela modificação, definição e qualidade do espaço. A sua manipulação desencadeia estímulos no ser humano, positivos ou negativos. Assim, através da sua experiência sensorial no espaço, o indivíduo selecciona a informação e processa a sua apropriação do espaço. Neste sentido é importante a criação de ambientes equilibrados acusticamente através da atribuição de um carácter ou efeito sonoro que proporcionem conforto e qualidade de vida ao indivíduo.

Espaços com formas e materiais diferentes, produzem diversas sonoridades ou efeitos sonoros, timbre e tonalidade. Reciprocamente algumas obras musicais foram exclusivamente compostas para uma determinada espacialidade, a qual produz efeitos na própria música, através das suas propriedades físicas.

Naturalmente no contexto da Revolução Industrial e Revolução Eléctrica, surgiram novas formas de expressão musical influenciadas pelos novos ritmos de vida e sonoridades. Hoje em dia a dimensão sonora tomou proporções exageradas, que ultrapassam largamente os limites do corpo, ouvido e voz.

Face a este problema a atitude tem sido a de isolar e absorver o som, tendo sido a acústica encarada como um factor patológico em projecto. Contudo, a necessidade do indivíduo estar em contacto com o que o rodeia atribui uma responsabilidade acrescida ao arquitecto relativamente à concepção dos invólucros e espaços que estabelecem essa ligação. Torna-se urgente a procura de um vocabulário comum à acústica e à arquitectura, tomando o som como elo de ligação e argumento de criatividade.

Palavras-Chave – instrumento sonoro | silêncio | som | ruído | música | paisagem sonora | timbre | tonalidade | acústica | espaço.

Abstract

The purpose of this work is to show the hypotheses of inverting the current or popular consideration of acoustic architecture, which favors the elimination of the negative factors of the sound (almost exclusively treated as noise), through an alternative proposal of the understanding of the sonic space and a positive attitude of the recovery of sound quality in architecture. It focus on the fundamental aspects related to Sound and Space from concepts to terminologies, associating theoretical framework to practical field of the materialization of those concepts. It is our objective to study spaces and shapes that generate many sound events that extend music to silence.

Sound is a powerful matter, responsible for the changing, definition and quality of space. Its manipulation triggers positive or negative stimuli in humans. So according to his/her sensory experience, the individual selects the information as s/he processes the space appropriation. In that sense it is important to create acoustic balanced environments, with the allocation of character or sound effect that provides comfort and life quality.

Spaces with different shapes and materials, produce many sounds or sound effects, timbre and tone. Reciprocally, some musical works are exclusively compound for a specific spaciousness, which generates effects in the music, through its physical properties.

Naturally in the Industrial and Electric Revolution, many ways of musical expression emerged, influenced by the new life's rhythms and sounds. Nowadays the sonorous dimension has exagérate proportions, that greatly exceed the body, ear and voice limits.

To face this problem the attitude has been to isolate and absorb the sound, and acoustic as been considered as a pathological factor in the project. However the individual necessity of being connected with the world, gives more responsibility to the architect as far as the conception of the caps and spaces that establish such a connection are concerned. It becomes urgent the search of a common vocabulary both to acoustic and architecture, taking the sound as a link and a creativity argument.

Key-Words – sonorous instrument | silence | sound | noise | music | soundscape | timbre | tone | acoustic | space.

Resumo	viii
Abstract	x
Índice de figuras	xiv
Índice de tabelas, quadros e figuras referidas ao relatório analisado nas páginas 103 à 118.	xvii
INTRODUÇÃO	1
METODOLOGIA	3
I. OUVIR A ARQUITECTURA	9
<i>I.1 A CAVERNA COMO ÚLTIMO INSTRUMENTO SONORO</i>	9
<i>I.2 A MÚSICA E O ESPAÇO DE CULTO</i>	11
<i>I.3 O SOM COMO INTERFACE ENTRE A ARQUITECTURA E O INDIVÍDUO</i>	15
II. APROXIMAÇÃO A UMA TEORIA DA ACÚSTICA	17
<i>II.1 - MANIFESTAÇÕES DO SOM NO ESPAÇO – SILÊNCIO, RUÍDO, MÚSICA</i>	17
Do silêncio à música	19
A espacialização na música	21
A influência do ambiente na música	25
<i>II.2 - O SOM FUNDAMENTAL DA ARQUITECTURA – IDENTIDADE E TONALIDADE DO ESPAÇO</i>	27
The World Soundscape Project	27
O desenho da paisagem sonora através da linguagem musical	29
A paisagem sonora <i>hi-fi</i> e <i>lo-fi</i>	39
<i>II.3 - RELAÇÃO ENTRE SOM E ESPAÇO</i>	43
O som do espaço – carácter acústico do espaço	43
A tonalidade e timbre do espaço	49
O som como material construtivo invisível	55
<i>II.4 - ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA – UMA INTRODUÇÃO</i>	59
A natureza física do som	59
Isolamento acústico	61
Condicionamento acústico	63
III. ANÁLISE DE ESPAÇOS PARA O SOM	67
	xii

<i>III.1 O violino de Antonio Stradivari</i>	69
Nascimento da acústica arquitectónica	71
A idade, a forma e os materiais das salas de concerto	77
O desenho do som: balance, blend e ensemble	81
Boston Symphony Hall	81
Vienna Grosser Musikvereinsaal	83
Amsterdam Concertgebouw	85
<i>III.2 - CENTRALIDADE DO PROSCÉNIO – DESDE O PRINCÍPIO À CONCRETIZAÇÃO</i>	87
Análise comparada	87
<i>III.3 - SALAS POLIVALENTES</i>	91
Teatro Cólón em Buenos Aires	91
<i>III.4 - ORIGEM DA ÓPERA E DA SUA “CAIXA ACÚSTICA”</i>	95
O fosso acústico	95
O teatro de ópera de Bayreuth (Bayreuth Festspielhaus)	97
Elementos da organização do espaço	99
“Boxes” ou camarotes	99
Os balcões	99
Teatro Alla Scala em Milão	101
IV. CASOS DE ESTUDO NO CONTEXTO PORTUGUÊS	103
<i>IV.1 BIBLIOTECA DA FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA</i>	103
<i>IV.2 O AUDITÓRIO DO MUSEU DE ARTE CONTEMPORÂNEA DE SERRALVES</i>	119
Enquadramento – o Museu	121
O auditório – a solução entre o conflito do visual com o auditivo	121
Arquitectura visível e acústica invisível	123
As características técnicas de “Alvaro” (tradução de acordo com a Wilhelmi)	125
V. CONCLUSÕES	129
VI. REFERÊNCIAS	135
<i>Crédito de figuras</i>	139

Índice de figuras

<i>Figura 1. Museu de Thorsvaldsen em Copenhaga.</i>	10
<i>Figura 2. Plantas da antiga e nova Basílica de S. Pedro em Roma.</i>	12
<i>Figura 3. Perfil longitudinal da antiga Basílica de S. Pedro em Roma.</i>	12
<i>Figura 4.o som como interface na praça Belvedere do Museu de Arte de S. Paulo projectado por Lina Bo Bardi.</i>	14
<i>Figura 5. Representação do comportamento do som num espaço fechado.</i>	14
<i>Figura 6. Figura versus fundo. A alternância pode também ser aplicada ao som.</i>	18
<i>Figura 7. Partitura de John Cage, Music of Changes. Exploração de novas sonoridades.</i>	18
<i>Figura 8. Desenho e fotos do Pavilhão Philips, (1958) espacialização da música.</i>	20
<i>Figura 9. Pavilhão Philips (1958): conjugação de música, som, luz e espaço.</i>	20
<i>Figura 10. Desenhos da estrutura concebida por Renzo Piano para a obra musical e conceptual de Luigi Nono.</i>	22
<i>Figura 11. Arca do Prometeo - o espaço no pensamento do compositor.</i>	24
<i>Figura 12. a influência do ambiente na concepção do jazz .</i>	24
<i>Figura 13. praça 8 de Maio - o desenho da paisagem sonora pelas vozes do território.</i>	28
<i>Figura 14. Palácio de cristal - vozes da vegetação.</i>	30
<i>Figura 15. casa de vidro projectada por Lina Bo Bardi (1950-51).</i>	30
<i>Figura 16. Esquissos da casa de vidro – o desenho da vegetação a entrar pela casa.</i>	30
<i>Figura 17. esquissos da Praça 8 de Maio, do arquitecto Fernando Távora.</i>	32
<i>Figura18.diferentes pavimentos da Praça 8 de Maio.</i>	32
<i>Figura19.vozes dos pavimentos na Praça 8 de Maio.</i>	32
<i>Figura 20. vozes dos elementos – ÁGUA – fonte da praça 8 de Maio.</i>	32
<i>Figura 21. Órgão do mar em Zadar na Croácia.</i>	34
<i>Figura 22. desenho da casa da cascata de Frank Lloyd Wright. A música reproduzida pela cascata.</i>	34
<i>Figura 23. Escultura sonora em homenagem a Sibelius na Finlândia.</i>	34
<i>Figura 24. Escultura sonora de Mike Tonkin e Anna Liu.</i>	34
<i>Figura 25. o modulator construído por Le Corbusier, constituindo as proporções da anatomia humana.</i>	36
<i>Figura 26. As medidas antropométricas proporcionam a escala pela qual os arquitectos organizam o espaço.</i>	36
<i>Figura 27. A paisagem sonora lo-fi.</i>	38
<i>Figura 28. ilustração de Liliane Karnou no âmbito do World Forum For Acoustic Ecology.</i>	40
<i>Figura 29. foto aérea do parque de Versalhes – carácter acústico do espaço: assimétrico.</i>	44
<i>Figura 30. planta e corte da Berlin Philharmonie, concebida por Hans Scharoun – carácter acústico do espaço: centrípto.</i>	44
<i>Figura 31. Teatro Total de Gropius – carácter acústico do espaço: variável.</i>	46
<i>Figuras 32 e 33. variação do som dos passos em contacto com os diferentes pavimentos.</i>	48

<i>Figura 34. Escada metálica: tonalidade por tubo.</i>	50
<i>Figura 35. Proporções relacionadas com a área óptima de Bolt, três locais para o acorde de 7ª.</i>	52
<i>Figura 36. os 13 acordes musicais estudados.</i>	52
<i>Figura 37. Invólucro do teatro de Fort Wayne, projectado por Louis Kahn.</i>	54
<i>Figura 38. intervalo criado entre a caixa exterior e a caixa interior.</i>	54
<i>Figura 39. planta do teatro de Fort Wayne, Louis Kahn (1959-63).</i>	54
<i>Figura 40. Dimensionamento acústico de uma sala: Shoe-box ou caixa de sapatos.</i>	56
<i>Figura 41. Representação gráfica do som.</i>	60
<i>Figura 42. representação do tom agudo e grave.</i>	60
<i>Figura 43. Fenómenos de reflexão do som consoante a superfície: convexa, plana e côncava.</i>	62
<i>Figura 44. fotos da sala de conferências da biblioteca de Viipuri (1927-1935), do arquitecto Alvar Aalto.</i>	64
<i>Figura 45. Comportamento do som na sala de conferências da biblioteca de Viipuri.</i>	64
<i>Figura 46. esquisso do Teatro de arte dramática de Fort Wayne, 1973: Louis Kahn invoca o violino dentro do estojo.</i>	67
<i>Figura 47. planta e corte da Gewandhaus de Leipzig, 1886.</i>	70
<i>Figura 48. plantas e corte da Boston Symphony Hall, 1900.</i>	70
<i>Figura 49. plantas e corte da Grosser Musikvereinssaal em Viena, 1870.</i>	72
<i>Figura 50. planta e corte da Concertgebouw em Amesterdão, 1888.</i>	74
<i>Figura 51. classificação efectuada por Leo Beranek, onde estão ordenadas 58 salas de concerto.</i>	76
<i>Figura 52. Tempo de reverberação (frequências médias) para 40 salas de concerto cheias.</i>	76
<i>Figura 53. planta da Tanglewood Music Shed em Massachusetts, 1938-59: em forma de leque.</i>	78
<i>Figura 54 e 55. A Tanglewood Music Shed em Massachusetts é reconhecida pelos seus concertos de Verão, dado que os seus limites laterais não existirem</i>	78
<i>Figura 56. plantas Sibelius/talo em Lathi na Finlândia.</i>	78
<i>Figura 57 e 58. interior do Sibelius/talo em Lathi na Finlândia: onde a grande percentagem da superfície interior é construída em madeira espessa laminada.</i>	78
<i>Figura 59 e 60. fotos da Boston Symphony Hall (vista do balcão e do palco).</i>	80
<i>Figuras 61 e 62. fotos da Grosser Musikvereinssaal em Viena (vista do balcão e do palco).</i>	82
<i>Figuras 63 e 64. fotos da Amsterdam Concertgebouw (vista do palco e do balcão).</i>	84
<i>Figura 65. Esquisso da Kammermisiksaal der Philharmonie (1987), obra póstuma do arquitecto Hans Scharoun.</i>	88
<i>Figura 66. planta da Kammermisiksaal der Philharmonie.</i>	88
<i>Figura 67. Corte da Kammermisiksaal der Philharmonie.</i>	88
<i>Figura 68. Teatro Cólón em Buenos Aires.</i>	92
<i>Figura 69. Sala Lucerne na Suíça.</i>	92
<i>Figura 70. Bass Performance Hall em Fort Worth no Texas.</i>	92
<i>Figura 71. Classificação dos teatros de ópera possuidores de uma acústica superior.</i>	92

<i>Figuras 72 e 73. Teatro C3lon em Buenos Aires.</i>	94
<i>Figura 74. planta e corte Teatro di San Carlo</i>	96
<i>Figura 75. fotos do Teatro di San Carlo.</i>	96
<i>Figuras 76. planta e corte 3pera Garnier em Frana, 1875.</i>	96
<i>Figuras 77. fotos da 3pera Garnier.</i>	96
<i>Figura 78 e 79. Festspielhaus em Bayreuth.</i>	98
<i>Figura 80. planta e corte do Festspielhaus em Bayreuth.</i>	98
<i>Figura 81. Fosso de orquestra do Festspielhaus em Bayreuth.</i>	98
<i>Figura 82. camarotes do Teatro La Scala.</i>	100
<i>Figura 83. Camarotes da Royal Opera House em Londres.</i>	100
<i>Figura 84. C3lculo dos balc3es de um teatro de 3pera</i>	100
<i>Figura 85. plantas e corte do Teatro Alla Scala em Mil3o</i>	100
<i>Figura 86 e 87.fotos do Teatro Alla Scala em Mil3o.</i>	100
<i>Figura 88. Planta de implanta3o da biblioteca.</i>	103
<i>Figura 89. Pal3cio dos Melos.</i>	103
<i>Figura 90. Entrada do edif3cio da faculdade de farm3cia.</i>	103
<i>Figura 91. Rua cont3gua ao edif3cio.</i>	103
<i>Figura 92. Planta do piso 0 da biblioteca da faculdade de Letras de Coimbra.</i>	105
<i>Figura 93,94 e 95. Cortes longitudinal e transversais da biblioteca.</i>	106
<i>Figura 96. Planta de implanta3o do Museu de Serralves.</i>	119
<i>Figura 97. Marca3o da entrada do Museu.</i>	119
<i>Figura 98. O volume fragmentado do audit3rio.</i>	119
<i>Figura 99. Recorte da paisagem pelo audit3rio.</i>	119
<i>Figura 100. Cobertura do audit3rio em zinco.</i>	119
<i>Figura 101. Planta do piso -1 do Museu de Serralves.</i>	120
<i>Figura 102. Planta do audit3rio com concha ac3stica.</i>	122
<i>Figura 103. Corte do audit3rio com concha ac3stica.</i>	122
<i>Figura 104. Concha ac3stica desmont3vel.</i>	124
<i>Figura 105. Curvatura do limite do palco.</i>	124
<i>Figura 106. Tecto absorvente com inclina3o.</i>	124
<i>Figura 107. Entrada de luz regul3vel.</i>	124
<i>Figura 108. Interior do audit3rio de Serralves.</i>	126
<i>Figura 109. V3o onde est3o ocultados os equipamentos da luz.</i>	126
<i>Figura 110. Lavat3rio do Sanatorio de Paimio desenhado por Alvar Aalto.</i>	130

Índice de tabelas, quadros e figuras referidas ao relatório analisado nas páginas 103 à 118.

<i>Quadro II [a que se refere o artigo 7º, nº1, alíneas a), b) e c)]</i>	108
<i>Quadro III [a que se refere o artigo 7º, nº1, alíneas d)]</i>	108
<i>Quadro IV [a que se refere o artigo 7º, nº1, alíneas f)]</i>	108
<i>Tabela 1 Critérios de tempo de reverberação mínimo no interior dos espaços.</i>	108
<i>Tabela 2 Critérios de níveis de pressão sonora máximos radiados para o exterior.</i>	108
<i>Tabela 3 Critérios de níveis de potência sonora máximos e taxas de atenuação de vibrações.</i>	108
<i>Tabela 4 Níveis de isolamento sonoro a sons de condução aérea mínimos, D_{nT}, w.</i>	110
<i>Tabela 5 Níveis de isolamento sonoro a sons de percussão máximos, L'_{nT}, W entre espaços do edifício.</i>	110
<i>Tabela 6 Critérios de circulação de ar nas condutas principais.</i>	110
<i>Tabela 7 Critérios de circulação de ar no troço final da conduta.</i>	110
<i>Equação (1)</i>	110
<i>Equação (2 e 3)</i>	110
<i>Equação (3.5.2)</i>	110
<i>Figura 1R Isolamento sonoro mínimo, $D_{2m, nT, w}$ na fachada da biblioteca.</i>	112
<i>Figura 2R Isolamento sonoro a sons de condução aérea, D_{nT}, W, entre salas de arquivo e serviços de apoio técnico (Piso -2).</i>	112
<i>Figura 3R Isolamento sonoro a sons de condução aérea, D_{nT}, w entre o espaço técnico e a sala de leitura de manuais (Piso -1).</i>	112
<i>Figura 4R Isolamento sonoro a sons de condução aérea, D_{nT}, w entre o espaço de atendimento e a sala de leitura de manuais (Piso -1).</i>	112
<i>Figura 5R Isolamento sonoro a sons de condução aérea, D_{nT}, w entre pisos.</i>	114
<i>Figura 6R Isolamento sonoro a sons de percussão, L'_{nT}, w, entre duas salas do mesmo piso.</i>	114
<i>Figura 7R Isolamento sonoro a sons de percussão, L'_{nT}, w entre o espaço de atendimento e a sala de leitura de manuais.</i>	114
<i>Figura 8R Isolamento sonoro a sons de percussão, L'_{nT}, W entre pisos.</i>	114
<i>Figura 9R Modelo 3D da Sala de Leitura de Manuais.</i>	116
<i>Tabela 8 Resultado do tempo de reverberação na Sala de Leitura de Manuais.</i>	116
<i>Figura 10R Resultados da simulação do tempo de reverberação no interior da Sala de Leitura de Manuais.</i>	116

INTRODUÇÃO

A presente dissertação, realizada no âmbito da conclusão do curso de Mestrado Integrado em Arquitectura, tem por objectivo pensar a componente do som como parte integrante da prática e concepção em projecto. Tendo por base a análise de espaços, em que as várias manifestações sonoras ocupam um papel importante, desde a música ao silêncio.

Inevitavelmente torna-se importante referir as motivações que me levaram ao investimento pessoal para a elaboração deste trabalho.

O fenómeno sonoro desde cedo constituiu para mim um mistério e motivo de interesse. No meu crescimento aprendi a tocar alguns instrumentos musicais e embora não tenha estudado canto, continuo ainda hoje a minha auto-aprendizagem. Experimentei a sonoridade de vários espaços, exteriores ou interiores, que me permitiram modelar e obter um timbre diferente em cada um deles.

No início do ano 2000, tive uma experiência, que foi o princípio do desencadear da noção de que efectivamente era possível ouvir um som de um determinado espaço. Foi com agrado que participei num projecto de música e no seu processo de gravação em estúdio.

Na fase final da gravação há um processo que se denomina mistura, no qual o engenheiro de som vai manipular o som, atribuindo-lhe parâmetros, como por exemplo a reverberação, envolvendo equalização, compressão, redução de ruído, etc. Posteriormente procedeu-se à masterização, com o objectivo de formatar, trabalhar frequências, que neste caso foi realizada por Mandy Parnell no Exchange Studio em Londres.

Foi justamente no momento em que Mandy Parnell estava a masterizar o trabalho, que nos questionou se o espaço onde este trabalho tinha sido gravado e misturado possuía determinadas características (um espaço onde nunca tinha estado), pois o som que se ouvia na música denunciava o seu espaço. Neste momento percebi o quanto um espaço pode ser ouvido, sem ser visto...

Outro contacto que tive com a dimensão do som na arquitectura, aconteceu no ano 2006/2007 em que participei no programa Erasmus em Gotemburgo. No âmbito da cadeira Research by Design leccionada pela arquitecta Catharina Dyrssen, tive acesso a informação e investigação realizada pela mesma sobre o ambiente sónico – *TRANSMISSION*, bem como a referência ao movimento do *World Sounscape Project*, Murray Schafer e outros autores, embora numa vertente mais fenomenológica, no sentido da experiência sensorial do indivíduo e sua interacção com o espaço.

Este trabalho insere-se no contexto da arquitectura, no sentido em que questiona a validade da denominação de *espaço acústico*, o qual pode ser todo o espaço que nos rodeia, sem estabelecer limites. Tornou-se necessário recorrer a outros campos como a acústica e a música, numa interdisciplinaridade inerente á arquitectura. A escolha deste tema surgiu de uma vontade pessoal em valorizar as qualidades sonoras da arquitectura, com o intuito de contribuir

para a integração da qualidade e do conforto acústico e para a materialização destas ideias em qualquer que seja o espaço, através de um esforço de organização do som

METODOLOGIA

A primeira fase deste estudo incide fundamentalmente na procura do significado dos conceitos associados ao fenómeno sonoro que ocorre na relação entre indivíduo e espaço.

Pretendem enunciar-se alguns momentos importantes, não numa perspectiva histórica já estudada anteriormente numa prova final, mas salientando testemunhos do som como interface entre o espaço e o indivíduo, ou seja, como é que o espaço pode desenhar um som e como é que um som pode ser concebido para um determinado espaço. Assim procuram compreender-se as diferentes manifestações do som como o silêncio, o ruído e a música, a espacialização do som na expressão musical e a influência do contexto na música como elemento de composição e interacção.

A segunda fase correspondeu a um estudo intenso, exclusivo e obsessivo em “*Schafer*” e “*Domènech*”. A disciplina e leitura de obras densas sobre o meu tema do som contribuíram para as tornar úteis na arquitectura, definindo alguns pilares na estruturação do conhecimento e na compreensão e abertura para um novo entendimento no âmbito dos aspectos da sonoridade.

R. Murray Schafer é um compositor, escritor, educador musical, pedagogo e ambientalista. Nasceu a 18 de Julho de 1933 em Sarnia, Ontario, no Canadá. Frequentou a Royal Conservatory of Music e a Universidade de Toronto, e em 1956 partiu para Viena, onde permaneceu durante dois anos, mudando-se para Londres, onde estudou com o compositor Peter Racine Fricker na Royal College of Music.

É um dos mais aclamados compositores do Canadá, sendo reconhecido como um dos fundadores do World Soundscape Project, tendo iniciado os estudos da Paisagem Sonora na Simon Fraser University em 1960. É também um dos fundadores do campo da Ecologia Acústica. No seu livro *The Tuning of the World* reúne a sua filosofia, pesquisa e teorias da Paisagem Sonora e as preocupações sobre o ambiente sónico. Murray Schafer mostra uma nova perspectiva das pessoas acerca do som e do ambiente acústico.

Criou alternativas para professores e educadores musicais, baseadas na interacção com crianças, escolas e artistas nas salas de aula. Esta espécie de nova filosofia de educação musical, explora a criatividade nas crianças. No seu livro *The Thinking Ear* contém conversas com alunos, discussão de conceitos como o ruído, o som, textura, timbre.

É autor de peças de ópera que são tocadas em florestas e lagos, sendo a mais célebre *Patria – Princess of Stars*, bem como de composições para guitarra, harpa e flauta.

Recebeu inúmeros prémios, e recentemente o National Arts Centre prestou-lhe um tributo, na comemoração dos seus 75 anos.

O passo seguinte refere-se à análise do carácter acústico de diferentes espaços, com o intuito de procurar a sua identidade, sendo o estudo do *World Soundscape Project* um ponto de partida, bem como a leitura de duas importantes obras de Murray Schafer: *A Afinação do Mundo*, *The Tuning of the world*; e *o Ouvido Pensante*, *The Thinking Ear*.

Estas duas grandes obras mudaram a forma de ouvir o que nos rodeia, sendo o mundo uma espécie de grande palco onde o concerto não cessa, e a interpretar as sonoridades dos diferentes espaços de forma a facultar ferramentas para o desenho do espaço através da linguagem musical, ideia partilhada com Francesc Daumal Domenèch no seu livro *Arquitectura Acustica – Poetica y diseño*. Tornou-se indispensável a leitura deste livro, na procura de uma linguagem comum para arquitectos, acústicos e músicos. Através da análise de vários espaços procuramos perceber como é que o som pode constituir uma componente de projecto, na procura de uma determinada tonalidade e timbre de cada espaço através da sua estrutura, forma, proporção e materiais.

Francesc Daumal Domenèch é arquitecto superior pela E.T.S.A.B. (Escola Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona), desde 1976, Doutorado em arquitectura em 1985 e Catedrático da Universidade Politécnica da Cataluña desde 1992. É autor do livro *Arquitectura Acustica – Poetica y diseño*, introduzindo o leitor no mundo sonoro da arquitectura, convidando-o até mesmo a escutar a arquitectura. É dada especial atenção à importância do som no projecto, aos caracteres sonoros da arquitectura tendo como finalidade a concepção de espaços diferenciados e percursos ou itinerários sonoros possuidores de diversidade e personalidade.

Numa terceira fase, o trabalho incide na procura da génese da acústica arquitectónica, estudo dos espaços onde o som é o protagonista. Neste sentido partimos para a análise física do espaço enquanto receptor do som, ou seja, enquanto caixa acústica, através de testemunhos de maestros, músicos e especialistas em acústica. Este estudo refere-se ao nascimento e consolidação da acústica arquitectónica, à análise das características que compõem os espaços como a idade, forma e materiais, bem como parâmetros utilizados no desenho do som.

O encontro com a obra literária de Leo Beranek foi crucial para o entendimento das formas dos auditórios, salas polivalentes e teatros de ópera.

Leo Leroy Beranek é um especialista em acústica, professor no MIT e fundador do BBN Technologies – Bolt, Beranek e Newman (Bolt é responsável por um tratado de acústica), onde foi presidente de 1952 a 1971.

Nascido a 15 de Setembro de 1914, Beranek cresceu no Mount Vernon, Estados Unidos, estudou no Cornell College, onde recebeu o bacharel em Artes, e posteriormente na Universidade de Harvard, onde se doutorou em 1940. Durante a II Guerra Mundial comandou o Laboratório de Electroacústica em Harvard.

O seu livro *Acoustics* 1954, é considerado um clássico no campo da Acústica, bem como o livro *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture*, editado em 1962, que continha a análise de 55 salas a nível mundial, foi reeditado em 2004, tendo sido expandido o campo de estudo para 100 salas.

Em 1975 recebeu a medalha de ouro da Acoustical Society of America e em 2002 recebeu a National Medal of Science em Engenharia.

Foi professor associado de Engenharia das Comunicações no MIT de 1947 a 1958 e director técnico do Laboratório de Acústica.

A noção de caso de estudo prevista para o trabalho foi evoluindo. À partida identificaram-se uma série de espaços notáveis da arquitectura mundial, como potenciais casos a estudar. Naturalmente sempre seriam casos de difícil acesso, com os meios materiais reduzidos de um estudante português e no tempo incompatíveis de visitar. Ficou alimentado o desejo de as visitar no futuro. Neste sentido, a quarta fase refere-se ao estudo de duas obras de conhecimento directo: uma biblioteca em Coimbra e o auditório do Museu de Serralves no Porto. A primeira obra refere-se ao estudo do relatório do projecto acústico da Biblioteca da Faculdade de Letras da universidade de Coimbra realizado pela empresa Inacoustics e facultado pelo arquitecto António Madureira, bem como a visita ao local, com o intuito de perceber em que medida é que a acústica se insere no processo. A segunda obra remete para o estudo de uma tecnologia de um sistema construtivo para o acondicionamento acústico de um espaço para o som.

No te has dado cuenta, al pasar por este pueblo, que los edificios que lo forman, unos “son mudos”, otros “hablan” y otros, por fin, los más extraños de todos, “cantan”? No te creas que es su emplazamiento, ni siquiera el aspecto general, lo que los anima hasta tal punto o los reduce al silencio. Resulta del talento del constructor o del favor de las musas.

Paul Valéry, Eupalinos o el arquitecto, 1923, in Domènech: 2000

Não te deste conta, ao passar por esta cidade, que os edifícios que a formam, uns “são mudos”, outros “falam” e outros, os mais estranhos de todos, “cantam”? Não penses que é a sua localização, nem também o aspecto geral, que os anima ou os reduz ao silêncio. É o talento do arquitecto ou do favor das musas.

I. OUVIR A ARQUITECTURA

A arquitectura pode ser ouvida? Esta questão é colocada pelo arquitecto Steen Eiler Rasmussen, no seu livro *Experiencing Architecture*. No seguimento desta questão, o autor refere que para algumas pessoas a arquitectura não produz sons, por isso não pode ser ouvida; por outro lado, esta não irradia luz, no entanto podemos vê-la. Neste sentido é possível perceber a forma e o material, quando a luz reflecte numa superfície. Do mesmo modo, através do comportamento do som no espaço é possível perceber a sua proporção, formas e materiais que o definem.

Cada espaço emite uma sonoridade própria, característica que depende das propriedades dos materiais nele aplicados, com a forma da sua planta, com o seu volume, com os elementos que o definem e por exemplo se há a presença de cúpulas ou abóbadas.

Assim os efeitos sonoros obtidos são diferentes de acordo com os formatos dos recintos e dos seus materiais, variando seu tempo de reverberação.¹ (Rasmussen:1959)

Em relação à arquitectura, o sentido da visão prevalece em relação aos outros sentidos e muito raramente nos apercebemos do quanto podemos caracterizar um espaço através dos nossos poderes sensoriais. O que acontece geralmente é termos uma impressão total em relação ao que estamos a olhar. Ao entrarmos numa sala, esta pode transmitir-nos uma sensação fria devido a uma antipatia natural em relação aos seus materiais. No entanto esta pode tornar-se acolhedora acusticamente, se nela forem aplicados cortinados, tapetes e cores quentes, que absorvam e atenuem o som.² (Rasmussen:1959) Desta forma a aplicação dos materiais parece ter uma forte influência nas sensações do indivíduo, modificando as propriedades acústicas do espaço.

I.1 A CAVERNA COMO ÚLTIMO INSTRUMENTO SONORO

O sentido da audição está intimamente ligado à história das tribos, antes da comunicação através da escrita, prevalecendo sobre a visão.

Na era primitiva, os sons que eram emitidos quer por factores meteorológicos, quer pela natureza, eram possuídos algum misticismo. As vozes dos animais alertavam o homem para o perigo, os sons dos trovões eram sinónimos de poder e as cavernas um poderoso instrumento sonoro.

¹ in Steen Eiler Rasmussen, "Ouvir a arquitectura" em *Viver a arquitectura*, Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2007, (título original: *Experiencing architecture*, ed.1959), p.186.

² *Idem*.

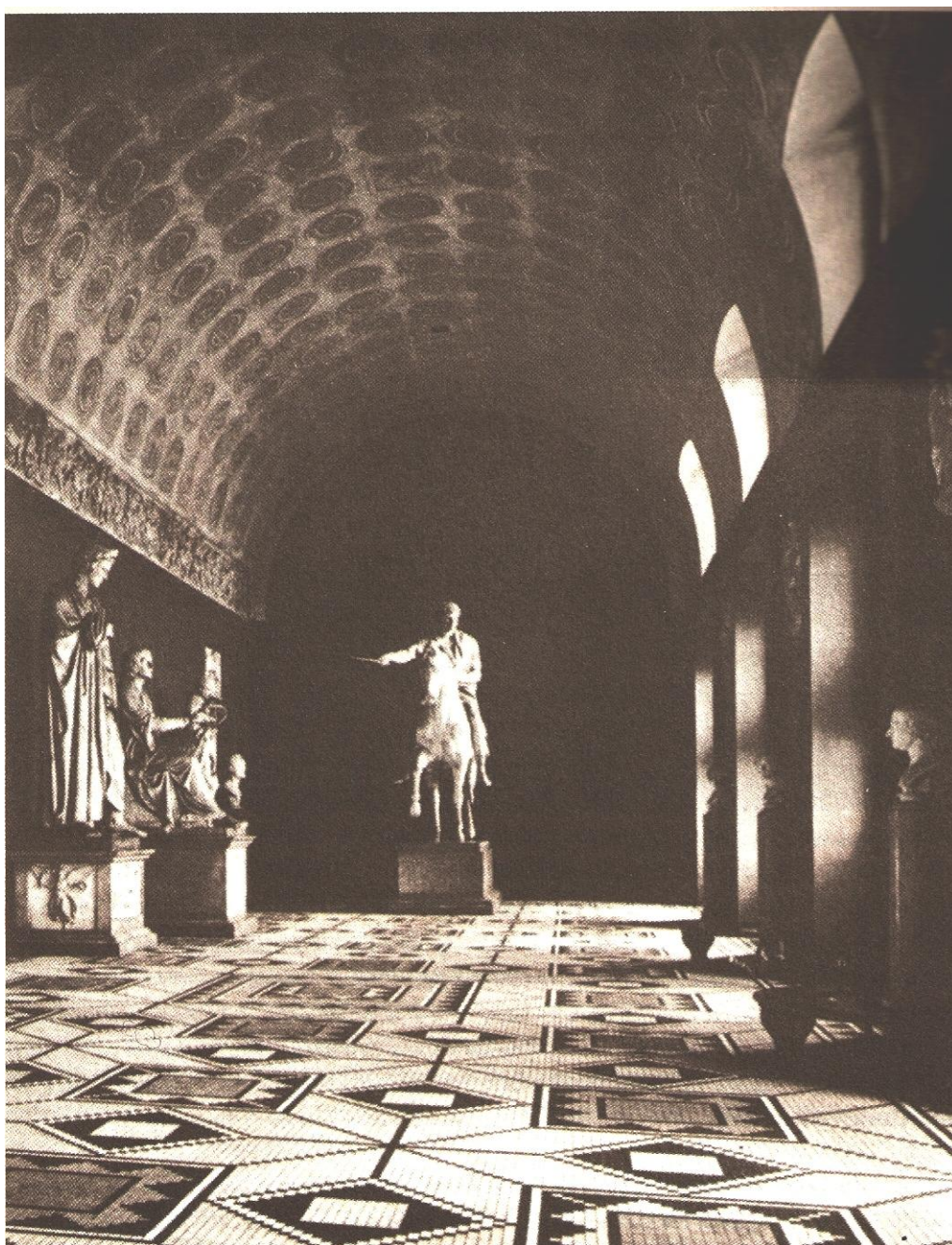


Figura 1. Museu de Thorsvaldsen em Copenhaga.

Inicialmente a comunicação era estabelecida através de mensagens sonoras e rituais, e desde cedo os indivíduos começaram a interagir com o espaço através de sons. O que fascinava o homem primitivo era principalmente a exploração das propriedades acústicas das grutas onde habitava.

O eco e a reverberação eram fenómenos que transmitiam um certo poder, pois permaneciam no tempo. Segundo Murray Schafer no seu livro, *A Afinação do Mundo*, existia na caverna neolítica de Hypogeum, em Malta (c. 2400 a.C.), um espaço que se assemelhava a um santuário ou câmara de oráculo, que era portador de uma cavidade em que as suas propriedades acústicas se assemelhavam a um ressoador de Helmholtz que possuía uma frequência ressonante de 90 Hz, permitindo ser activada pela voz humana. Eram como amplificadores do som, onde as suas propriedades acústicas como o eco e a reverberação eram experimentados. Assim as cavernas constituíam autênticos instrumentos sonoros que possibilitavam converter os sons de uma melodia em acordes harmónicos ouvidos ao mesmo tempo.

I.2 A MÚSICA E O ESPAÇO DE CULTO

Os túneis em geral produzem sonoridades que lhes são muito características, nas quais se podem fazer sentir as suas formas, invocando memórias.

À semelhança dos efeitos produzidos nos túneis, o Museu de Thorsvaldsen (figura 1) em Copenhaga possui também essas propriedades, pois é possível ouvir a sua arquitectura. Este museu possui superfícies duras e reflectoras de som, que dão aos espaços tonalidades duras, longas e reverberantes, ou seja, pisos, paredes, tectos, “*até mesmo os residentes são de pedra*”, dado que cada estátua se situava em cada galeria abobadada.³ (Rasmussen:1959)

Uma das formas de atrair visitantes consiste na apresentação de concertos no salão nobre. No entanto este não está preparado para receber música de câmara, tornando-se necessário utilizar outros métodos para o melhoramento da sua acústica, como a aplicação de tapetes no piso, e panejamentos nas paredes. Este procedimento pode reflectir que esta sala possui uma má acústica, sendo necessárias algumas correcções. No entanto pode ser reproduzido outro tipo de música adequada às propriedades acústicas da sala, que soe bem.⁴ (Rasmussen:1959)

³ *Ibidem*, p. 187.

⁴ *Ibidem*, p. 189.

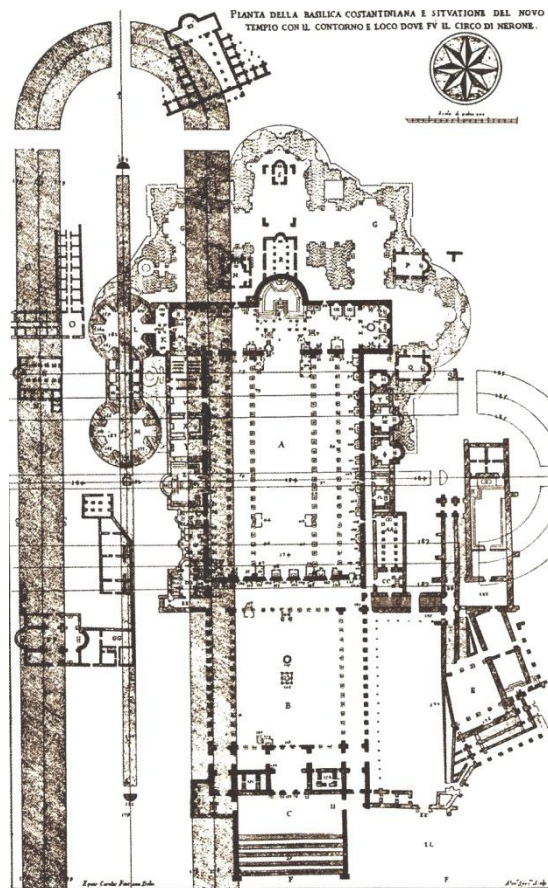


Figura 2. Plantas da antiga e nova Basílica de S. Pedro em Roma.

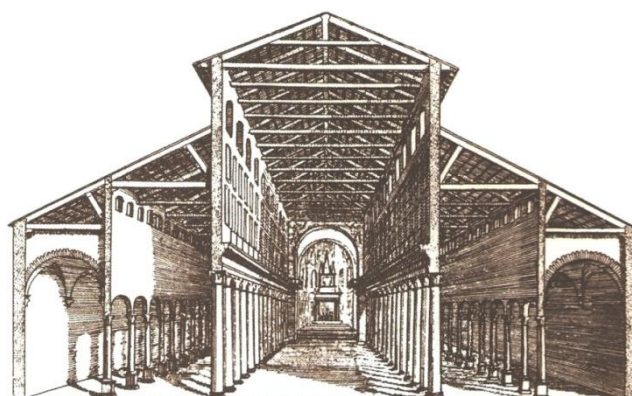


Figura 3. Perfil longitudinal da antiga Basílica de S. Pedro em Roma.

A igreja da cristandade primitiva era a Basílica de São Pedro, edifício antecessor do actual edifício renascentista em Roma, que possuía cinco naves e colunas de pedra que separavam as naves (figura 2 e 3). Em *Planning for Good Acoustics*, Hope Bagenal explica que a esta igreja deva ser adequado um determinado tipo de música de acordo com a própria reverberação, facto que originou a que o sermão fosse dado de uma forma mais rítmica, de forma a que não houvesse uma sobreposição de palavras. Nalgumas igrejas utilizava-se o que chamavam de “*nota simpática*”, ou seja, “*uma região de altura de som em que este é claramente reforçado*”, que Hope Bagenal diz estar perto do lá e do dó bemol, permitia que a mensagem fosse emitida com uma determinada tonalidade à congregação, ajustado ao tempo de reverberação. Por outro lado ao colocarmos um disco de música religiosa, gravada num estúdio a tocar, esta pode mostrar-se um tanto pobre, pois a reverberação é um efeito necessário para tal género musical, ou seja “*nas velhas igrejas, as paredes eram, de facto, poderosos instrumentos que os antigos aprenderam a tocar*”. Quando se descobriu os poderes destes instrumentos em ser ouvido mais do que um som ao mesmo tempo, desenvolveu-se o canto a várias vozes. Hope Bagenal afirma que “*a música polifónica, tal como é ouvida hoje na Catedral de Westminster, foi directamente produzida por uma forma de edifício e pelas vogais abertas da língua latina (...)*”.⁵ (Hope Bagenal in Rasmussen:1959)

Alguns elementos arquitectónicos como as abóbadas podem gerar efeitos sonoros. A igreja de São Marcos em Veneza possui uma planta de cruz grega e cinco cúpulas. Giovanni Gabrielli, por volta de 1600, pode usufruir dessas propriedades reverberantes, nas suas composições feitas para a catedral como a *Sacrae Symphonie*. O facto da Igreja de São Marcos possuir duas galerias musicais possibilitou, não só ouvir dois recintos abobadados, mas também duas orquestras, falando com tons argênteos e outra respondendo com metais ressoantes, constituindo um exemplo singular.⁶ (Rasmussen:1959)

Posteriormente à Reforma, foram realizadas alterações no espaço de culto, no sentido de adaptá-lo á nova religião, modificando as propriedades acústicas. A Igreja de São Tomas, em Leipzig, onde Johann Sebastian Bach foi organista, e para a qual compôs grande parte das suas obras, foi objecto de estudo de Bagenal. Esta Igreja, de carácter gótico de três naves, com abóbadas abatidas, sofreu alterações após a reforma, entre as quais, o revestimento da sua pedra com madeira ressoante. Foram introduzidas galerias laterais e aplicou-se madeira e cortinas nas entradas, permitindo diminuir o tempo de reverberação de 6 a 8 segundos para 2 a ½, permitindo a Bach, pela ausência de uma “*nota simpática*” compor as suas obras em diferentes tonalidades.⁷ (Rasmussen:1959)

No final do séc. XVIII ocorre a ruptura da música com o espaço sagrado. A música deixa de estar ligada a um contexto cultural, exigindo a criação do seu próprio ambiente acústico – as salas de concerto.

⁵ *Ibidem*, p. 191.

⁶ *Ibidem*, p.192.

⁷ *Idem*.



Figura 4.o som como interface na praça Belvedere do Museu de Arte de S. Paulo projectado por Lina Bo Bardi.

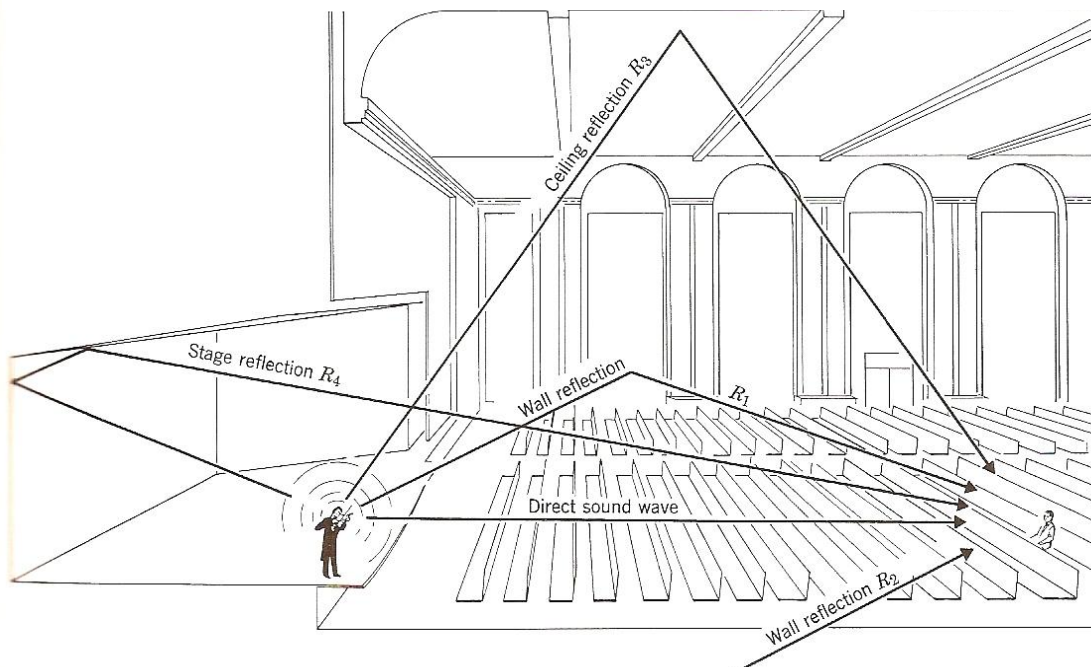


Figura 5. Representação do comportamento do som num espaço fechado.

Com a evolução do tempo, os arquitectos foram tomando consciência de que podiam dominar a qualidade sonora dos espaços e começaram a estudar as leis da acústica. Ao alcançarem a forma de dominar estes efeitos, começaram a projectar espaços que soam igualmente. No entanto o homem, como apreciador da variedade que é, gosta de experimentar as propriedades diferenciadas que normalmente uma casa de banho tem, como seja o efeito reverberante provocado pelos ladrilhos e pelas loiças ou uma banheira cheia de água que reflecte o som. Assim ao entrar nas actuais casas de banho que sofreram o moderno tratamento acústico, como por exemplo a aplicação de um tecto absorvente, sente-se limitado ao experimentar os seus dotes vocais.⁸ (Rasmussen:1959)

I.3 O SOM COMO INTERFACE ENTRE A ARQUITECTURA E O INDIVÍDUO

A relação do indivíduo com o espaço criada através de estímulos sensoriais, permite o seu crescimento e a sua aprendizagem. Neste sentido podemos dizer que o estudo do som é importante como ponte entre os dois, ou seja, como interface (figuras 4 e 5).

Com a evolução do tempo, a música e os sons do ambiente têm permitido enriquecer-se mutuamente. Deste modo quer a manifestação do som enquanto música, quer a própria definição foi modificando à medida que continuava a absorver os sons criados pela interacção do indivíduo com o meio físico, quer com os espaços ou com os objectos, devido às transformações que decorriam ao longo do tempo.

Esta evolução teve repercussões na própria organização do espaço, com a transformação dos ciclos naturais e os modos de habitar e socializar do indivíduo, modificando a paisagem, tanto visualmente como sonoramente. A par de toda esta disseminação de novos sons que foram emergindo no espaço, surgiam também novas concepções de música. Músicos e compositores trauteavam novas canções associadas aos novos ritmos da vida quotidiana, melodias com outras harmonias e os seus pentagramas eram preenchidos muitas vezes pelos vazios, pausas longas, novas notas que ocupavam espaços nas pautas, inspirados pelo que os rodeava.

⁸ *Ibidem*, p.196.

II.APROXIMAÇÃO A UMA TEORIA DA ACÚSTICA

O primeiro capítulo tem como objectivo a abordagem de conceitos e terminologias associados ao fenómeno sonoro, bem como a procura de uma linguagem comum à arquitectura, acústica e música, que nos permita encontrar ferramentas de desenho para a concepção do espaço.

II.1 - MANIFESTAÇÕES DO SOM NO ESPAÇO – SILÊNCIO, RUÍDO, MÚSICA

A contribuição da nova paisagem para um novo espectro sonoro colocou em causa qual seria a validade do som enquanto ruído, música e silêncio. Assim as diferentes manifestações do som associado a um determinado espaço, contribuíram para que a percepção por parte do indivíduo constitua um juízo de valor subjectivo.

A música com a sua notação materializada em som transmite sensações agradáveis ou desagradáveis ao indivíduo, dependendo das diversas circunstâncias, procura o domínio do tempo e do espaço. No entanto o conceito de ruído aparece frequentemente associado a um som indesejado, inconveniente e desagradável ao ouvido humano, isto é, na definição mais comum de ruído. Todavia este pode ser de alguma forma valorizado ou até mesmo musicado, o que pode parecer estranho na forma de integrar este ruído no espaço de uma música.

Ao analisarmos a definição de ruído constatamos que esta sofreu alterações ao longo do tempo devido ao aumento dos sons no mundo moderno, tendo uma variedade de significados como: *som indesejado* (The Oxford English Dictionary, datada de 1225); *som não-musical* (expressão aplicada pelo físico do século XIX Hermann Helmholtz para designar o som composto por vibrações não-periódicas em contraponto com o som musical com ondas periódicas); *qualquer som forte*; *distúrbio em qualquer sistema de sinalização* (aplicado às engenharias física e electrónica). Das definições atrás mencionadas a de “*som não desejado*” possui um carácter subjectivo, pois o que poderá ser um som não desejado para um indivíduo, para outro pode significar música.⁹ (Schafer:1977)

A legislação chamada qualitativa, compreende a opinião pública, contrastando com a legislação quantitativa, que estabelece limites em decibéis para sons não desejados. Esta medida quantitativa tende a dar ao ruído um significado de “*som forte*”, sendo este facto lastimoso, pois existem sons irritantes que não são considerados sons fortes, pois não atingem os limites quantitativos.¹⁰ (Schafer:1977)

⁹ in R. Murray Schafer, *A afinação do mundo – Uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora*, Unesp, 1997, (tr. Marisa Trench Fonterrada; título original: *The Tuning of the World: The Soundscape*. New York: Alfred A. Knopf, 1977), p. 256.

¹⁰ *Idem*, p. 258.



Figura 6. Figura versus fundo. A alternância pode também ser aplicada ao som.

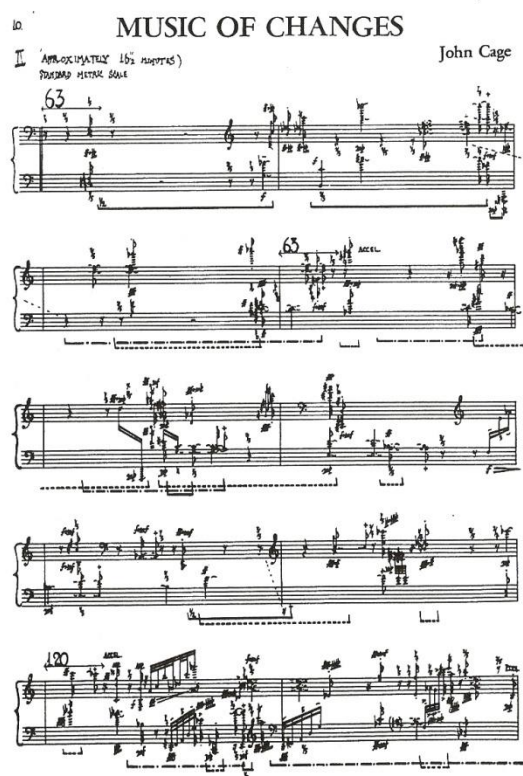


Figura 7. Partitura de John Cage, Music of Changes. Exploração de novas sonoridades.

O estudo da definição evolutiva do ruído vem sendo feito de acordo com os limites do limiar de dor da audição. Está provado pela medicina que sons acima dos 85 decibéis, ouvidos continuamente, provocam danos irreparáveis à audição, levando à designada doença do caldeireiro, porque as primeiras vítimas eram operários de fábricas que estavam expostos a ruídos provocados pelas caldeiras. Por outro lado estudos referem-se à exposição continuada a níveis de ruído considerados baixos: 70 decibéis durante dezasseis horas, pode ser suficiente para causar perda auditiva.¹¹ (Schafer:1977).

A evolução da prática legislativa deveria abranger ambas as perspectivas: a qualidade e quantidade de ruído. Contudo parece estarmos a assistir à evolução quantitativa, que não prevê a resolução de alguns problemas.¹² (Schafer:1977)

Do silêncio à música

“A reconquista da contemplação nos ensinaria a ver o silêncio como um estado positivo e feliz em si mesmo, como a grande e magnífica tela de fundo sobre a qual se esboçam as nossas acções, sem o que permaneceriam incompreensíveis ou não poderiam sequer existir.”¹³ (Schafer:1977)

Com a evolução das novas tecnologias como altifalantes, gravadores, amplificadores e vídeo, os compositores e arquitectos foram capazes de alcançar alguns efeitos sensoriais ao conjugar o som com a luz, espaço, e imagem.

Luigi Russolo e Edgar Varèse foram pioneiros em experimentações onde o ruído fazia parte da composição musical. Mais tarde, as suas obras viriam a servir de inspiração a compositores como John Cage, Karlheinz Stockhausen e Iannis Xenakis.

A obra *L'arte dei rumori, a arte do ruído* de Russolo, 1913, constituiu uma inovação musical: este evento consistia na utilização de objectos que produziam sons invulgares, compondo assim uma orquestra de ruídos. Como consequência deixaria de haver o limite entre sons musicais e não musicais. *“Em 1913 Luigi Russolo pode dizer que a nova sensibilidade do homem dependia do seu apetite por ruído.”¹⁴* (Schafer:1977)

A troca de papéis entre figura e fundo (figura 6) e a substituição da *beleza* pelo *lixo* por Russolo, assinalava uma nova transição musical. Estas alterações coincidiram com o Modernismo na Música e a exploração de novas sonoridades (figura 7).¹⁵ (Schafer:1977)

¹¹ *Ibidem*, p. 258-267.

¹² *Ibidem*, p. 276.

¹³ *Ibidem*, p. 357.

¹⁴ *Ibidem*, p. 261.

¹⁵ *Ibidem*, p.161.

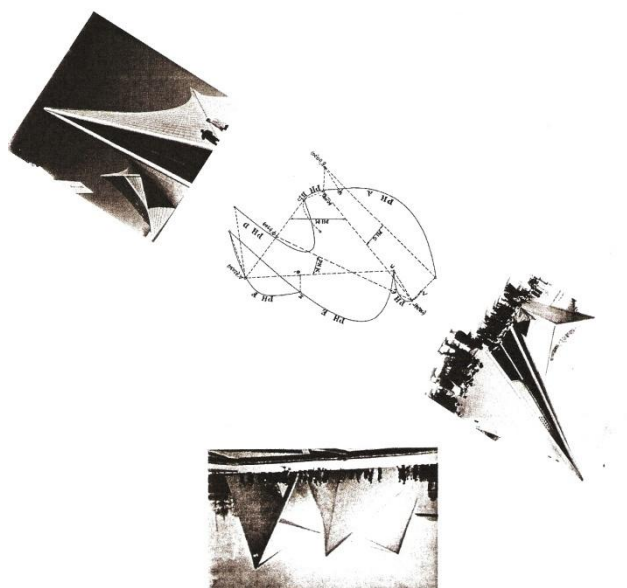


Figura 8. Desenho e fotos do Pavilhão Philips, (1958) espacialização da música.

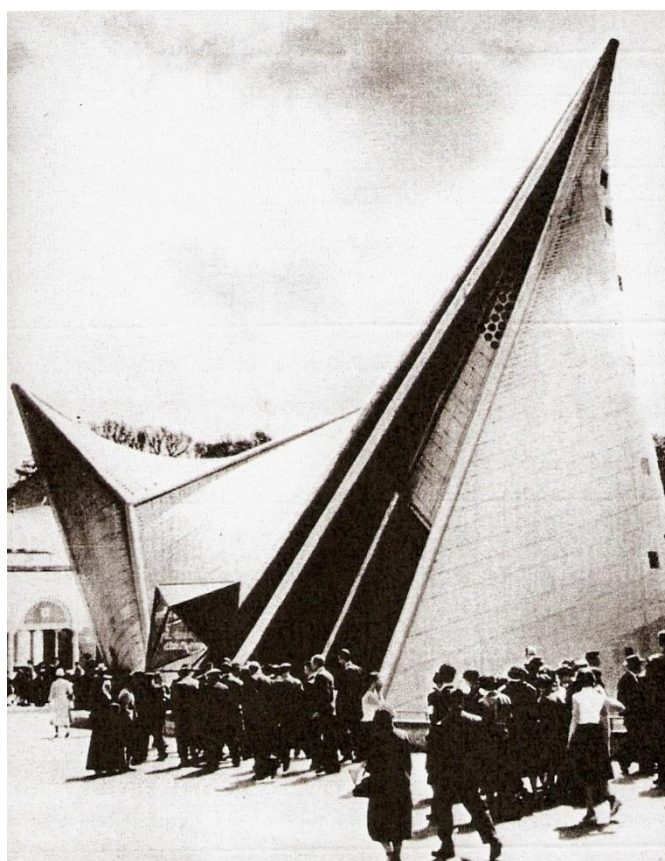


Figura 9. Pavilhão Philips (1958): conjugação de música, som, luz e espaço.

Neste sentido surge uma nova abertura e dá-se origem à inexistência de limites entre música e som ambiente, a partir do momento em que John Cage decide “*abrir as portas da sala de concertos para deixar que o ruído do tráfego se misturasse com os seus próprios ruídos (...)*”.¹⁶(Schafer:1977) Uma nova linguagem musical é aqui explorada, quer pela utilização do ruído, quer por sons tonais na música. Assim John Cage e Edgar Varèse exploram novos sons electrónicos relacionados com as novas tecnologias.

Em 1952, o compositor John Cage ao entrar numa câmara anecoica pôde concluir que: “*Não existe silêncio. Sempre está a acontecer alguma coisa que produz som*” ¹⁷ (Schafer:1977), após ouvir um som agudo e outro grave referente à circulação e à batida do coração. No mesmo ano, na sua obra intitulada *4’33”*, Cage explora o conceito de silêncio na sua composição, na qual se ouvem todos os sons externos. Neste sentido é possível dizer que o silêncio soa, pois funciona como interruptor do som ou segue-se a ele, reverberando até deixar de ser perceptível pela memória.

O compositor Anton Webern não só está atento ao silêncio, como compõe com ele, utilizando frequentemente o uso de pausas, pois para ele “*a música é composta como um apagador*”.¹⁸ (Schafer:1977)

A espacialização na música

A peça *Gruppen*, 1955 -57, de Karlheinz Stockhausen, na qual uma nova organização espacial contrapõe com a organização e formação da orquestra clássica, que era mais compacta, possibilita que o público seja não só um espectador mas participante na peça, ao estar rodeado pelos músicos, surgindo assim um novo conceito musical – a música espacial.

Em 1958 surge um exemplo notável de união entre espaço e som, com a colaboração entre o arquitecto compositor Iannis Xenakis com Le Corbusier, no Pavilhão Philips da Exposição de Bruxelas (demolido depois da exposição), onde o *Poème Electronique* de Varèse (especialmente criado para a exposição) era difundido em altifalantes dispostos por todo o espaço (figuras 8 e 9).

A música como fenómeno cultural foi sofrendo alterações ao longo do tempo. No entanto não se pretende retratar aqui a história da música, mas sim enunciar alguns momentos importantes para o entendimento da influência do espaço na música como a criação de uma nova espacialização da música. Esta temática torna importante o pensamento do compositor e o envolvimento da componente arquitectónica nas suas composições. A influência do espaço na sua música, não se fica somente pelo efeito sonoro pretendido para a difusão determinada, mas abrange a própria distribuição dos músicos no espaço.

¹⁶ *Idem.*

¹⁷ *Ibidem*, p. 355.

¹⁸ *Idem.*

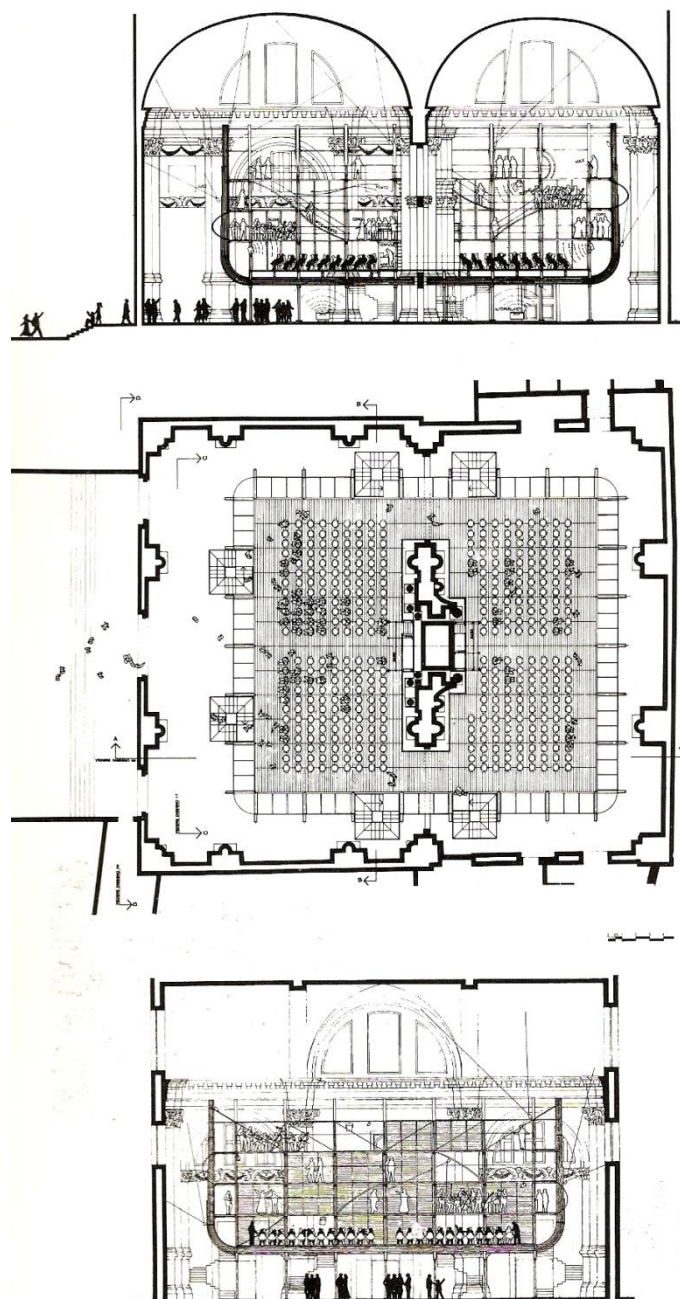


Figura 10. Desenhos da estrutura concebida por Renzo Piano para a obra musical e conceptual de Luigi Nono.

Neste sentido a obra de Stockhausen revela um marco muito importante na exploração de “a cena”, ou seja o espaço que agrupa a orquestra e em frente ao qual se dispõe o público. Com a sua obra *Gruppen* (1957) propõe uma “espacialização do som”, renunciando à disposição espacial convencional, fragmentando a orquestra em três grupos instrumentais distribuídos pelo espaço em torno do público, ficando este envolvido pelo som. Para Llorenç Barber “a expansão das fontes do som colabora com a ampliação da escuta que recupera aqui por sua vez ingredientes menosprezados pela chata conversação do tardo sinfonismo.”¹⁹

Desde a esteriofonia oferecida pela música electroacústica e transferida à música instrumental por este *Gruppen*, existe na música contemporânea uma corrente de propostas que ampliam e enriquecem as composições em movimento do som, sendo possível compor com o espaço, assumindo a sua presença, ao contrário do que por vezes acontece em que este se torna o “cenário”.²⁰

A noção de movimentação da música pode também ser explorada através de meios electroacústicos. Contudo a ideia principal deste *Gruppen* é a deslocação sonora através da componente humana, permitindo que nos diferentes grupos de músicos, situados em diferentes espaços possam gerar deslocação sonora.

O deslocamento do som pode ser aperfeiçoado através de fusões harmónicas e espectrais de som semelhantes e próximos ou não, permitindo que haja conjugação ou conversações cruzadas entre fontes sonoras distantes.²¹

Este tipo de composições, permite ao ouvinte estar envolvido em todos os ângulos pelo som, consoante as localizações das fontes sonoras. Paralelamente às obras *Alphabet* (1972) ou *Telemusique* (1966) de Stockhausen, nasceram outras com o mesmo pensamento como: *Polytope* (1967) de Xenakis, *Repons* de Boulez. Em (1981-1985), nasce o *Prometeo*, *tragédia dell' ascolto* com a música e conceito de Luigi Nono, que tem a colaboração do arquitecto Renzo Piano (figuras 10 e 11).

O papel da organização do espaço na mente do compositor foi ganhando dimensão, existindo obras em que compositores e arquitectos e acústicos trabalham em uníssono.

Renzo Piano numa entrevista no âmbito da sua obra *Prometeo*, refere que a “interdisciplinaridade não consiste em fazer intervir os especialistas uns atrás de outros em cascata. A interdisciplinaridade não é possível quando se trabalha em compartimentos estanques (...). A arquitectura desempenha uma função de intermediário entre muitas pessoas

¹⁹ in Llorenç Barber, “*Músicas de cielo y suelo o sobre la composición del lugar.*”
<http://www.geocities.com/mplurifocal/cielosuelo> [visita a 12/02/09]

²⁰ *Idem.*

²¹ *Idem.*



Figura 11. Arca do Prometeo - o espaço no pensamento do compositor.

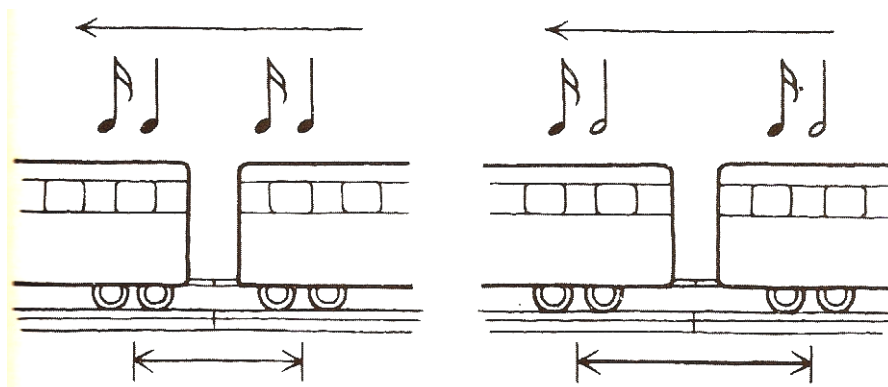


Figura 12. a influência do ambiente na concepção do jazz .

que trabalham em conjunto. Para recuperar a unidade perdida, para fazer arquitectura hoje é necessário saber vê-la, saber ouvi-la e saber trabalhar em equipa."²² (Soriano:2008)

A influência do ambiente na música

Com o surgimento de novas sonoridades, a partir da ausência dos limites entre música e sons ambientais, músicos e educadores musicais tomaram consciência de que a música não era somente ouvida nas salas de música, mas no mundo exterior. Toma-se por exemplo a influência que as estradas de caminho de ferro tiveram no desenvolvimento do jazz, Howard Broomfield afirma mesmo que as blue notes (o efeito de passar de terças e sétimas maiores para menores) podem ser ouvidas nos apitos e no som das rodas sobre os trilhos, devido à distância entre eles, podem-se notar diferentes ritmos (figura 12).²³ (Schafer:1977)

As composições foram afectadas pela gravação em fita ou disco, permitindo a repetição e recapitulação do material musical, ou seja, a redundância. O amplificador impôs limites na orquestra, substituindo-a e funcionando como o último instrumento para dominar o espaço acústico. A primeira vez em que se utilizou um amplificador foi a 20 de Setembro de 1919, num comício, quando Woodrow Wilson discursou na Liga das Nações.²⁴ (Schafer:1977)

Como observámos anteriormente, o meio físico oferece contingências ao compositor, que podem ser como uma estrutura da música, uma espécie de pano de fundo, de esqueleto da música, que com o tempo poderá ser incrementada com sonoridades criadas num espaço. Neste sentido parece ser importante que estes ruídos para serem transfigurados em música sofram um processo, que permita a sua organização num espaço-tempo, ou até mesmo no silêncio. Poderá o silêncio funcionar como este pano de fundo de música, ou espaço contínuo, onde possamos inscrever as várias expressões, ou ser comparado com o vazio da música, o negativo, som branco, mas ser som. Poderá ser então o silêncio, uma forma de som do nada. Podemos ter esta sensação quando colocamos um disco a tocar. Nos poucos segundos antes de começar a música, ouvimos o silêncio, portanto existe o som do silêncio, ou seja, o silêncio por si só como escuridão da luz não existe, haverá sempre alguma manifestação no seu conteúdo.

Música poderá ser qualquer som, seja ele sob a manifestação de ruído ou silêncio. Deste modo o compositor e o educador musical têm um papel fundamental no estado da realidade sonora, sendo responsáveis pela educação do ouvido humano. O indivíduo que possua um ouvido educado poderá contribuir para a concepção de espaços "afinados", de

²² in Susana Moreno Soriano, *Arquitectura y Música en el siglo XX*, Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos, 2008, (Arquia/Tesis 27), p.133.

²³ in R. Murray Schafer, *op. cit.*, p. 161-165.

²⁴ *Ibidem*, p. 166.

acordo com as suas necessidades, à sua medida, à medida do seu ouvido, evitando as sobreposições, interferências sonoras e acima de tudo a poluição sonora que está a tomar proporções incontroláveis.

II.2 - O SOM FUNDAMENTAL DA ARQUITECTURA – IDENTIDADE E TONALIDADE DO ESPAÇO

The World Soundscape Project

Nos anos sessenta surgiu um movimento sonoro denominado The World Soundscape Project, ou seja, Paisagens Sonoras, pela iniciativa do compositor Murray Schafer e Barry Truax, que tinha como principal objectivo combater a evolução da poluição sonora, surgindo até uma ramificação da Ecologia, denominada Ecologia Sonora. Foram várias as experiências efectuadas por este grupo, entre as quais uma recolha de sons de algumas regiões como Vancouver, permitindo estudar os sons aí produzidos.²⁵

A abordagem relativamente à poluição sonora tem sido efectuada pela negativa, ou seja, pela diminuição do ruído. Torna-se então necessário atacar o problema pela positiva, encorajando, preservando e acentuando os sons que desejamos. Tal situação é possível com o conhecimento do ambiente acústico, que proporcione ferramentas que possibilitem o aperfeiçoamento da orquestração sonora mundial.²⁶ (Schafer:1977)

Os estudos da paisagem sonora mundial situam-se entre a arte, a sociedade e a ciência. Com a acústica aprendemos sobre as propriedades acústicas do som; com a psico-acústica, tentamos perceber como é que o indivíduo interpreta este fenómeno sonoro. Na sociedade percebemos como é que o homem se comporta mediante fenómenos sonoros. Nas artes, no caso da música, apreendemos como é que o homem cria paisagens sonoras intervindo nelas quer como compositor, quer como intérprete.²⁷ (Schafer:1977)

A paisagem sonora é definida como *“qualquer campo de estudo acústico. Podemos referir-nos a uma composição musical, um programa de rádio ou mesmo a um ambiente acústico”*²⁸ (Schafer:1977), que pode ser isolada como um campo de estudo sonoro, da mesma forma que se estuda visualmente uma paisagem. No entanto torna-se difícil definir uma perspectiva histórica relativamente ao estudo das paisagens sonoras, dado que a invenção de um aparelho para o registo do som surgiu tardiamente, sendo necessário recorrer ao relato de testemunhas da literatura, entre outros registos históricos ou antropológicos.²⁹ (Schafer:1977)

A existência de uma prova final em que o objecto de estudo é a “paisagem sonora” permite aprofundar melhor esta temática, através de várias metodologias de observação e

²⁵ Torna-se importante referir que tive contacto com um projecto sonoro semelhante explorado na aldeia de Nodar. A minha experiência passou pela visita a uma exposição presente no teatro Viriato, que explorava os sons captados na própria arquitectura, quer sons do ambiente interior quer exterior, ou seja os instrumentos utilizados para captação, poderiam estar encastrados nas paredes.

²⁶ *Ibidem*, p.18.

²⁷ *Idem*.

²⁸ *Ibidem*, p.19.

²⁹ *Ibidem*, p. 19-24.



Figura 13. praça 8 de Maio - o desenho da paisagem sonora pelas vozes do território.

interacção entre a percepção auditiva e visual, possibilitando classificar os sons ambientais, definir as suas tipologias bem como a criação de itinerários acústicos. Todavia, no presente trabalho importa reflectir sobre a contribuição do ambiente sonoro na prática arquitectónica.

O desenho da paisagem sonora através da linguagem musical

No que se refere à paisagem sonora, Murray Schafer sublinha que o seu desenho é possível, utilizando mecanismos e ferramentas análogos à interpretação de uma sinfonia musical pela orquestra, que neste caso pode ser constituída por vários músicos distribuídos pelo território. Estes intérpretes, podem não estar habituados a ler as partituras, não seguindo nenhuma regra, constituindo parte da composição da paisagem sonora. Assim o desenho da paisagem sonora deveria ser mais livre, permitindo aos utilizadores do espaço desenharem o seu ambiente, tornando-se assim autênticos compositores – intérpretes (figura 13).

Para criar, compor ou desenhar, é necessário a análise ou interpretação das vozes do território. No entanto existem várias metodologias para esta análise como por exemplo a utilização de uma quadrícula e gravação dos vários acontecimentos sonoros e suas características ou parâmetros objectivos, como a intensidade, o volume e o tempo de reverberação.³⁰ (Domènech:2002)

Este conhecimento possibilita que o arquitecto adquira experiência auditiva, para na hora de conceber os espaços estar mais consciente de quais as vozes que pretende atenuar ou enfatizar. O desenho das paisagens sonoras deve ser tido em conta, pois os arquitectos devem desenhar pensando com uma perspectiva futura, para que o espaço seja utilizado pelas gerações vindouras e seja desejável acusticamente.

As “vozes da paisagem”, é a terminologia utilizada por Francesc Daumal Domènech, para denominar os eventos e os fenómenos que ocorrem num determinado espaço. Assim distinguem-se as vozes da vegetação, as vozes dos pavimentos, as vozes dos elementos – a água, o ar e o fogo – as vozes sócio - culturais e as vozes dos seres vivos. Todas estas “vozes”, associadas a actividades físicas ou mecânicas, fenómenos naturais de um determinado contexto, produzem sonoridades que caracterizam os espaços.

A vegetação encontra-se distribuída por todo o espaço, o que atribui ao território sons particulares, que actuam como absorventes (amortecendo os ruídos), de acordo com a sua densidade (figura 14). A vibração da massa arbórea pode excitar frequências fundamentais de ressonância das pontes, cabos de alta tensão e outros elementos desenhados pelo ser humano.

³⁰ in Francesc Daumal Domènech, *Arquitectura acústica, Poética y diseño*; Barcelona: UPC, 2002, p.155.



Figura 14. Palácio de cristal - vozes da vegetação.



Figura 15. casa de vidro projectada por Lina Bo Bardi (1950-51).

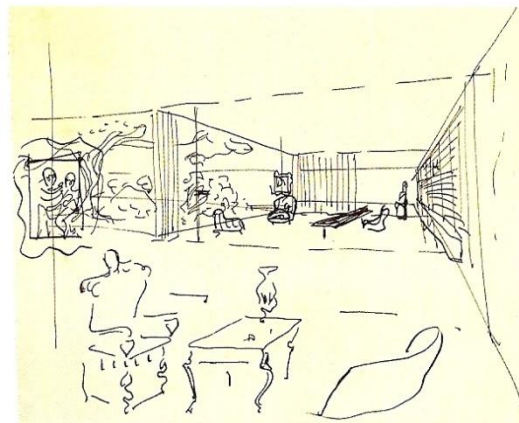
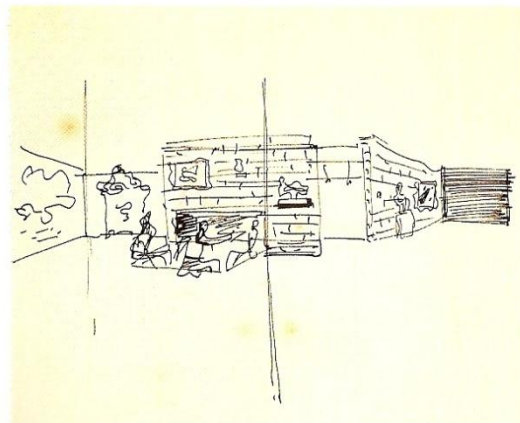
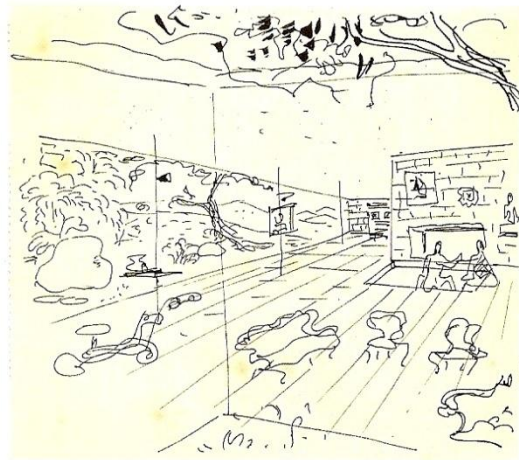
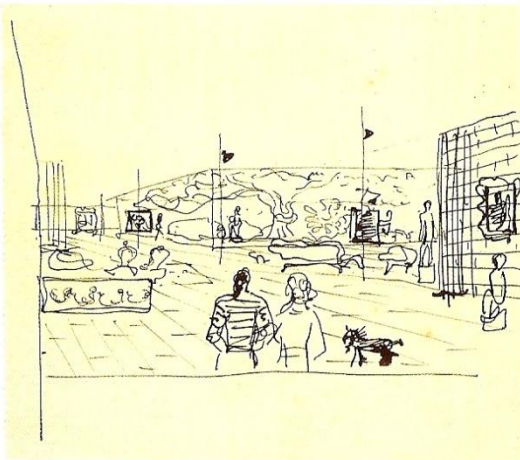


Figura 16. Esquissos da casa de vidro – o desenho da vegetação a entrar pela casa.

No caso do ar do bosque, a sonoridade produzida pelo entrecchoque dos ramos das árvores, devido à acção do vento, variando consoante a copa da árvore, o tipo de folha, a estação do ano entre outros factores, chega a produzir várias expressões sonoras, ou até mesmo música no bosque.³¹ (Domènech:2002) No entanto para perceber como soam os diferentes paisagens sonoras vegetais é necessário ouvir *in situ* os seus sons (figuras 15 e 16).³² (Domènech:2002)

Associados aos bosques estão as vozes dos animais. No caso da vocalização dos pássaros, a sua musicalidade tem sido muito estudada.³³ (Schafer:1977)

No plano horizontal, identificamos as vozes dos pavimentos (figuras 17, 18 e 19), que podem ser pétreos, vegetais ou aquíferos, que permitem-nos compreender as suas características, como a absorção ou a reflexão do som. A gravilha é um pavimento extremamente absorvente; para além disso contribui ambientalmente com a sua inércia térmica, tom de cor e acabamento rugoso, permitindo que o ar ou a radiação que chega tenha uma saída, variando o seu comportamento.³⁴ (Domènech:2002) A relação entre comportamento térmico e comportamento acústico de cada pavimento deve ser tida em conta, bem como se este é duro ou mole acusticamente. Em geral os pavimentos apresentam baixo coeficiente de absorção, pelo que não tem uma grande repercussão na diminuição do som mediante a distância, a não ser que estejamos a falar da neve ou areia. O som diminui a intensidade de acordo com a distância que separa a fonte do receptor. Todavia se o pavimento for reflector como um espelho de água, o som aumenta 3 decibéis.³⁵ (Domènech:2002)

A água é uma das vozes dos elementos, de carácter natural, que merece uma grande atenção, quer pelo seu efeito sonoro, quer pela sua poética sonora. Posteriormente enunciaremos o ar e o fogo.

Desde cedo o ser humano mantém uma estreita ligação com a água. Não é por acaso que grande parte do nosso corpo, é constituído por água. Também a água pode despertar sensações de relaxamento, nas fontes (figura 20), rio e mar, ou no caso de alguns fenómenos meteorológicos, sensações negativas. Assim pode obter-se efeitos com a água de forma mais controlada, através das fontes, espelhos de água, ou por outro lado, por contingências do ambiente.

Nas palavras de Murray Schafer “*Todos os caminhos do homem levam à água. Ela é o fundamento da paisagem sonora original e o som que, acima de todos os outros, nos dá o maior prazer, em suas incontáveis transformações.*”³⁶ (Schafer:1977)

³¹ *Idem*, p.156.

³² *Ibidem*, p.158.

³³ *in* R. Murray Schafer, *op. cit.*, p.54.

³⁴ *in* Francesc Daumal Domènech, *op. cit.*, *loc. cit.*.

³⁵ *Ibidem*, p.160.

³⁶ *in* R. Murray Schafer, *op. cit.*, p.34.

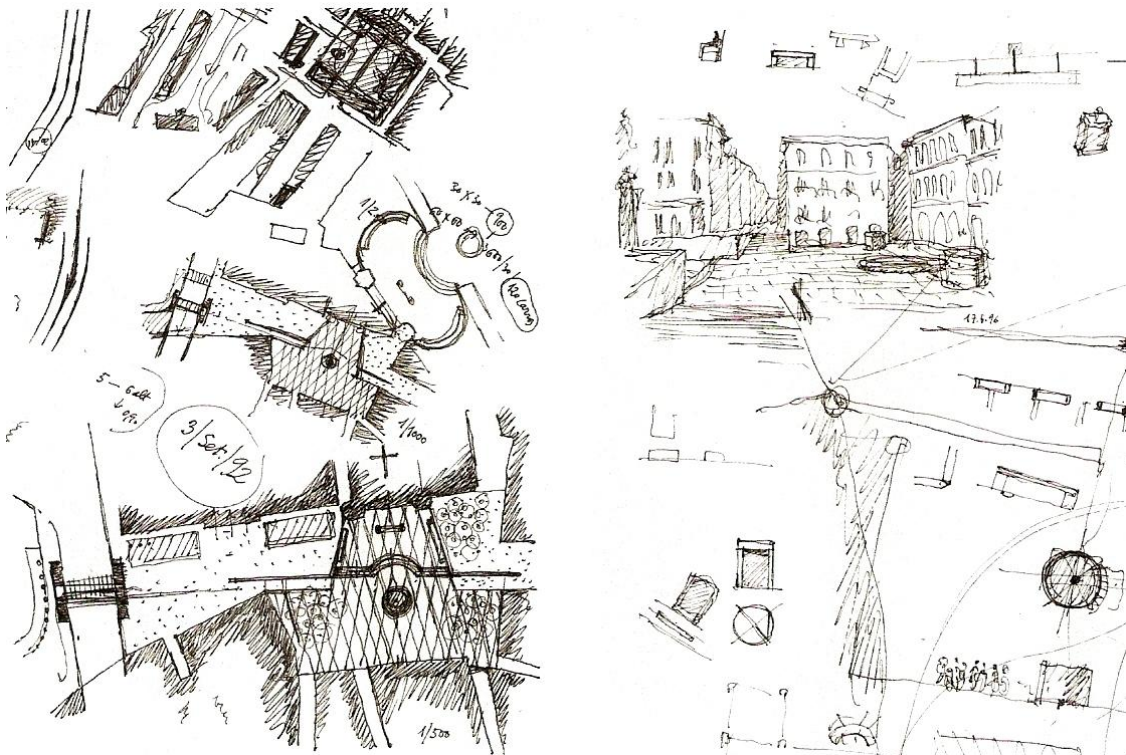


Figura 17. esboços da Praça 8 de Maio, do arquitecto Fernando Távora.



Figura18.diferentes pavimentos da Praça 8 de Maio.



Figura19.vozes dos pavimentos na Praça 8 de Maio.



Figura 20. vozes dos elementos – ÁGUA – fonte da praça 8 de Maio.

No entanto é importante referir os vários estados: líquido, sólido ou gasoso, ou seja, se se trata de chuva, neve ou nevoeiro. Torna-se importante perceber como é que se transmite o som no mar, em presença de partículas de vapor de ar na atmosfera ou nevoeiro, ou seja, a emissão de uns tons graves determinados, pelas sirenes dos barcos têm alguma razão de ser, bem como o tom das campainhas de alguns veículos.³⁷ (Domènech:2002)

Importa perceber que é possível desenhar a água e obter múltiplos efeitos sonoros através dos seus movimentos e estados, dependendo da sua circulação no ar e seu impacto no caso dos repuxos.

Para desenhar com a água é necessário perceber como são desenhados alguns elementos. No caso do guarda-chuva, este está preparado acusticamente para receber a chuva. Por analogia com a arquitectura, as nossas coberturas deveriam estar preparadas, ou seja, a chuva choca contra determinados elementos de revestimento de vários tipos de coberturas como o zinco e a gravilha. Pela nossa experiencia é possível decifrar o tipo de cobertura através do tipo de sons de impacto da chuva na cobertura. Deciframos pelo som se se trata de uma chapa, se ela é grossa ou delgada, se é delgada e armada de nervos, que fazem com que não gere o efeito tambor.³⁸ (Domènech:2002)

Ao desenhar uma cobertura, o arquitecto deveria pensar qual o efeito sonoro que desejaria obter quando a chuva incidisse sobre ela, através do estudo dos materiais mais adequados, da frequência das chuvas e de outros factores climáticos. Cada material apresenta propriedades diferentes que podem ser alteradas em contacto com a chuva, a neve, o granizo, ou até mesmo o sol.

A neve constitui a uma voz silenciosa, originando um acabamento de alta absorção sobre a vegetação, sobre os objectos, as cidades. Enquanto que a queda do granizo é mais perceptível no contacto com o material, que emitirá umas notas determinadas, e tonalidades específicas de acordo com a sua composição.³⁹ (Domènech:2002)

A água a correr pode produzir diferentes efeitos sonoros: assim temos a água que circula pelos rios a uma determinada velocidade, a água do mar. Ouvir o mar desde a praia não é a mesma coisa do que ouvi-lo a partir de uma posição elevada. Se nos situarmos na praia ouvimos o efeito de esteriofonia. Quando se olha no horizonte e se vê o mar, escutam-se os sons que vêm da direita e os que vêm da esquerda. No entanto, quando nos elevamos a uma altura elevada e nos afastamos, o efeito sonoro que ouvimos é uma linha quase contínua de som. Nos rios a água que corre pode movimentar as pedras e originar um efeito sonoro característico. Assim quer o mais pequeno ou maior elemento a ser desenhado, deve conter uma intenção para que se produzam melodias interessantes.⁴⁰ (Domènech:2002)

³⁷ in Francesc Daumal Domènech, *op. cit.*, p.162.

³⁸ *Ibidem*, p.164.

³⁹ *Ibidem*, p.165 – 166.

⁴⁰ *Ibidem*, p.168.

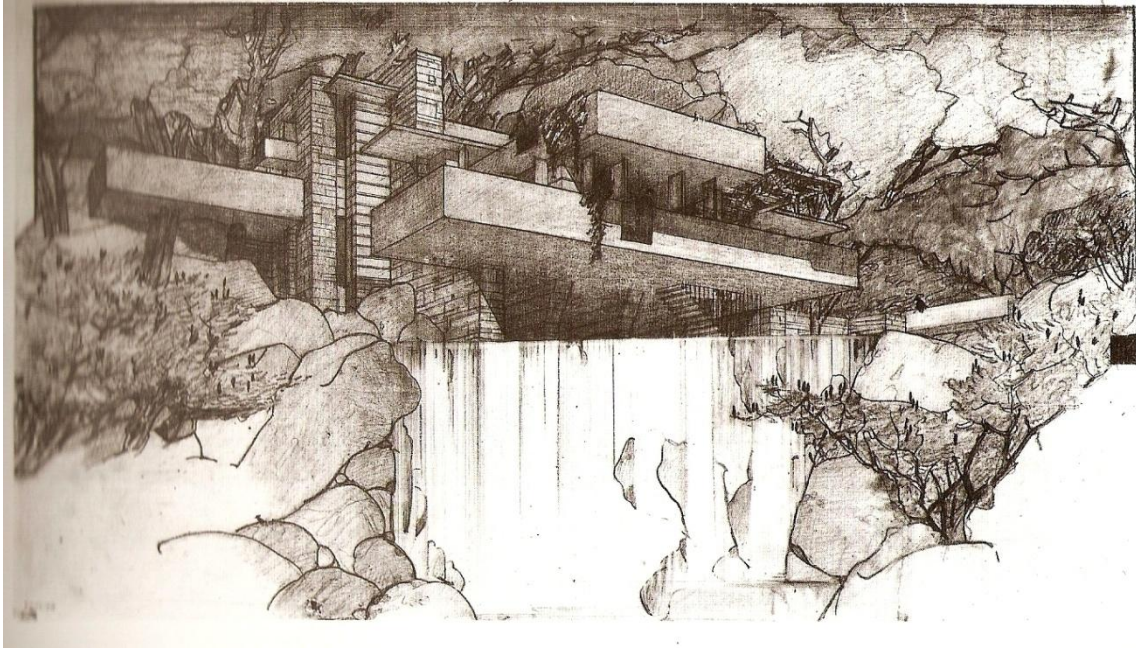


Figura 22. desenho da casa da cascata de Frank Lloyd Wright. A música reproduzida pela cascata.



Figura 21. Órgão do mar em Zadar na Croácia.



Figura 23. Escultura sonora em homenagem a Sibelius na Finlândia.



Figura 24. Escultura sonora de Mike Tonkin e Anna Liu.

A construção do órgão do Mar em Zadar, na Croácia, que foi premiado com o prémio Europeu do Espaços Públicos Urbanos, é um exemplo de aproveitamento das propriedades sonoras do mar (figura 21). A casa da cascata de Frank Lloyd Wright aborda a temática da água em queda (figura 22).

As quedas de água ou cascatas são lugares desenhados pela natureza, em que o som resultante é o resultado das diferenças de cota, das cavidades, de turbulências nas variações da água, da velocidade e da queda. Estamos aqui a falar dos movimentos que a água pode ter, ou seja, a queda de água. No entanto outro efeito pode ser obtido com o sentido ascendente da água como um repuxo numa fonte.⁴¹ (Domènech:2002)

Outro elemento como o movimento do ar à semelhança da água produz sonoridades variáveis, em contacto com os materiais, neste caso é importante referir a presença, nos arredores de Londres, de uma escultura de Mike Tonkin e Anna Liu, feita com 1000 tubos galvanizados, que quando percorridos pelo vento actuam como flautas (figura 23), bem como a escultura em homenagem ao compositor Sibelius localizada na Finlândia (figura 24).

O ar é um elemento muito difícil de dominar. Só recentemente é que foi possível o controle do seu caudal, da pressão e da sua velocidade, devido à necessidade de climatizar e ventilar os espaços. No entanto quando queremos conceber um objecto de acordo com os sons eólicos, deve-se ter em conta que estes sons produzem-se sempre que se possa excitar a fonte ou seja, é necessário que haja suficiente velocidade inicial do ar para exercitar o som do elemento. Existem elementos ou obstáculos pouco aerodinâmicos, como as chaminés, os cabos de alta tensão, os ramos de árvores, as persianas das nossas janelas, que em contacto com o ar produzem sons familiares ao ser humano.⁴² (Domènech:2002)

Finalmente nas vozes dos elementos é possível desenhar o fogo, e ao contrário da água que significa criação de vida, este significa destruição. Contudo este pode ser gerador de ambientes acolhedores, como o fogo numa lareira, bem como proporcionar emoções e significar festividade, com a expressão em forma de fogo de artifício.

No território não temos apenas as vozes da natureza, mas também do ser humano, que tem proporcionado uma melhor comunicação a maior distância, desde mais lugares, desenhando múltiplas vozes, como por exemplo o megafone. Diferentes vozes ajudam a diferenciar as diferentes actividades do ser humano, que Francesc Daumal Domènech denomina de *vozes das associações*, como laicas ou religiosas, civis ou militares, os sinos e outros meios de comunicação.

Um exemplo de foco sonoro móvel é o apito do comboio, que é associado aos avisos de chegada e partida dos comboios. Devido à utilização de máquinas a vapor, podia-se expulsar muito a pressão, accionando o apito como mínimo bitonal. Consideram-se como focos móveis os vendedores ambulantes, que podem utilizar um microfone, anunciado o seu produto

⁴¹ *Ibidem*, p.169.

⁴² *Ibidem*, p.170.

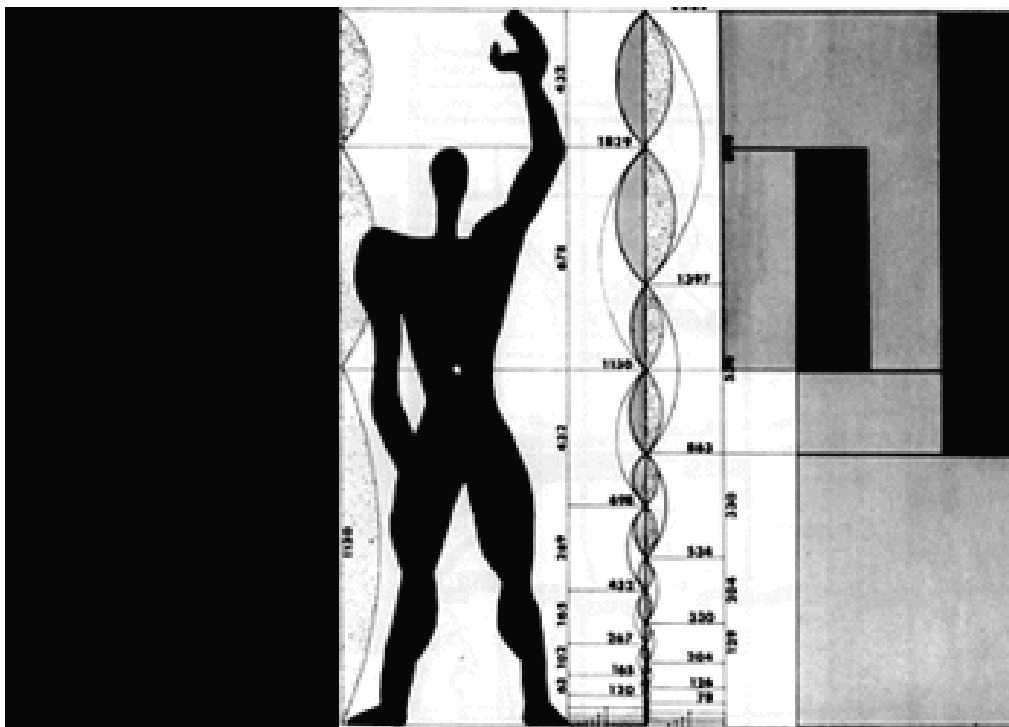


Figura 25. o modulator construído por Le Corbusier, constituindo as proporções da anatomia humana.

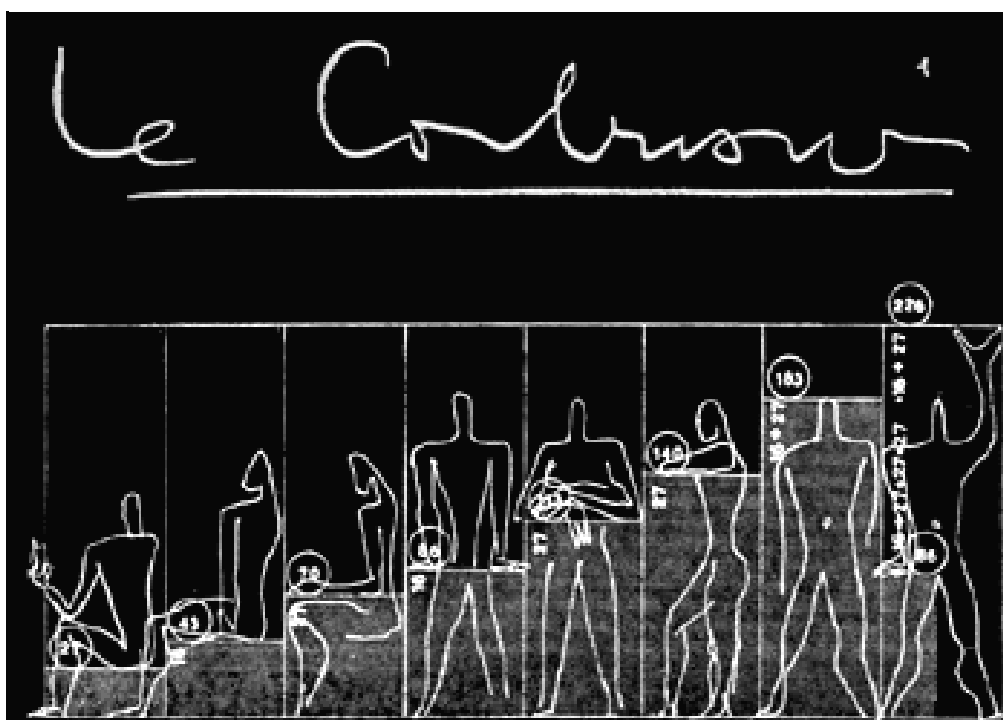


Figura 26. As medidas antropométricas proporcionam a escala pela qual os arquitectos organizam o espaço.

através de umas palavras mágicas. Assim também os músicos de rua marcam a sua presença em lugares concretos, mediante a sua própria interpretação musical.⁴³ (Domènech:2002)

Outras associações há que possuem focos fixos, mantendo uma ligação mais estreita de convivência com a sua envolvente, como por exemplo a actividade sonora que exerce um serralheiro, podendo estabelecer-se a comparação com o olfacto, ou seja, ao passarmos próximo de uma pastelaria, ou fábrica de chocolate sentimos alguns odores característicos.⁴⁴ (Domènech:2002)

Os sinos são importantes meios de comunicação. Para entender a magia que está por detrás deles é relevante conhecer como se desenham e como se fundem, bem como a sua afinação, pois interessa gerar uma melodia musicalmente afinada. É por isto se restituem os sons das catedrais das cidades.⁴⁵ (Domènech:2002)

Os recitais que Llorenç Barber compõe com os diferentes sinos das catedrais, igrejas, mosteiros e câmaras, são autênticos exemplos de como se podem usufruir das potencialidades sonoras dos sinos para a exploração da música e inserida em vários espaços, podendo ser aplicado o termo de música espacial neste caso. Podemos tomar como exemplo o recital que aconteceu em Junho de 1998, em Estocolmo, no âmbito do Forum Mundial da Acústica Ecológica.

Em relação às sonoridades da paisagem natural, esta apresenta ritmos sazonais: o ritmo diário (que distingue o dia da noite), o ritmo das estações do ano ou ainda o ritmo dos homens nas suas actividades. Do mesmo modo que o corpo (figuras 25 e 26), para o ser humano, nos proporciona a escala pela qual os arquitectos organizam os espaços, também o corpo nos dá os módulos necessários para corresponder os ritmos acústicos do ambiente e do universo, como por exemplo o ritmo regular da batida do coração, o ritmo da respiração, etc.⁴⁶ (Schafer:1977).

O mar apresenta vários ritmos: infrabiológicos, biológicos e suprabiológicos. Os ritmos infrabiológicos estão associados à mudança de altura e do timbre da água, que alteram mais rapidamente do que a capacidade que o ouvido possui de captar essas mudanças. Em relação aos ritmos biológicos referem-se à identificação existente entre as ondas e o pulmão e as batidas do coração, e as marés com o ritmo diurno e nocturno. Finalmente, os ritmos suprabiológicos relacionados com a presença eterna e inextinguível da água.⁴⁷ (Schafer:1977)

Sendo uma criatura antróptica, o homem procura organizar ou padronizar todas as coisas. O homem como organizador do acaso em ordem, aprecia o ritmo. O arquitecto, como

⁴³ *Ibidem*, p.174.

⁴⁴ *Ibidem*, p.177.

⁴⁵ *Ibidem*, p.184.

⁴⁶ in R. Murray Schafer, *op. cit.*, p.315 – 316.

⁴⁷ *Ibidem*, p.35.



Figura 27. A paisagem sonora *lo-fi*.

organizador do espaço, procura compreender de que forma é que o ambiente acústico se adapta, necessitando da escala ou módulo.⁴⁸ (Schafer:1977)

A paisagem sonora *hi-fi* e *lo-fi*

A paisagem sonora tem sofrido grandes alterações ao longo dos anos, devido a algumas vozes geradas pelo ser humano, sons físicos ou mecânicos, como o som do tráfego, que contribuem para a degradação do ambiente sonoro (figura 27).

Assim é importante que os vários intervenientes no estudo da paisagem sonora, como arquitectos, urbanistas e paisagistas, que querem desenhar as vozes a diferentes escalas, desde a mais geral à mais íntima, o possam fazer recuperando o desenho sonoro, sendo uma das bases para alcançá-lo, a própria linguagem musical.⁴⁹ (Domènech:2002)

Na sequência do Projecto das Paisagens Sonoras foram escritos alguns livros por Murray Schafer como “*O ouvido pensante*” e “*A afinação do Mundo*”. Este compositor e educador musical nascido no Canadá, foi um importante contributo para o estudo do som. A importância deste tipo de experiências *in loco*, é a utilização de um campo de estudo como análise. Assim como forma de combater a poluição sonora, o que se tem feito é uma abordagem pela negativa, ou seja a eliminação do ruído, enquanto que com este processo podemos perceber quais os sons que queremos valorizar na paisagem, tendo uma leitura da paisagem sonora como uma composição musical. Paralelamente vão-se obtendo registos de diferentes temporalidades e sonoridades. Por exemplo se estudarmos uma paisagem rural em contraponto com uma paisagem urbana, podemos perceber que há diferentes sonoridades. Associada à paisagem sonora *hi-fi* está o campo, onde os sons são mais perceptíveis e há clareza. No que respeita à paisagem sonora *lo-fi*, esta está associada à cidade, onde os sons estão todos emaranhados uns nos outros e se ouve fundamentalmente o tráfego.

Para Murray Schafer num cenário de cidade há edifícios que sobressaem em relação a outros edifícios num pano de fundo. Desta forma na paisagem sonora há sons fundamentais, sinais e marcas sonoras, que correspondem ao fundo e figuras, respectivamente. Num espaço, estes sons fundamentais são por analogia à música, os sons que indiciam uma tonalidade, ou seja o pano de fundo é o tom do espaço e as figuras as variações de notas da escala musical. Ainda na análise de uma paisagem sonora denomina-se campo sonoro ao lugar onde ocorreu essa observação. Esta análise poderá ser considerada fenomenológica, na perspectiva das relações que o indivíduo estabelece com o próprio campo. Ainda no que se refere à figura versus fundo, esta muitas vezes troca de posição, como no caso da música, o *Moozack* ou perfume acústico surge neste sentido. A música que outrora fora a figura, funciona muitas vezes como fundo dos ambientes dos *shoppings*.

⁴⁸ *Ibidem*, p.315.

⁴⁹ *in* Francesc Daumal Domènech, *op. cit.*, p.187.

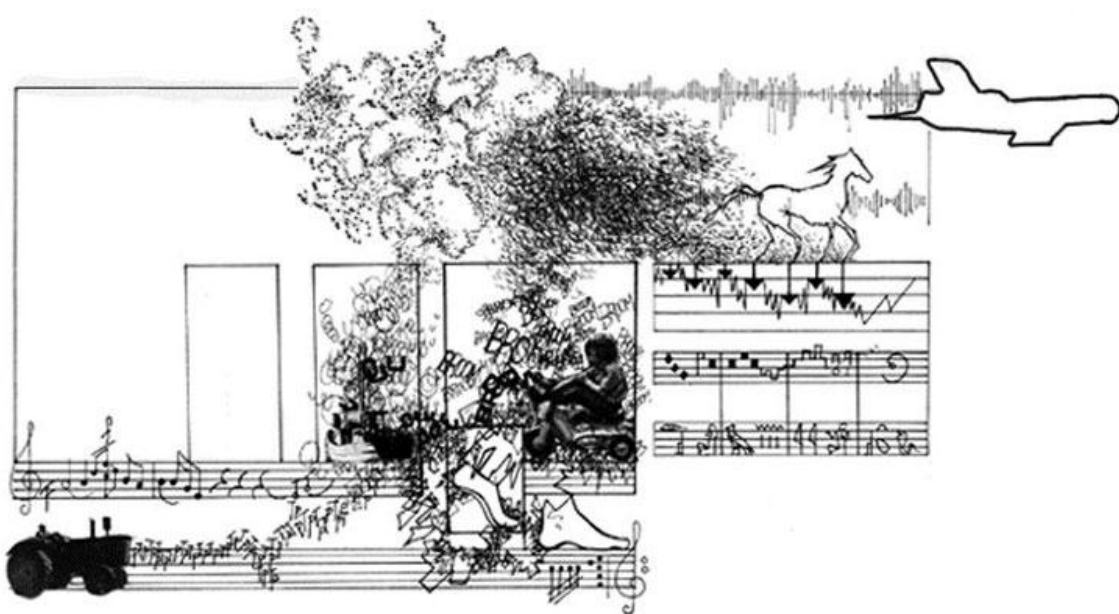


Figura 28. ilustração de Liliane Karnou no âmbito do World Forum For Acoustic Ecology.

Outra análise poderá ser efectuada relativamente ao som, ao analisar um objecto sonoro, ou seja, uma análise visual do som (em termos gráficos), frequentemente utilizada pelos especialistas de estudos sónicos, podendo ser considerada do foro científico. Uma importante invenção foi o gravador, que permitiu o registo, a análise e transformação destes sons.

A possibilidade de gravar abriu asas à imaginação e criatividade, possibilitando ouvir o som num espaço e num tempo diferentes.

As pesquisas relativamente à morfologia e tipologias de sons de um estudo foram impossíveis de registar até à invenção do gravador. No entanto é notável como o ouvido humano se foi modificando ao longo do tempo, facto que se pode constatar através da música que se ouvia na época.

Murray Schafer convida o indivíduo ao passeio sonoro utilizando uma partitura como guia, ou seja, um mapa que indica os sons que vão aparecendo através do percurso. Quando é pedido ao indivíduo para ouvir a paisagem sonora, ele é ouvinte e quando lhe é pedido que participe, ele é compositor intérprete (figura 28)

II.3 - RELAÇÃO ENTRE SOM E ESPAÇO

O som do espaço – carácter acústico do espaço

Para interpretar um espaço acusticamente deveríamos começar por perceber como acontece o processo de fluxo de informação sonora, para seguidamente encontrar a relação entre arquitectura e a ciência que estuda o som – a acústica.

Para existir comunicação de mensagem sonora é necessário haver a tríade – emissor, canal de transmissão e receptor. Este canal de transmissão pode acontecer em meio aéreo ou sólido ou seja, por transmissão aérea ou por percussão.

Sendo a acústica uma ciência pouco utilizada na concepção dos espaços arquitectónicos, torna-se urgente procurar uma forma de linguagem que possa introduzir esta componente do som fundamental em projecto. Não se trata apenas de interceptá-lo, mas acima de tudo tornar-se parte de uma “linguagem” utilizada por ambas as partes.

Neste sentido o arquitecto Francesc Daumal Domènech define uma linguagem sonora da arquitectura, através de relações criadas entre acústica e arquitectura, que estas possam entender-se como definidoras de uma sinfonia musical, onde a arquitectura é o pentagrama e as diferentes acústicas são as notas musicais. Será então importante a definição sonora dos espaços na arquitectura, rumo à diferenciação. Este autor utiliza formas de definir o carácter acústico do espaço, usando um método de diferenciação à semelhança do que se utiliza para os caracteres visuais e lumínicos. Torna-se fundamental a definição de parâmetros de carácter do espaço pelo método dos antagonismos. Estes parâmetros de definição de personalidade do espaço, classificam-se segundo o efeito espacial, a actividade e o acento.

Pode-se neste sentido definir acusticamente um espaço simétrico como aquele em que predominam as fontes sonoras segundo os eixos ou planos de simetria, como por exemplo acontece com algumas praças que possuem fontes de água dispostas lateralmente e segundo um eixo central, ou praças onde circulam ao longo do seu perímetro o ruído do tráfego. No caso de acontecer alguma actividade pontual num dos extremos, como espectáculos musicais, espectáculos com restrições, esta perde rapidamente a simetria. A simetria pode ser entendida sob o ponto de vista visual como acontece com o parque de Versalhes, no entanto este espaço é assimétrico acusticamente, dado que não existe simetria entre os sons que são emitidos pela direita e os que surgem pela esquerda, pois alguns sons provêm da natureza, uma espécie de bosque com vegetação e animais, do outro lado a densidade de vegetação que filtra o ruído do trânsito (figura 29).⁵⁰ (Domènech:2002)

⁵⁰ *Ibidem*, p.48-50.



Figura 29. foto aérea do parque de Versalhes – carácter acústico do espaço: assimétrico.

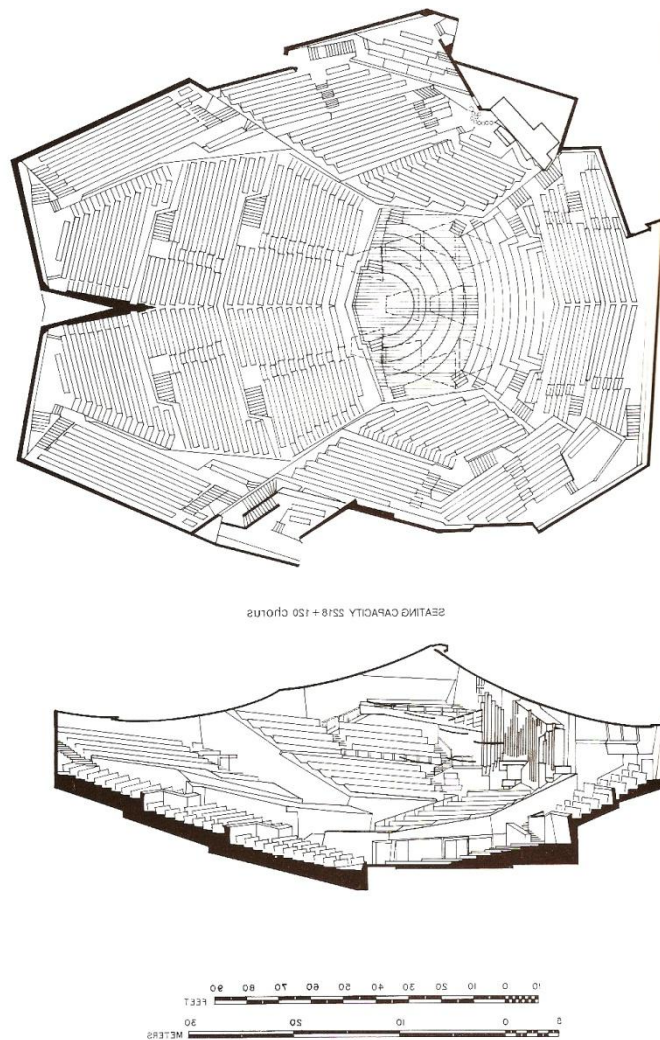


Figura 30. planta e corte da Berlin Philharmonie, concebida por Hans Scharoun – carácter acústico do espaço: centríptico.

Os elementos centríptos têm a capacidade de atrair a atenção para o centro, enquanto que os centrífugos tendem a afastar a atenção do centro. A conjugação das duas propriedades acústicas poderá ser aqui referida por um único exemplo – o auditório da Filarmónica de Berlim (figura 30), da autoria do arquitecto Hans Scharoun, onde a posição dos músicos se situa no centro. Portanto o espaço é centrípto visualmente. No entanto os músicos emitem os sons de forma centrífuga para o público que os rodeia. ⁵¹ (Domènech:2002)

Um espaço pode ser acusticamente direccionado, no sentido em que o foco emite o som numa só direcção. Um exemplo é a secção da Sala da Assembleia das Nações Unidas de Genebra de Le Corbusier 1927, em que a direcção do som se situa no eixo longitudinal. Um espaço acusticamente omnidireccional poderá ser o coreto dos músicos, a partir do qual o som é emitido em todas as direcções da mesma forma. ⁵² (Domènech:2002)

A propriedade de um espaço global é definida pelo facto de o som poder ser ouvido sem haver diferenciação espacial, sendo igual em qualquer ponto do espaço. Um espaço pode ser zonal ou pontual, de acordo com a localização concreta da origem da fonte e sua emissão pontual relacionada com o espaço envolvente. ⁵³ (Domènech:2002)

Um espaço dinâmico exige que nada aconteça repetidamente ao longo do percurso, podendo ser diferenciado através de diferentes tempos de reverberação, tal como acontecia na Acrópole de Atenas, em que cada passo dado pelo espaço dava a sensação de movimento, em virtude da diversidade acústica dos sub-espacos, agora em ruínas. Assim um espaço estático exige o contrário, torna-se homogéneo. As fontes de água poderão representar um papel no espaço tanto estático como dinâmico. ⁵⁴ (Domènech:2002)

Através do desenho poderemos obter um espaço linear acústico como intenção de um projecto: por exemplo podemos enfatizar uma determinada paisagem visual através da ferramenta do som. O que acontece ao espaço acústico pontual, é que este tipo de sons serve como indicador do espaço. No caso dos invisuais, estes podem ser importantes guias para a sua orientação e qualquer pessoa ao fechar os olhos sente isso. ⁵⁵ (Domènech:2002)

O que acontece a um espaço com uma acústica concêntrica é a sucessão de planos sonoros que hierarquizam o espaço segundo figuras concêntricas, ou seja tomando por exemplo um parque infantil central, rodeado por uma pista para peões, em seguida por vegetação e uma faixa exterior com circulação viária. Por outro lado, o espaço com uma acústica radial é aquele em que o som se produz na direcção dos seus raios.

A porta é um elemento que estabelece a conexão entre diferentes espaços, sugerindo a entrada do indivíduo. Esse outro espaço pode ser silencioso ou no caso de uma discoteca pode conduzir a um espaço com elevada pressão sonora. ⁵⁶ (Domènech:2002)

⁵¹ *Ibidem*, p.50.

⁵² *Idem*.

⁵³ *Ibidem*, p.52.

⁵⁴ *Idem*.

⁵⁵ *Ibidem*, p.54.

⁵⁶ *Idem*.

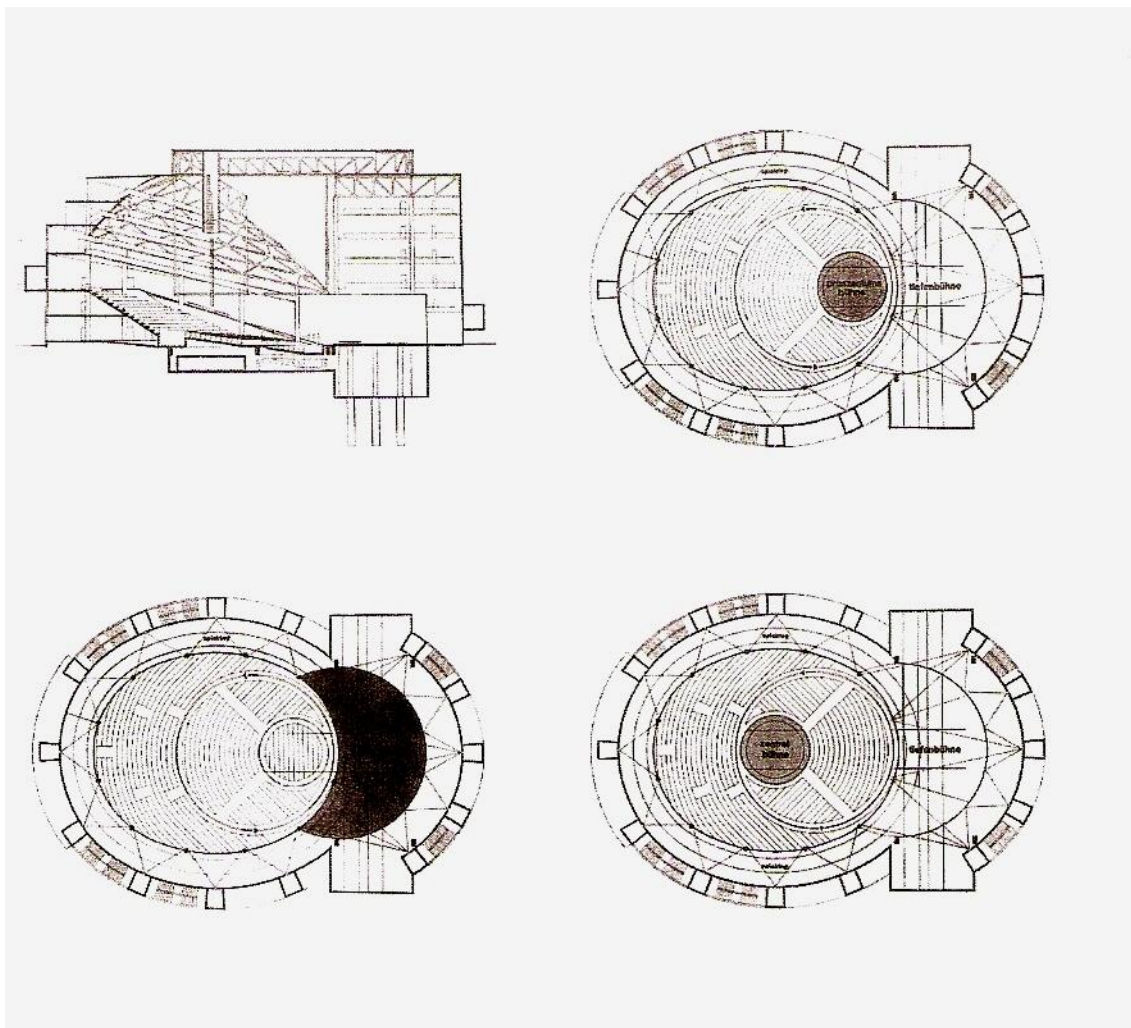


Figura 31. Teatro Total de Gropius – carácter acústico do espaço: variável.

O carácter acústico de um espaço pode ser classificado segundo a sua actividade. Assim um espaço exterior está mais exposto a factores meteorológicos, e à agitação quer do tráfego e interferências de ruídos, como por exemplo acontece num teatro grego. O espaço interior é consequentemente protegido pelo seu invólucro do exterior, ou seja a actividade poderá estar dependente por outros factores à própria função do espaço.⁵⁷ (Domènech:2002)

Acusticamente falando, um espaço pode ser monótono, ou seja constante na sua actividade, sem variabilidade ou dinâmica como acontece num espaço com uma acústica variável. No entanto o espaço constante pode ser atractivo. Um exemplo de um espaço variável é o teatro Total de Gropius, que apresenta uma variabilidade de opções para a configuração do espaço, que tanto pode apresentar-se à italiana, como o seu cenário pode ser central com plateias de ambos os lados (figura 31).⁵⁸ (Domènech:2002)

Um espaço pode ter uma actividade de carácter lúdico, que contém várias atracções, um convidando à diversão, enquanto que um espaço de trabalho é logo indiciado pelo próprio som. No entanto há várias opiniões relativamente à música própria para o trabalho, que não pode ser nem música que desperte sentimentos, nem que dê sono.⁵⁹ (Domènech:2002)

O carácter acústico pode ser classificado segundo o acento, por exemplo se é reverberante e anecoico, tonal e atonal, silencioso e ruidoso, exposto e isolado, etc.

Um espaço reverberante é aquele que tem propriedades que não absorvem o som, reflectindo-o, e este prolonga-se lentamente, ou seja, é a resposta dada pela sala, amplificando o som, vibrando. Normalmente temos contacto com esta propriedade do som em Igrejas e outros edifícios simbólicos. O contrário de um espaço reverberante é um espaço anecoico, no qual não há resposta arquitectónica e o som é totalmente absorvido. Ao conceber um espaço não devemos recorrer aos extremos destas duas qualidades.⁶⁰ (Domènech:2002)

Podemos considerar um espaço tonal, quando por exemplo ao batermos com os pés ou com as mãos se ouvem diferentes tons. Quando se refere a um espaço atonal, quer dizer que não há coloração do som, ou este é absorvido ou porque as paredes não são paralelas para evitar focalizações, evitando assim a formação da tonalidade sonora.⁶¹ (Domènech:2002)

Como vimos anteriormente o som poderá ser muito subjectivo e por vezes a sua informação é mais importante do que o seu nível de intensidade, ou seja, um som poderá ter a mesma intensidade e ser agradável ou desagradável ao ouvido humano. Da mesma forma um espaço poderá ser ruidoso segundo as circunstâncias ou momento emitido, dependendo do tipo de som, ou seja, da sua qualidade. Assim entre o silêncio e o ruído, pode-se dizer que uma biblioteca é um espaço silencioso, com os seus materiais absorventes e que a cidade é ruidosa.

⁵⁷ *Ibidem*, p.56.

⁵⁸ *Ibidem*, p. 56-58.

⁵⁹ *Idem*.

⁶⁰ *Ibidem*, p.58-60.

⁶¹ *Ibidem*, p. 60.



Figuras 32 e 33. variação do som dos passos em contacto com os diferentes pavimentos.

Um espaço acústico exposto sugere que os ruídos podem surgir inesperadamente, enquanto que um local isolado está de certa forma protegido pela sua cápsula, chegando até a estar isolado de todas as frequências do ruído exterior, como por exemplo o metro, o comboio, etc.⁶² (Domènech:2002)

A fidelidade é uma qualidade que o espaço delega no som ao permitir-lhe uma difusão, uma reflexão e uma distribuição do som até ao público.⁶³ (Domènech:2002)

A necessidade de chegar à diferenciação dos espaços acusticamente, torna importante na sua concepção de um espaço a atribuição de um carácter próprio. Entrar em linha de conta com o som do espaço, que por vezes não se ouve, mas existe, é fundamental para que tal aconteça. Um som que não é próprio é um som estranho. A título de exemplo, os laminados e linóleos que imitam a madeira e os materiais com que revestem alguns dos elementos.⁶⁴ (Domènech:2002)

Um estúdio de gravação é um exemplo de espaço neutro, dado que este não pode receber nenhum tipo de ruído. Geralmente é necessária uma sala seca, para que posteriormente a gravação possa tomar uma nova espacialidade, ainda que na realidade tenha sido feita numa sala neutra. Noutra realidade, há músicos que procuram lugares na cidade, ou pontos estratégicos para acabar de arredondar a sua interpretação. Frequentemente são lugares onde circula mais gente, elegendo assim o ponto mais informativo.⁶⁵ (Domènech:2002)

Nas palavras de Francesc Daumal Domènech a arquitectura deveria ser sempre o último instrumento na comunicação oral ou musical entre pessoas. Torna-se importante a nova dimensão que o espaço possa atribuir à música, espaços chamados informativos que dão a última nota que ressoa ao timbre do instrumentista, uma busca que cada músico procura no espaço para obter uma resposta à sua emissão. Vão assim de rua em rua na busca e experimentação das suas canções em vários pontos, até encontrarem a arquitectura ideal. ***“O espaço como último instrumento musical da orquestra.”***

A tonalidade e timbre do espaço

A relação do som com os projectos pode ser utilizada como uma ferramenta de ajuda no desenho dos espaços, com a atribuição e criação de uma personalidade acústica destes. O autor arquitecto, Francesc Daumal Domènech, refere que a acústica também estabelece uma linguagem sonora com a arquitectura, permitindo expressar um mundo de intenções.

Para obter um carácter acústico determinado, poderemos escolher a criação da tonalidade. Ao caminhar podemos perceber a variação do som dos passos em contacto com os diferentes pavimentos, parecendo que este som alcança alguma nota musical (figuras 32 e 33).

⁶² *Ibidem*, p.64.

⁶³ *Idem*.

⁶⁴ *Ibidem*, p.66.

⁶⁵ *Ibidem*, p.68.

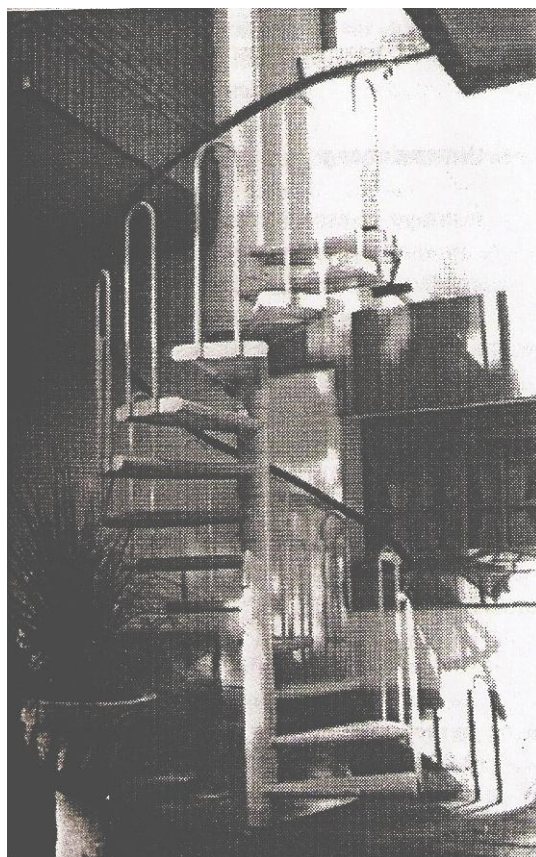


Figura 34. Escada metálica: tonalidade por tubo.

A definição de tonalidade no dicionário, explica que a nível musical é o carácter que uma composição musical tem mediante o tom em que está composta, ao nível da pintura também existe uma relação de tons. Assim em arquitectura a tonalidade pode-se definir *“como o carácter que têm os sons da arquitectura em função dos tons que existem ou que se terão desenhado”*.⁶⁶ (Domènech:2002)

A presença de sons tonais deve-se à reacção e ao comportamento sonoro, quando ocorre a excitação de uma frequência fundamental de ressonância de um dado material.

O estudo da tonalidade abrange as diferentes classes de tonalidade bem como a produção de sons pelas estruturas, formas e materiais. Assim analisa-se a tonalidade por membrana, por tubos, a formação de ondas estacionárias em dois planos paralelos, e na estrutura e materiais diversos, sendo possível afinar as três proporções de um espaço, de forma a obter um acorde musical, com base nos números de ouro e no estudo da tonalidade.

Relativamente à tonalidade por membrana pode desenharse a partir da utilização de pavimentos flutuantes, dado que estes se apresentam assentes nos seus suportes, podendo produzir a tonalidade por percussão da mesma placa sobre os seus suportes ao caminhar sobre ela. Na colocação do pé numa placa, o peso do corpo actua, para depois voltar à sua posição de equilíbrio, que também produz uma determinada tonalidade. Outro caso de tonalidade por membrana é o contacto com os degraus de uma escada metálica suportados por estruturas que podem vibrar. Ao percorrer os vários degraus obtêm-se distintos tons como se de um grande xilofone se tratasse.⁶⁷ (Domènech:2002)

A tonalidade por tubo pode ser sentida, dependendo da forma como subimos ou descemos os degraus de uma escada metálica (figura 34).

O efeito de onda estacionária é produzido *“quando se excita uma frequência, cujo comprimento de onda coincide com um dos múltiplos da distância de separação entre os dois planos paralelos”*.⁶⁸ (Domènech:2002) Neste sentido, a produção de tonalidade por onda estacionária pode reflectir-se simplesmente ao percorrer um espaço que contenha as paredes paralelas, extensas, onde haja proximidade entre paredes e que estas sejam suficientemente reflectoras. Tome-se como exemplo o espaço de uma rua onde haja actividades colectivas e interacção entre os indivíduos com o espaço. Este conjunto pode produzir uma determinada tonalidade, embora este efeito esteja intimamente relacionado com as proporções de um espaço.

Os efeitos que vimos anteriormente são produzidos fundamentalmente no contacto das mãos ou dos pés; no entanto, poderão ser utilizados objectos que sirvam de intermediários e produzam um timbre dos materiais, como o tipo de solas ou saltos dos sapatos, ou até mesmo o ritmo do caminhar da pessoa, que pode alterar a tonalidade do espaço.

⁶⁶ *Ibidem*, p.77.

⁶⁷ *Ibidem*, p.78.

⁶⁸ *Ibidem*, p.80.

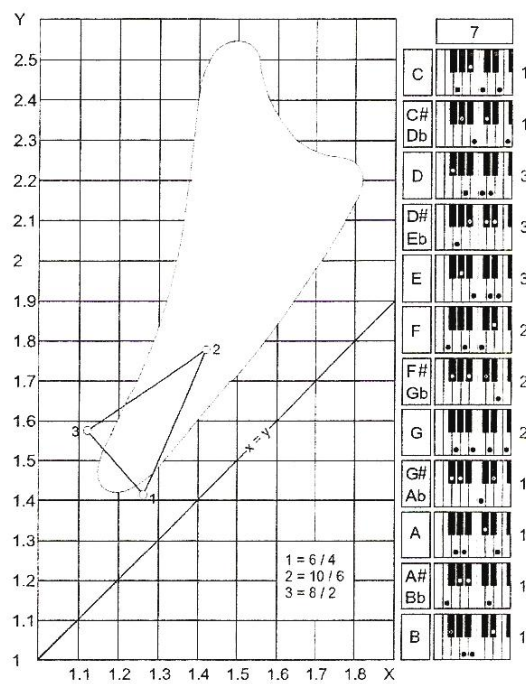


Figura 35. Proporções relacionadas com a área ótima de Bolt, três locais para o acorde de 7ª.

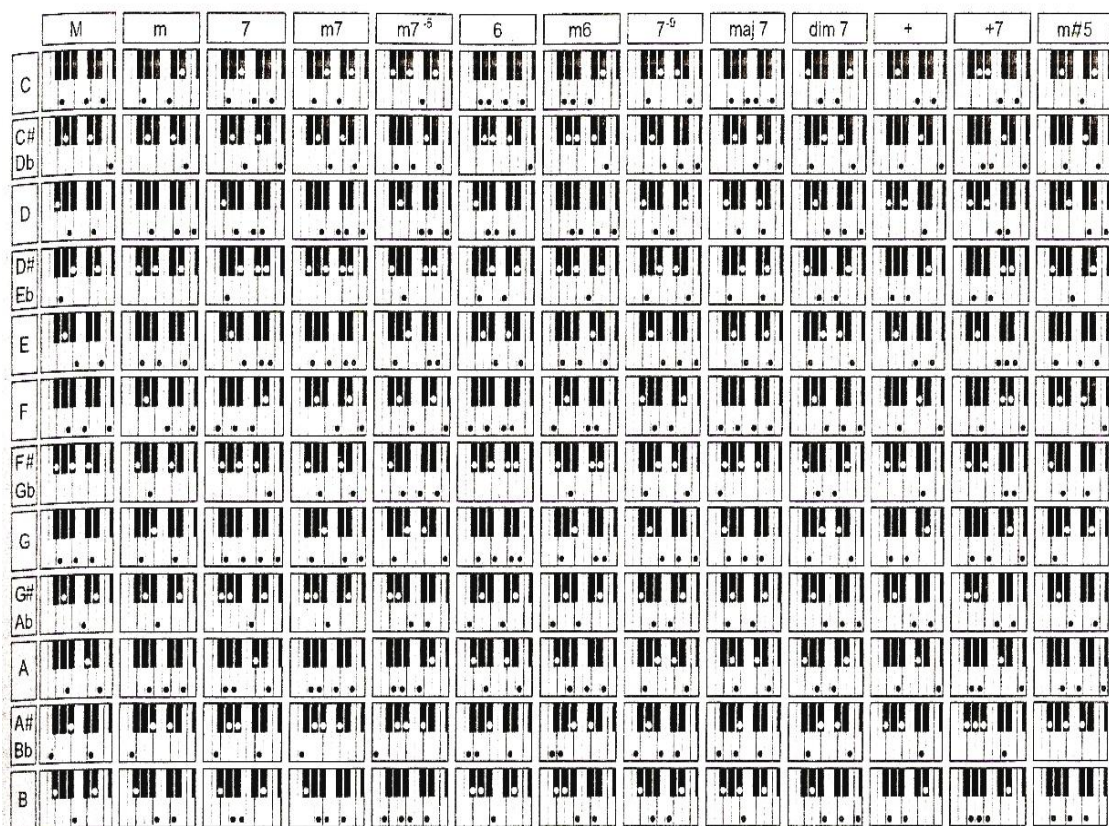


Figura 36. os 13 acordes musicais estudados.

Assim podemos classificar um espaço de tonal, quando este é desenhado para que tenha uma qualidade acústica, ao contrário do atonal, no qual não existe esta qualidade.

Para obter a tonalidade do espaço, teremos que ter em consideração as proporções e formas dos espaços. A forma frequentemente utilizada, é o volume prismático de forma rectangular. Consequentemente há planos paralelos entre si em cada um dos eixos que contribuem para a produção do efeito de tonalidade como frequências próprias de ressonância.

Neste sentido estão presentes em quase todos os tratados de arquitectura o estudo das proporções e dimensões dos espaços.

Sendo possível calcular as frequências estacionárias de um espaço relacionando a sua proporção com as frequências audíveis (que vão desde os 20 até aos 20.000Hz), podemos posteriormente comparar estes prismas obtidos por Richard Bolt, que em meados do século XX, estabeleceu um gráfico que contém uma área de acordo com as proporções ideais e suas frequências (figura 35).

Ao longo da história foram surgindo vários tratados arquitectónicos e acústicos nos quais se estudaram as proporções óptimas de acordo com os números de ouro, que constituem proporções harmónicas que conferem uma boa qualidade na acústica das salas.

Sendo o efeito de tonalidade por onda estacionária *“produzido quando ressoa uma frequência que tem o comprimento de onda coincidente com alguns dos múltiplos da distância de separação entre os planos paralelos”*⁶⁹ (Domènech:2002), no caso de um espaço com um volume cúbico, em que altura, comprimento e largura são iguais, a formação das três ondas estacionárias axiais que se formam, é exactamente a mesma para os três eixos.

No que refere à musicalidade das salas, as três dimensões em arquitectura relacionadas com as três notas musicais, são denominadas de *proporções acordadas* (figura 36).⁷⁰ (Domènech:2002)

A estrutura pode apresentar uma determinada tonalidade, dependendo do seu comportamento e materiais e suas dimensões, ou seja, consoante as vigas, a placas e membranas estejam afinadas. Em relação às vigas, estas comportam-se como um sistema massa-mola e no que diz respeito às placas e membranas trata-se da tonalidade por percussão como se fosse um tambor, dependendo do indivíduo que lhes aplica o impacto.

No caso da tonalidade por membrana, esta pode ser variável dependendo de muitos factores: por exemplo, a produção de um determinado tom (que corresponde a uma frequência) numa membrana poder-se-á através de mecanismos de construção como uma cavidade de ar, criar absorção que possua uma frequência mais grave, modificando assim a tonalidade. As cavidades de ar funcionam como instrumentos ou cavidades ressoadoras.⁷¹ (Domènech:2002)

⁶⁹ *Ibidem*, p.83.

⁷⁰ *Ibidem*, p.84.

⁷¹ *Ibidem*, p.86.

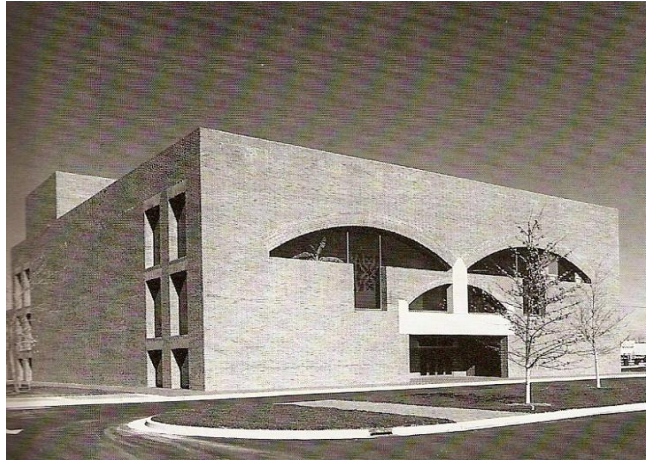


Figura 37. Invólucro do teatro de Fort Wayne, projectado por Louis Kahn.

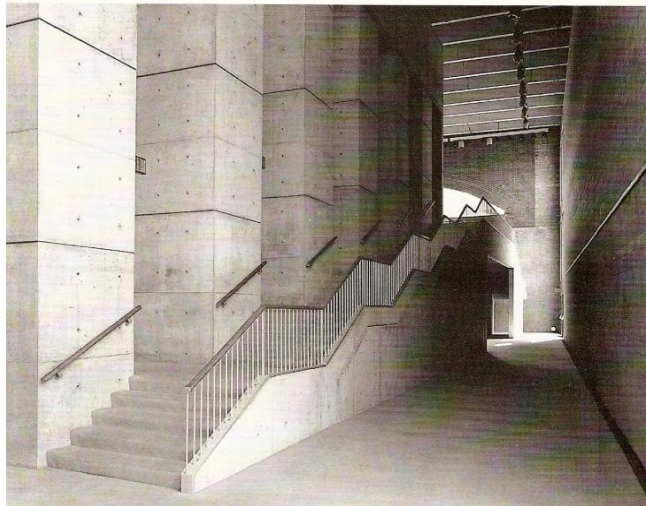


Figura 38. intervalo criado entre a caixa exterior e a caixa interior.

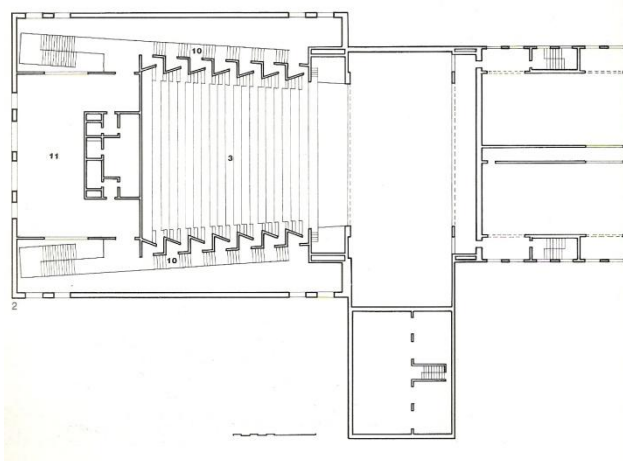


Figura 39. planta do teatro de Fort Wayne, Louis Kahn (1959-63).

O mobiliário pode criar efeitos de tonalidade muito diversos, consoante os seus materiais, se são de madeira, ferro, alumínio ou plástico, bem como os pavimentos, na sua aplicação, suportes e materiais.

O som como material construtivo invisível

Neste sentido poderá o som criar o espaço? Será que podemos considerar uma espécie de material invisível? Poderá o som desenhar os espaços convertendo-se em matéria?

Tomemos como ponto de partida algumas tipologias, em que o cuidado com o som é fundamental para a sua função: auditórios, teatros, cinemas, estúdios de gravação, salas de aulas, conchas acústicas. Nestes casos é importante que haja uma boa audição, pois trata-se de locais onde o som é protagonista, sendo conveniente que haja uma interação do indivíduo com o mesmo. No entanto existem espaços públicos em que o som deveria ser um conceito a ter em conta em projecto seja qual for o seu programa. O som pode criar caracteres monótonos e enfáticos utilizando materiais que poderão funcionar como amortecedores ou amplificadores. Por exemplo, num espaço público, uma fonte de água pode ser amortecedora do som. Um espaço poderá tornar-se um amplificador do som dando ênfase às frequências que interessam sendo a nossa boca mais um dos instrumentos amplificadores.

Para que haja uma boa comunicação é importante que todas as reflexões dentro de uma superfície ou curvatura possam ir parar ao outro foco, tornando o espaço com uma acústica concentrante, facto que condiciona o desenho dessas superfícies. Do mesmo modo, se queremos que um espaço seja difusor, o desenho das superfícies deve propiciar a que as ondas sonoras se reflectam nelas, se dispersem para pontos diferentes, com a finalidade de evitar o eco e equilibrar a reverberação. Torna-se importante estar atento a estas artimanhas do som ao projectar igrejas ou teatros, com especial atenção ao fundo da sala, de forma a evitar alguns problemas, como o retorno do som com atrasos elevados.

Parece que se começa a assistir a uma imposição de certos limites do espaço, as paredes, o chão e o tecto. O espaço individual é aquele que podemos controlar com mais facilidade, como a habitação, sendo uma espécie de extensão do espaço íntimo. Por outro lado num espaço colectivo é necessário estar atento à quantidade de pessoas que o vão utilizar. Os espaços públicos ou equipamentos que têm um carácter colectivo, variam as suas qualidades de acordo com a ocupação dos indivíduos.

Ao conceber um espaço, o arquitecto deverá ter a preocupação com a sua estrutura, forma, tipologia e proporção. Para além destes aspectos de carácter, a caixa, ou invólucro a desenhar deve proporcionar que haja uma boa comunicação sonora. Assim, normalmente utiliza-se a caixa dentro da caixa (figuras 37, 38 e 39), para permitir que haja um bom isolamento do exterior, utilizando-se frequentemente espaços que funcionam como isolantes do exterior.



Figura 40. Dimensionamento acústico de uma sala: Shoe-box ou caixa de sapatos.

Ainda é necessário que estas salas tenham um condicionamento acústico, que permita uma boa audição desde a palavra à música. Alguns parâmetros subjectivos e objectivos foram estudados por Beranek, conhecendo-se vários caracteres. O balance e a mezcla, o brilho, o calor, a clareza, definição, difusão, intimidade, sonoridade e vivacidade entre outros.

O dimensionamento acústico de uma sala depende do uso que essa sala poderá ter, se é um auditório, uma sala de conferências ou um teatro, podendo assim calcular-se o tempo de reverberação óptimo.⁷² (Díez e Roselló:2002)

No entanto o volume é o parâmetro fundamental para a definição de um espaço acusticamente. No caso de a planta estar já definida *à priori*, por questões de programa ou orientação solar, o tecto tem aqui um papel importante. O cálculo do volume de um recinto depende de algumas variáveis: a área da audiência e a área dos músicos, dado que existem diferentes organizações do espaço quer dos músicos quer do público. Seguidamente é importante definir o traçado do tecto, a forma do solo e a secção em planta. Higini Arau enuncia a “lei do dimensionamento” quer para auditórios quer para teatros, utilizando a proporção de 2:3:5.⁷³ (Díez e Roselló:2002)

A forma que se utiliza frequentemente para as salas de espectáculos, é chamada shoe-box, ou caixa de sapatos (figura 40), como por exemplo o auditório de Poitiers do arquitecto Carrilho da Graça, embora existam outras formas centrais, como por exemplo da Filarmónica de Berlim do arquitecto Hans Scharoun. Forma esta que pode ser obtida através de uma determinada proporção, baseada em estudos existentes, comprovativos das proporções ideais, referentes aos números de ouro, como à afinação das três proporções do recinto.

⁷² In José Maria Marzo Díez, Graciela Roselló , “Introducción a la acústica arquitectónica”, *Tectónica: acústica*, 14: p.

16

⁷³ *Idem.*

II.4 - ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA – UMA INTRODUÇÃO

A natureza física do som

No ponto em que nos situamos é importante a introdução à acústica arquitectónica que nos permita perceber o som com uma base científica e material. Assim é necessário conhecer a natureza física do som e o seu comportamento no espaço (figura 41).

Som - é qualquer variação da pressão no ar que possa ser detectada pelo ouvido humano. Quando um corpo vibra, produz uma perturbação mecânica num meio elástico que se propaga em torno do mesmo. As partículas, submetidas a vibração, não se deslocam mas oscilam uma distância muito pequena em torno da sua posição de equilíbrio. De tal modo a energia sonora que progride com a perturbação pode alcançar grandes distâncias. O movimento das partículas é um movimento harmónico simples, associado a uma representação gráfica sinusoidal.

Toda a oscilação será um contínuo intercâmbio de energia potencial e cinética, devido ao qual, para que uma partícula possa oscilar, necessita de ser capaz de armazenar energia potencial (como a elástica de uma mola), e possuir certa massa ou inércia que lhe permita adquirir energia cinética.

O meio mais habitual para representar graficamente o som ou a perturbação é o oscilograma, que indica a evolução no tempo da pressão sonora e informa sobre a frequência.

Período (T): tempo que demora a realizar um período completo. Mede-se em segundos.

Frequência (f): número de oscilações da pressão por segundo. Dá ideia da rapidez com que se produzem. É o inverso do período. Mede-se em ciclos por segundo (s^{-1}) ou hertz .

Cada frequência de um som produz um tom distinto. A banda de frequências audíveis decompõe-se em três regiões: tons graves (125 Hz a 250 Hz), tons médios (500 Hz a 1000 Hz) e tons agudos (2.000 Hz a 4.000 Hz) (figura 42).

Amplitude de onda: informa sobre a magnitude das variações de pressão. Se a amplitude é grande, o som será forte, se é pequena é débil.

Comprimento de onda: distância entre dois pontos consecutivos do campo sonoro que se encontram no mesmo estado de vibração ou a distância que percorre uma onda sonora num tempo de um período. Mede-se em metros.

Velocidade de propagação (c): velocidade com que se propagam as ondas sonoras.

Comprimento de onda = $c.T$

Depende das condições ambientais (pressão e temperatura) e, fundamentalmente, do meio onde se propaga. Há uma velocidade específica para o ar (340 m/s), a água (1.460 m/s), o vidro (5.000 a 6.000 m/s), etc.

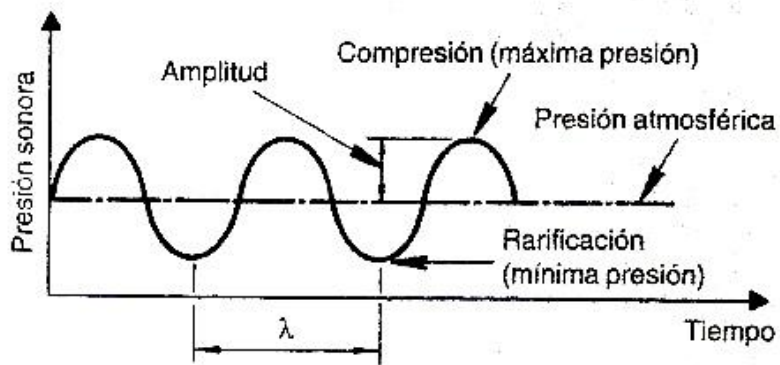
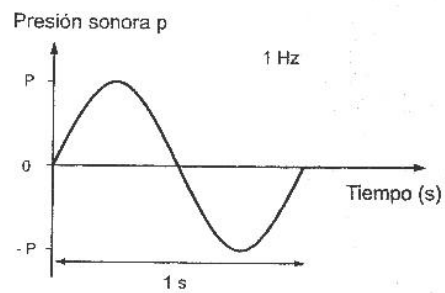
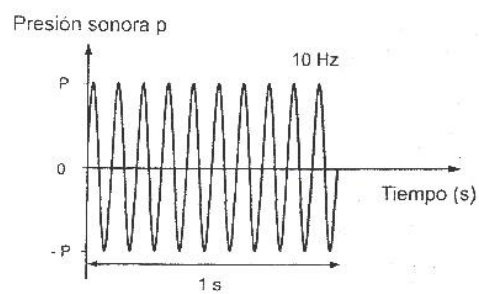


Figura 41. Representação gráfica do som.



Tono grave



Tono agudo

Figura 42. representação do tom agudo e grave.

Impedância acústica: oposição que apresenta o meio a mover-se, quando se excita mediante uma vibração. Cada meio oferece uma facilidade maior ou menor para a propagação do som.

O som em contacto com as matérias e dependendo do seu meio apresenta fenómenos de reflexão (figura 43), refacção, difracção e absorção. Torna-se importante conhecer os riscos e patologias como os ecos, focalizações, colorações e ressonâncias. É importante perceber este ponto, pois não deve ser resolvido *à posteriori*, mas sim a partir da concepção do desenho. Para que tal aconteça é fundamental o diálogo entre arquitectos e especialistas em acústica. Neste sentido é necessário a criação de uma linguagem comum – uma *poética acústica*.

Isolamento acústico

Na arquitectura acústica existem duas formas de actuação: o isolamento e o condicionamento acústico. No que refere ao isolamento, a problemática centra-se na questão de cada vez mais se estar a isolar, que torna impossível a criação de estímulos sonoros no ser Humano. Em relação às intenções acústicas no desenho e no condicionamento, a questão coloca-se na música que desejamos que seja tocada pelo edifício.

Neste sentido analisaremos os diferentes tipos de intervenção, quando o objectivo é isolar do ruído, através da aproximação desde o território até edifício. Como observamos anteriormente, para ocorrer a comunicação de uma mensagem, é necessário um foco emissor, um canal de transmissão e um receptor, podendo-se intervir no sentido de isolar nos diferentes protagonistas da comunicação sonora. Compreender esta trilogia é importante no sentido de perceber como se comporta o som fisicamente no espaço.

A noção da morfologia, da topografia e da textura do terreno é importante, quando se trata do isolamento do ruído a partir do território. No que refere à morfologia é importante ter atenção se um traçado de uma via ou ferrovia, poderá implicar certos problemas, enquanto que na relação à topografia interessa aproveitar os acidentes geográficos e por último a textura do território, que poderá produzir efeitos como a absorção e a reflexão do som.⁷⁴(Domènech:2002)

Quando ocorre impacto acústico no território, a intervenção passa por aplicar barreiras acústicas. No entanto o desenho desses elementos deverá tender a ser mais cuidado, para que não tenha um impacto visual agressivo. A vegetação também pode ser utilizada como barreira acústica. Todavia esta deveria ser suficientemente densa para produzir a diminuição do nível sonoro. Por vezes a utilização de barreiras ou edifícios não é suficiente para esconder algo do ruído, pois os sons são de frequências muito baixas, atingindo grandes altitudes de comprimento de onda, e assim ultrapassarem os edifícios ou objectos arquitectónicos. Nestes

⁷⁴ in Francesc Daumal Domènech, “La arquitectura del sonido”, *Tectónica: acústica*, 14, p.31.

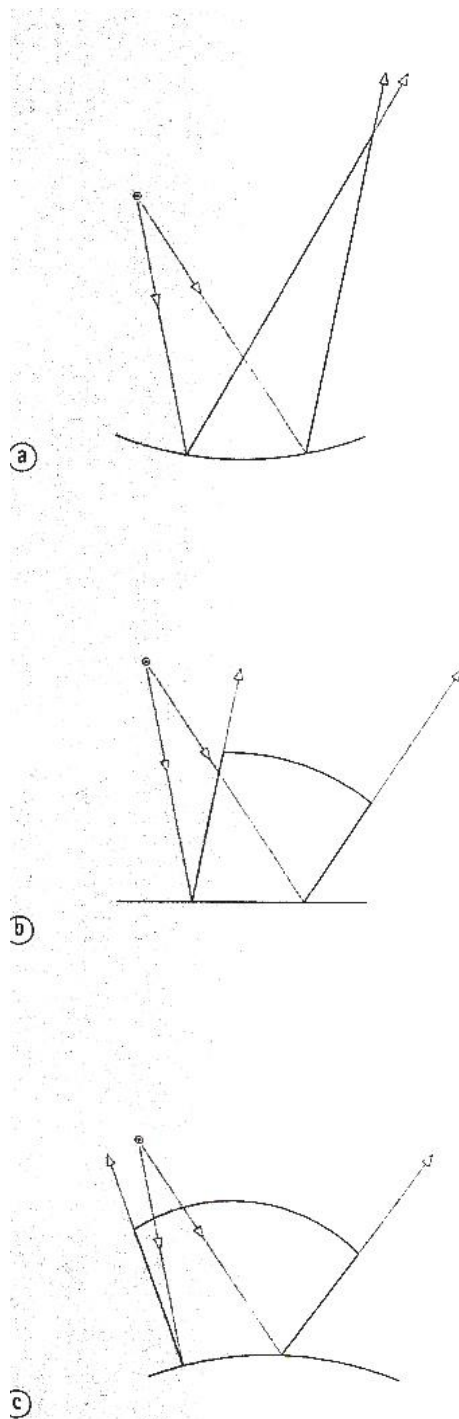


Figura 43. Fenómenos de reflexão do som consoante a superfície: convexa, plana e côncava.

casos a solução passa pela diminuição do ruído na fonte, utilizando túneis, asfaltos absorventes ou com o isolamento do edifício.⁷⁵ (Domènech:2002)

As causas do ruído produzido desde a cidade, estão nos meios de transporte, por exemplo nos transportes subterrâneos, que emitem vibrações que dificilmente são solucionadas *a posteriori*. No entanto estas podem ser colmatadas na sua origem. Em relação aos transportes de superfície, a solução poderá estar na regulação do trânsito rodado, esta de mais difícil resolução. No entanto podemos passar a aplicação de outro tipo de pavimento, que reduza a reflexão e garanta a diminuição do nível sonoro até 3 decibéis, como por exemplo a capa fina de microaglomerado ou de asfalto poroso.⁷⁶ (Domènech:2002)

O arquitecto especialista em arquitectura acústica Francesc Daumal Domènech refere-se ao conceito de isoestaticidade de um edifício, na medida em que acusticamente as construções deveriam basear-se em elementos intermédios que absorvam as pressões sonoras em contraponto à visão hiperestática da arquitectura, considerando-a uma visão negativa.

Na existência de pressão sonora sobre uma parede, o ruído pode chegar a partir da estrutura, o que aumenta 6 decibéis mais. A disposição a nível topológico das várias funções da habitação de forma intercalada pode contribuir para um melhor isolamento do ruído, não sendo necessária a utilização de materiais caros. A forma mais eficaz de isolar uma habitação será através de outra habitação. No que refere ao isolamento do exterior, a excessividade de isolamento poderá provocar uma acentuação dos sons interiores e desconectar o indivíduo do exterior.⁷⁷ (Domènech:2002)

Condicionamento acústico

Nas palavras de Francesc Daumal Domenèch, uma sala pode assemelhar-se a um instrumento musical e, como a caixa de ressonância de uma guitarra ou de um piano, também tem funções muito precisas. Assim quando nos referimos ao condicionamento, estamos a falar de um contexto espacial muito específico, o espaço para o som, ou seja, a acústica que condiciona o espaço e o espaço que condiciona a acústica. Neste momento é importante que a mensagem sonora tenha um percurso seguro pelo espaço, do músico ao ouvinte e que haja feedback do público em relação aos músicos ou oradores. Torna-se necessário garantir as boas condições acústicas de um espaço, para que este funcione como um instrumento sonoro final.

⁷⁵ *Idem*.

⁷⁶ *Ibidem*, p.32.

⁷⁷ *Idem*.

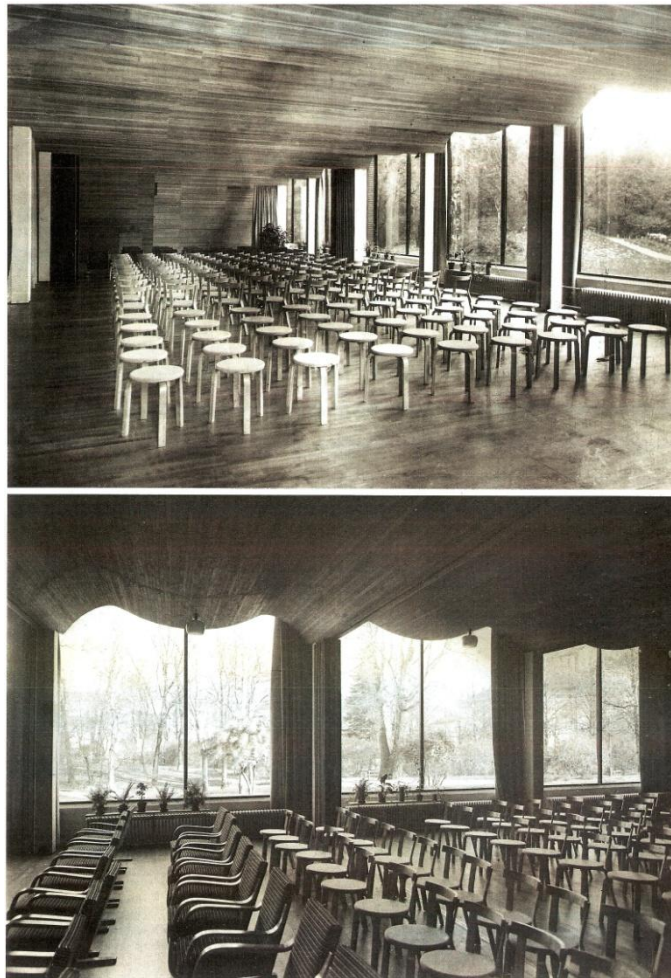


Figura 44. fotos da sala de conferências da biblioteca de Viipuri (1927-1935), do arquitecto Alvar Aalto.

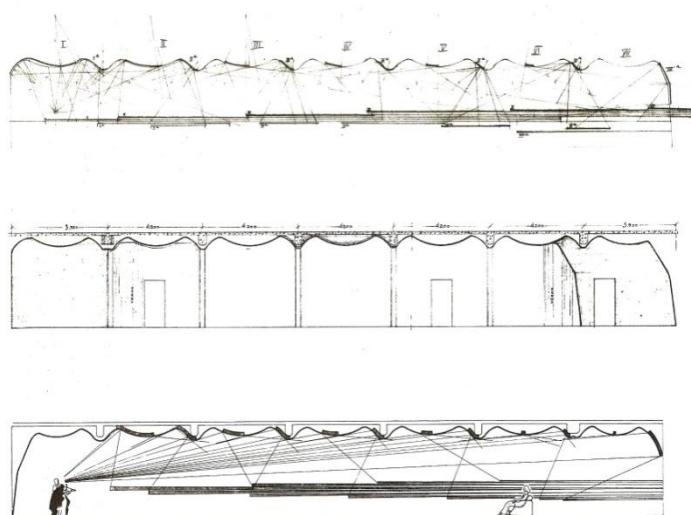


Figura 45. Comportamento do som na sala de conferências da biblioteca de Viipuri.

Qualquer indivíduo possui a capacidade de entender as qualidades dos espaços. No entanto há indivíduos que possuem um ouvido mais educado e estão mais sensibilizados para estas experiências, como músicos, melómanos e especialistas. Os parâmetros subjectivos e objectivos da qualidade das salas, foram estudados por Leo Beranek em 1963, num método baseado em medições acústicas concretizadas nas melhores salas do mundo, pesquisas a músicos e melómanos.

Em espaços como as salas de conferências, que têm a capacidade de albergar um número limitado de pessoas, no que respeita à sua forma, gera-se alguma discussão, pois torna-se importante que as paredes não sejam paralelas, para não provocarem ondas estacionárias, portanto é conveniente a utilização de uma planta trapezoidal. No caso de a sala ter uma planta prismática terá que se ter atenção às proporções relativas aos números de ouro da arquitectura, ou seja, é conveniente que estas três proporções sejam harmónicas, no sentido de evitarem ondas estacionárias. Para que tal aconteça torna-se necessário que haja uma correcção acústica numa das paredes.⁷⁸ (Domènech:2002) Um exemplo de planta rectangular é a sala de conferências da biblioteca de Viipuri, 1927-35, do arquitecto Alvar Aalto (figuras 44 e 45), *“na qual a forma ondulante do tecto pretendia criar um campo sonoro mais regular, diminuindo a atenuação do som, que se manifesta naturalmente ao longo do comprimento da sala”*.⁷⁹ (Daniela Tomaz: 2005)

No que refere ao tecto este não deve ser totalmente absorvente, embora seja importante a redução do campo de reverberação, para a boa inteligibilidade da palavra. Assim o tratamento do fundo, no sentido do som não voltar ao orador, deverá evitar a formação do eco, ou esse tratamento é sugerido para a parede posterior, ou inclina-se ligeiramente a parede, reforçando o som nas últimas filas.⁸⁰ (Domènech:2002)

Numa sala de música, a qualidade acústica é fundamental, ou seja, é tão importante que a música chegue aos ouvintes como que os músicos se oiçam entre si. Consoante o tipo de música que tenham que executar, os músicos dispõem-se de formas diferentes, normalmente ocupando o palco.

Sendo um material com uma ressonância própria, a madeira pode ser afinada, permitindo funcionar como ressoador de cavidade ou de membrana, constituindo um acabamento nobre.⁸¹ (Domènech:2002)

Contudo é importante a definição de uma forma até chegar à aplicação dos materiais que tenham um bom comportamento quanto à reflexão e difusão. A discussão em relação à forma ainda continua acesa, com alguns a defenderem a sala rectangular à trapezoidal, dado que esta permite o efeito de lateralização.⁸² (Domènech:2002) Porém, ao observar a

⁷⁸ *Ibidem*, p.36.

⁷⁹ Daniela Ribeiro Santos Tomaz,, *ARQUITECTURA E ACÚSTICA: o espaço sinestético*, docente acompanhante professor Carlos Nuno Lacerda Lopes, ano lectivo 2004/2005, P.F.513.

⁸⁰ *Ibidem*, p.37.

⁸¹ *Ibidem*, p.38.

⁸² *Idem*.

sobreposição das salas, podemos constatar que cada uma delas tem uma personalidade distinta.

As salas polivalentes são espaços que albergam para além da música outras actividades como reuniões políticas, congressos, festas. No entanto músicos e ouvintes preferem um lugar próprio para a música como por exemplo um auditório, que permita que o som seja homogéneo de forma a manter as qualidades acústicas em qualquer parte do auditório. Para que a acústica de uma sala polivalente seja garantida, é necessário ter em atenção o tempo de reverberação, que pode variar consoante o tipo de actividade que ocorra.⁸³ (Domènech:2002)

⁸³ *Idem.*

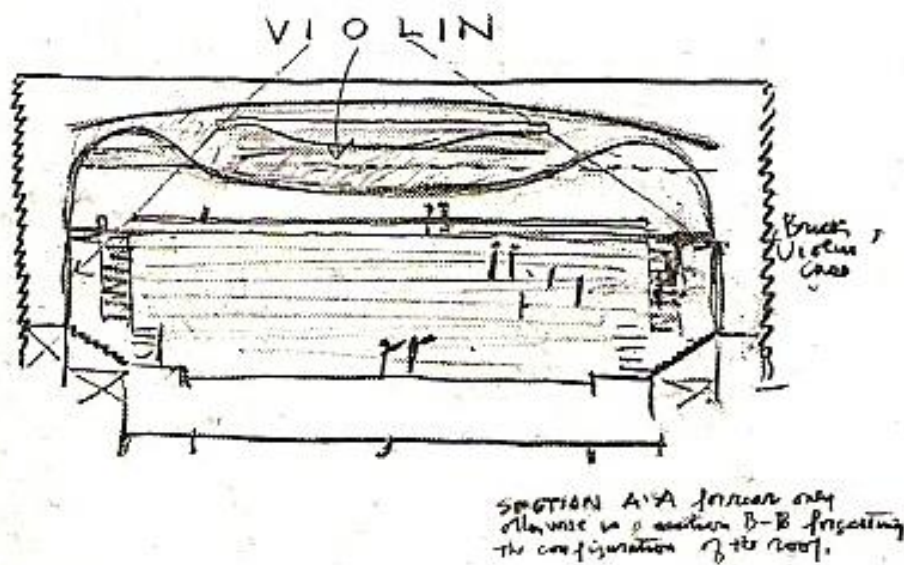


Figura 46. esquisso do Teatro de arte dramática de Fort Wayne, 1973: Louis Kahn invoca o violino dentro do estojo.

III. ANÁLISE DE ESPAÇOS PARA O SOM

Este capítulo, assim como reflecte o desenho de Louis Kahn, procura a concretização no espaço dos conceitos através da bibliografia da acústica arquitectónica.

III.1 O violino de Antonio Stradivari

A primeira questão que qualquer melómano de música clássica coloca a um acústico é: *“Quais são as melhores salas do mundo?”*. A resposta dada é que as três melhores salas foram construídas em 1870, 1888 e 1900. A segunda questão que normalmente é colocada é: *“Porque é que estas salas têm uma boa acústica, enquanto muitas salas construídas depois de 1950 têm pior acústica e são até mesmo um fracasso?”*.⁸⁴ (Beranek:1962)

Um estudo realizado por Leo Beranek, durante metade de um século, incide fundamentalmente na análise de cem salas para a música nos campos da música, acústica e arquitectura.

Frequentemente também se costuma perguntar: *“Porque é que um violino Stradivarius é tão bom e tantos violinos concebidos desde então não têm a mesma qualidade?”*. No caso do violino, sabe-se que Antonio Stradivari, que trabalhou no século XVIII, empregou a máxima habilidade. Sendo possuidor de um bom ouvido, talvez tenha tido alguma sorte para captar os detalhes que constituem um bom violino. Posteriormente os artesãos que concebiam violinos aprenderam que só quando produziam cópias aproximadas desse violino obtinham bons instrumentos.⁸⁵ (Beranek:1962)

A este respeito colocam-se algumas dúvidas: músicos e instrumentistas acreditam que só aquele número de violinos e violoncelos Stradivari possuíam um som genuíno. Parece-nos então pertinente colocar uma questão: embora as cópias posteriores sejam relativamente aceitáveis porque é que nunca chegam a reproduzir o som de um violino Stradivari? Questão que poderá estar relacionada com a qualidade da madeira e com o processo construtivo.

Beranek refere que incontestavelmente, a acústica das salas para a música é mais diversa do que a do violino, já que existem diferentes tipos e diferentes tipos de acústicas. O que se torna importante referir é que os compositores compõem frequentemente obras para um teatro de ópera ou auditório, em particular.

Um exemplo notável de um espaço para o som, que foi concebido ou pensado como se fosse um violino é o Teatro de arte dramática em Fort Wayne, Indiana, 1973, pelo arquitecto Louis Kahn. Nesta obra o arquitecto pretendia transmitir a ideia de um violino dentro da sua caixa. Este caixa é uma espécie de invólucro que conecta o edifício à cidade, ao mesmo tempo que protege o seu violino dos ruídos do exterior, funcionando a sala principal como um instrumento musical (figura 46).

Apesar de conhecermos as salas com as melhores acústicas e de as podermos reproduzir, o que se passa na generalidade é que isso não acontece, porque normalmente os clientes convidam um arquitecto não para fazer as cópias exactas de uma sala, mas para fazer algo original e visualmente inspirador, na esperança que as salas tenham um excelente som.

⁸⁴ in Leo Beranek, *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, (edição original: *Music, Acoustic and Architecture*, New York/London John Wiley and Sons, Inc, 1962),p.7.

⁸⁵ *Idem.*

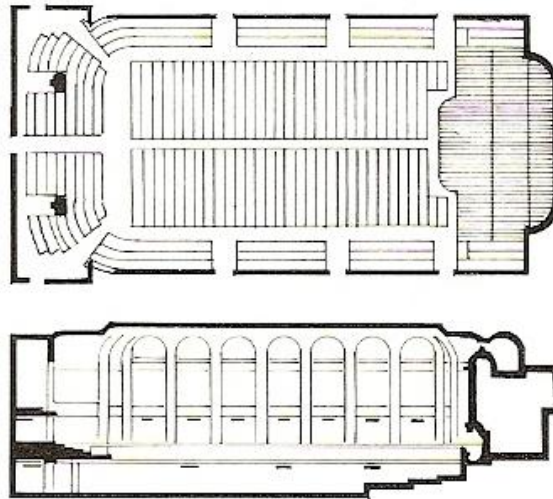


Figura 47. planta e corte da Gewandhaus de Leipzig, 1886.

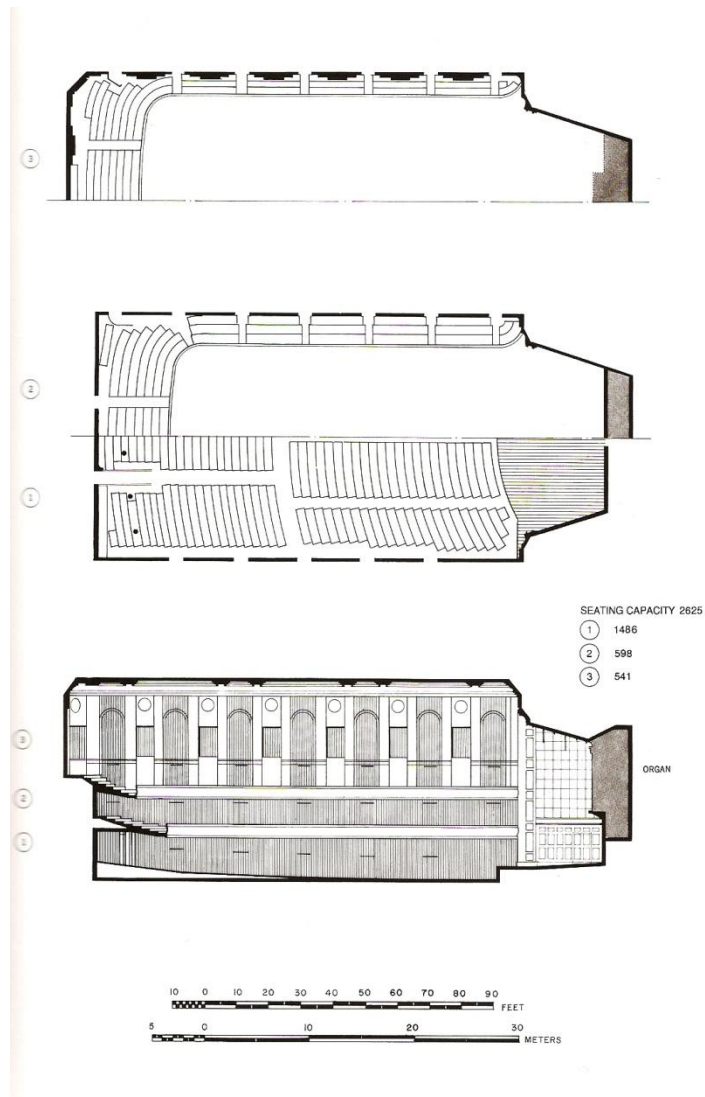


Figura 48. plantas e corte da Boston Symphony Hall, 1900.

Esta situação coloca os arquitectos e acústicos perante um grande dilema, porque para que uma sala tenha uma boa acústica tem que ter um desenho semelhante ao de uma sala com bom som.⁸⁶ (Beranek:1962)

Nascimento da acústica arquitectónica

Os primeiros passos da acústica arquitectónica foram dados por um físico norte-americano (1869-1919), Wallace Clement Sabine, que leccionou na universidade de Harvard, colocou a acústica enquanto ciência, ao serviço da arquitectura. Considerado o pai da arquitectura acústica, a sua primeira invenção foi a equação do tempo de reverberação, a 29 de Outubro de 1898.

A aplicação dos princípios científicos no desenho das salas de concerto é atribuída a Sabine, que começou o estudo do som em onze espaços da universidade de Harvard entre 1893 e 1898, com o intuito de corrigir a acústica das salas de aula. Foi neste contexto que inventou a fórmula que produz a duração do tempo de reverberação em segundos, de um som num espaço, que é cortado até ficar inaudível. A fórmula de Sabine relaciona o volume de um espaço ou caixa acústica com a quantidade de absorção dos materiais aplicados.

O tempo de reverberação obtém-se em segundos e traduz o tempo necessário para que um ruído emitido num determinado espaço, desça o seu nível sonoro abaixo de 60 dB após ter cessado a emissão desse ruído.

A partir dos testes que realizou nas salas de leitura, Sabine pôde concluir que a audiência absorve som em proporção ao seu tamanho. Com base em alguns testes que fez em laboratório mostrou que cada parede, superfície do tecto, cortinados e material, absorvem o som proporcionalmente à sua área.

Após algumas experimentações nas salas da Universidade de Harvard, a sua primeira experiência consistiu em melhorar a acústica de um espaço - o Fogg Art Museum, considerado uma tarefa difícil para os estudiosos de Harvard. Posteriormente o presidente da Universidade de Harvard comunicou ao presidente do comité do edifício Boston Hall Symphony, Major Henry Higginson, a descoberta de Sabine, tendo sido a sua oportunidade de intervir num estudo acústico de raiz, onde desempenhou um papel muito importante. Contudo era necessária mais do que uma fórmula, tendo sido escolhido pelos arquitectos a mais célebre sala daquele período como modelo – o Gewandhaus, na Alemanha (figura 47). Sabine teve que se basear nos desenhos da Gewandhaus para determinar o volume, a área da audiência e outras áreas (paredes, tectos, superfícies do balcão, etc.).⁸⁷ (Beranek:1962)

⁸⁶ *Ibidem*, p.8.

⁸⁷ *Ibidem*, p.492.

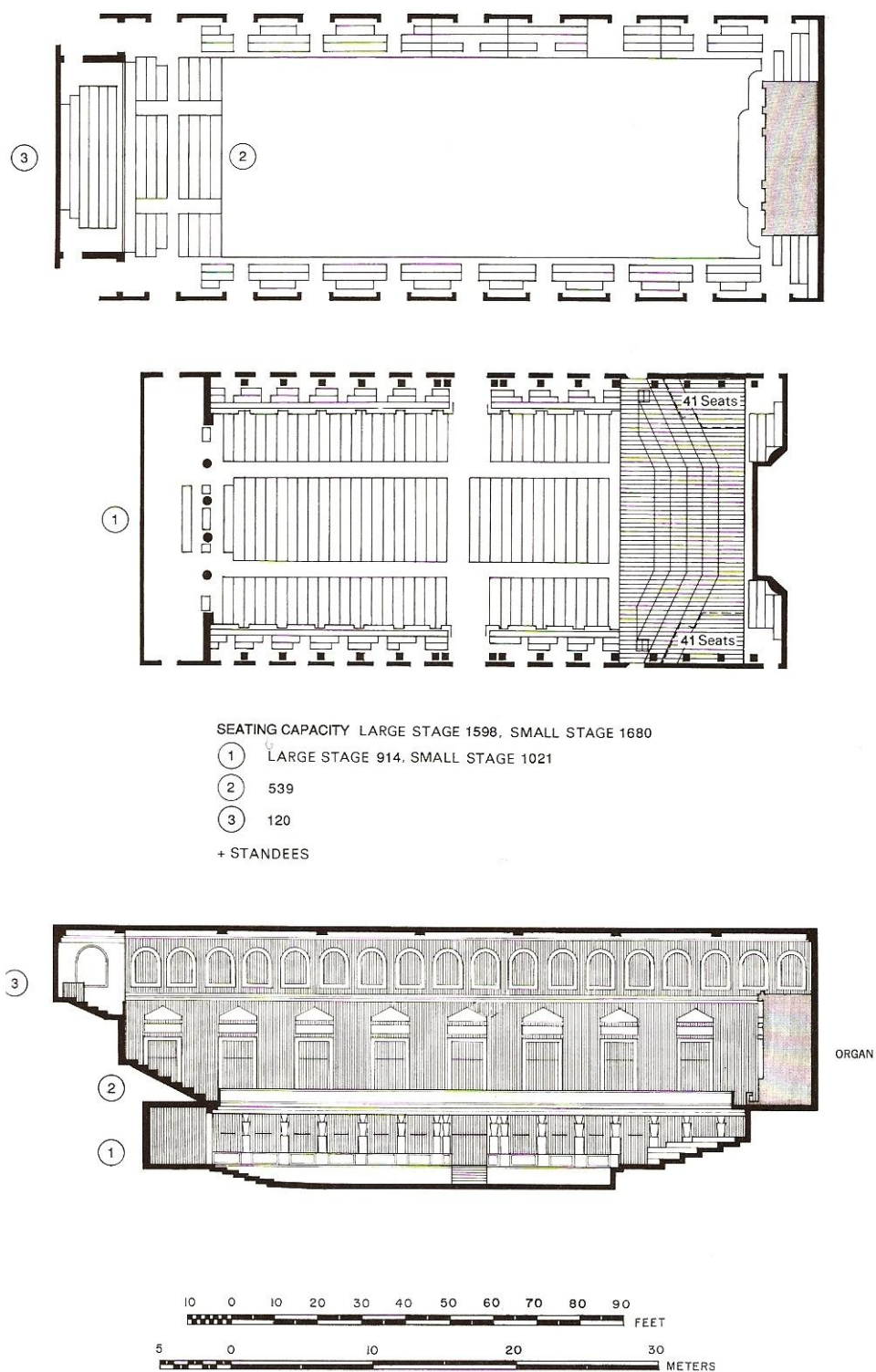


Figura 49. plantas e corte da Grosser Musikvereinsaal em Viena, 1870.

Foi referido por Sabine, que para que esta nova sala tivesse sucesso, teria que ter o mesmo tempo de reverberação do que a Gewandhaus em Leipzig, o que foi conseguido, tornando a sala de Boston, na opinião dos músicos, críticos e maestros de todo o mundo, possuidora de uma acústica superior.⁸⁸ (Beranek:1962)

No entanto outros factores exerceram uma forte influência no sucesso desta sala, para além do tempo de reverberação, como sejam a proporção, a forma, os materiais, os estofos das poltronas da audiência e as irregularidades das paredes e tectos.

Os desenhos do arquitecto Mckin para sala em Boston (figura 48) obedeciam aos requisitos de uma sala com uma acústica superior, no que respeita à forma rectangular (shoe-box) do Gewandhaus; as irregularidades, nichos e estátuas nas paredes laterais, e as cavidades no tecto, os balcões pouco profundos. No entanto embora seguindo um modelo, estes desenhos não foram aceites, pois possuíam um único balcão e a ideia era aumentar a lotação de 1560 para 2600 lugares sentados, exigindo que a sala se tornasse mais longa. Esta solução fez temer Sabine e Higginson, pois poderia causar o efeito túnel. Então foi-lhe aplicado mais um balcão e reduzido o espaço das poltronas fila a fila, encurtando a sala. A pedra foi um material utilizado, bem como os estofos originando uma boa resposta a frequências baixas (graves). Finalmente para o desenho de palco Sabine contou com a cooperação do construtor do órgão e no cálculo da altura do tecto aplicou a sua nova fórmula que produz um volume cúbico.⁸⁹ (Beranek.1962)

Esta sala é valorizada por Leo Beranek como possuidora da melhor qualidade num universo de 100 salas de concertos estudada no seu livro *Concert Halls and Opera Houses, Music, Acoustics, and Architecture*.

Na concepção de alguns auditórios no séc. XX, foi utilizada a fórmula de Sabine, sem atender à forma e à proporção, o que deu origem a resultados desastrosos. Neste sentido é necessário atender a outros parâmetros subjectivos e objectivos, bem como atender à opinião de quem conduz a orquestra, músicos ou até mesmo dos auditores. Nos dias de hoje já é possível estabelecer mais parâmetros. Os parâmetros objectivos estão intimamente relacionados com sensações subjectivas e definem a qualidade acústica de um espaço. Sendo alguns parâmetros definidos como a clareza ou definição, timbre ou tonalidade, a reverberação, envolvimento, intimidade, intensidade e brilho, etc.

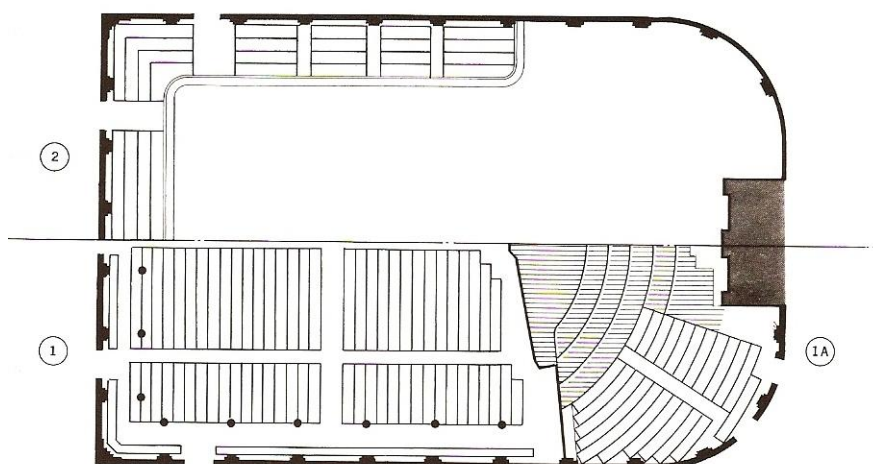
Alguns parâmetros criados por Leo Beranek são definidos do livro de Francesc Daumal Domenèch, *Arquitectura acústica, Poética y diseño*:

A *intimidade* é o tempo que decorre entre a percepção do som directo e a primeira reflexão. Dá a ideia do tamanho da sala, e nas salas grandes interessa que seja pequeno, o que implica a utilização de painéis reflectores.

A *vivacidade* relaciona o tempo de reverberação a frequências médias, numa sala ocupada, com o tipo de interpretação. Dá a sensação de que não estamos numa sala surda, e

⁸⁸ *Idem*.

⁸⁹ *Ibidem*, p.493.



SEATING CAPACITY 2037

- ① 1305
- ①A 312
- ② 420

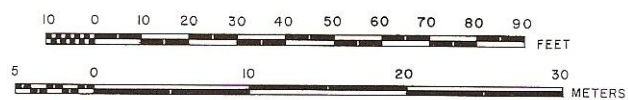
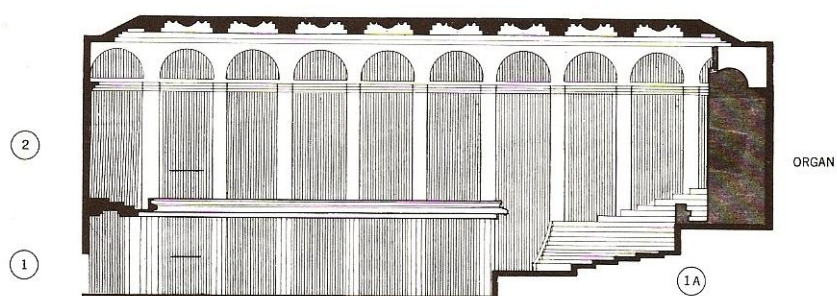


Figura 50. planta e corte da Concertgebouw em Amesterdão, 1888.

expressa-se mediante a média dos tempos de reverberação nas oitavas de frequência de 500 e 1000 Hz.

O *calor* é a percepção das notas emitidas em baixas frequências. O calor de uma sala depende também da relação entre os tempos de reverberação nos sons baixos e nos sons médios (também num espaço ocupado).

O *nível do som directo* dá a ideia da proximidade da orquestra (auditórios) e do cantor (teatros de ópera).

O *nível de som reverberante* relaciona a reverberação a frequências médias (em sala ocupada) com o volume do local.

Balance e mezcla ou *equilíbrio* é a predisposição do local para distribuir correctamente os diferentes instrumentos e planos sonoros por toda a sala. Corresponde à percepção dos diferentes instrumentos da orquestra com níveis correctos e depende fundamentalmente das superfícies reflectoras mais próximas da orquestra.

A *difusão* é a propriedade que faz com que o som chegue de muitos pontos do espaço com energia suficiente.

O *Ensemble* é a capacidade dos músicos de se ouvirem entre si (no caso das salas de ópera, entre o cantor e a orquestra).

Existem outros factores não quantificados para a qualidade sonora dos locais são a *claridade*, o *brilho*, a *definição*, *sonoridade*, *impressão espacial* ou *lateralização* e *velocidade de amortecimento*.

A *claridade* define a faculdade de distinguir entre diferentes notas sucessivas .

O *brilho* define a presença de harmónico. Depende de que o ITDG seja curto, de que o nível do som directo seja alto e de que o nível de som reverberante seja alto.

A *definição* é a relação entre a energia que chega nos primeiros 50 ms e da tonalidade do tempo de reverberação.

A *sonoridade* é semelhante à definição, mas neste caso relaciona a energia das reflexões.

A *lateralização* é a relação entre a energia lateral e a não lateral dentro do intervalo de 80 ms.

As salas de concertos mais antigas, utilizadas actualmente pelas principais orquestras datam da última metade do século XIX. Na opinião dos músicos, maestros e ouvintes, as salas caracterizadas por possuírem uma acústica superior, com um tempo de reverberação de 1.9 a 2.1 segundos são: Grosser Musikvereinssaal em Viena, 1870 (figura 49); Concertgebouw em Amsterdão, 1888 (figura 50); e o Symphony Hall em Boston, 1900. Curiosamente todas têm a forma de caixa-de-sapatos. Numa entrevista ao Chicago Tribune o legendário maestro Wilhelm Furtwaengler referiu que as salas com uma acústica superior, são as que têm os melhores espectáculos.⁹⁰ (Beranek:1962). A classificação efectuada por Leo Beranek, onde estão

⁹⁰ *Ibidem*, p.494.

VM	Vienna, Grosser Musikvereinsaal	Munich, Philharmonie Am Gasteig
B0	Boston, Symphony Hall	Osaka, Symphony Hall
BA	Buenos Aires, Teatro Colón (Concert Shell)	Rotterdam, De Doelen Concertgebouw
BZ	Berlin, Konzerthaus (Schauspielhaus)	Tokyo, Metropolitan Art Space
AM	Amsterdam, Concertgebouw	Tokyo, Orchard Hall, Bunkamura
TN	Tokyo, Tokyo Opera City TOC Concert Hall	Toronto, Roy Thompson Hall (br)
ZT	Zurich, Grosser Tonhalleaal	Vienna, Konzerthaus (br)
NY	New York, Carnegie Hall	Washington, JFK Concert Hall (br)
BC	Basel, Stadt-Casino	Washington, JFK Opera House (set)
CW	Cardiff, St. David's Hall	SA Salzburg, Festspielhaus
DA	Dallas, McDermott/Meyerson Hall	ST Stuttgart, Liederhalle, Grosser Saal
BN	Bristol, Colston Hall	AF New York, Avery Fisher Hall
SO	Lenox, Seiji Ozawa Hall	CR Copenhagen, Radiohuset, Studio 1
CM	Costa Mesa, Segerstrom	EB Edinburgh, Usher Hall (br)
SL	Salt Lake City, Abravanel Symphony Hall	GL Glasgow, Royal Concert Hall (br)
BP	Berlin Philharmonie	LF London, Royal Festival Hall (br)
TS	Tokyo, Suntory Hall	LV Liverpool, Philharmonic Hall (br)
TB	Tokyo, Bunka Kaikan (Orchestra Shell)	MA Manchester, Free Trade Hall (Replaced)
BR	Brussels, Palais des Beaux-Arts (Renovated)	PP Paris, Salle Pleyel (br)
BM	Baltimore, Meyerhoff Symphony Hall	ED Edmonton, No. Alberta Jubilee Auditorium (br)
	Bonn, Beethovenhalle	MP Montreal, Salle Wilfrid-Pelletier (br)
	Chicago, Civic Center	TK Tokyo, NHK Hall (3,677 seats)
	Chicago, Orchestra Hall (br)	SH Sydney, Opera House Concert Hall (br)
21	Christchurch, Town Hall	SF San Francisco, Davies Symphony Hall (br)
	Cleveland, Severance Hall (br)	TE Tel Aviv, Fredric R. Mann Auditorium (br)
to	Gothenburg, Konserthus	LB London, Barbican, Large Concert Hall (br)
	Jerusalem, Binyanei Ha'Oomah	BU Buffalo, Kleinhans Music Hall (br)
	Kyoto, Concert Hall	LA London, Royal Albert Hall (5,080 seats) (br)
39	Leipzig, Gewandhaus	
	Lenox, Tanglewood Music Shed	

Note: (br) means before recent renovations. These halls may have greatly changed acoustics since renovations.

Figura 51. classificação efectuada por Leo Beranek, onde estão ordenadas 58 salas de concerto.

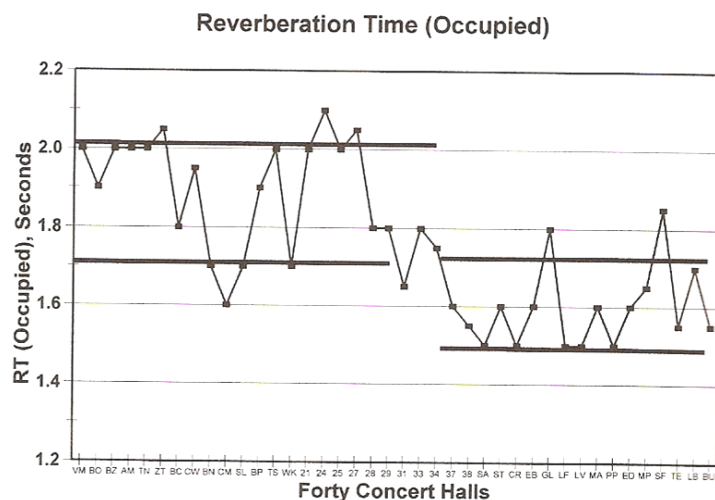


Figura 52. Tempo de reverberação (frequências médias) para 40 salas de concerto cheias.

ordenadas 58 salas de concerto, foi desenvolvida a partir de entrevistas e questionários. (figura 51).

Na perspectiva dos músicos e maestros a reverberação é um parâmetro muito importante (figura 52). No entanto há uma série de atributos que contribuem para toda a qualidade acústica numa sala de concertos, como o volume, a forma e os materiais.

Embora tenhamos conhecimento destes atributos acústicos referentes a um modelo de sucesso como a Symphony Hall em Boston, bem como o modelo do violino do Antonio Stradivari, outras formas podem ser exploradas.

A idade, a forma e os materiais das salas de concerto

As três salas referidas anteriormente nasceram cerca do ano 1900 ou antes, bem como outras vinte bem classificadas. O facto de elas terem sobrevivido ao longo do tempo pode-se relacionar com a relação que os músicos têm com a sua acústica e por vezes estas serem salvas da destruição, como aconteceu com Carnegie Hall. Outras salas foram destruídas no início do século XX devido à sua acústica pobre.⁹¹ (Beranek:1962)

Leo Beranek questiona se acústica da sala pode melhorar com a idade. No seguimento desta questão ele afirma que não há nenhuma mudança da acústica da sala que não sofreu entretanto qualquer tipo de alterações, pois a acústica “(...) *depend on cubic volume; interior shape, density of materials that form the surfaces; and kind, size, spacing, and number of the chairs and carpets or other sound-absorbing materials.*”⁹² (Beranek:1962)

A acústica de uma sala pode ser comparada à afinação de um violino, que com o tempo pode afinar ou desafinar, consoante os seus materiais e reacção à temperatura, humidade. Assim, uma sala pode estar em constante transformação, influenciando as propriedades do som.

De acordo com a tabela do ranking das melhores salas, elaborada por Leo Beranek, das primeiras quinze salas que tiveram uma avaliação excelente, dois terços têm a forma de caixa-de-sapatos.

A opção pela forma em caixa-de-sapatos parece ser um desenho seguro. Sendo as paredes laterais paralelas, há a garantia da criação das primeiras reflexões laterais para a audiência, no piso principal, essencial para a criação da *amplitude* ou *spaciousness*. Tal amplitude é obtida através de alguns recursos: a utilização de painéis suspensos e mecanismos que preservem a energia do baixo; intervenção nas paredes próximas e laterais do palco, moldando-as de forma que o som seja uniformemente dirigido ao público; e ainda aplicação de “paredes” nas áreas dos lugares, de forma a criarem reflexões laterais, como se pode ver nalgumas salas “surround”.⁹³ (Beranek:1962)

⁹¹ *Ibidem*, p.498.

⁹² *Idem*.

⁹³ *Ibidem*, p.499.

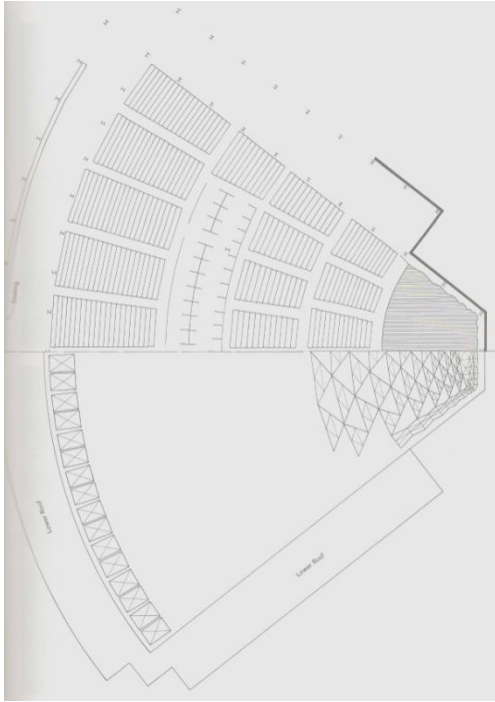


Figura 53. planta da Tanglewood Music Shed em Massachusetts, 1938-59: em forma de leque.

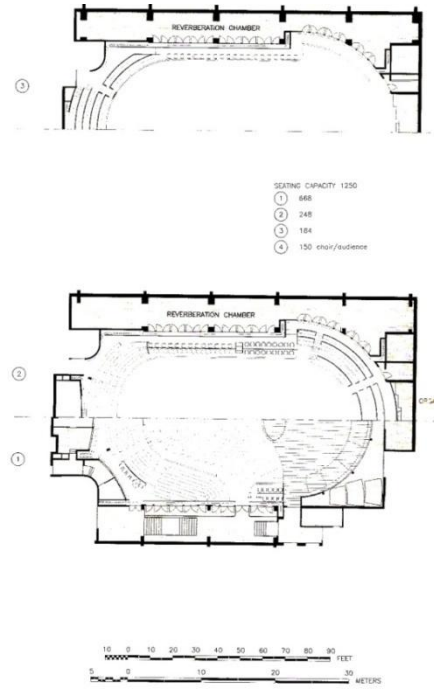


Figura 56. plantas Sibelius/talo em Lathi na Finlândia.

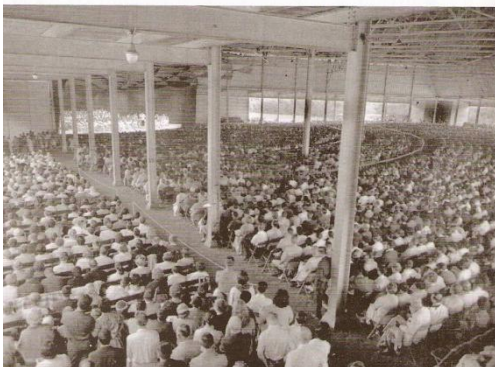
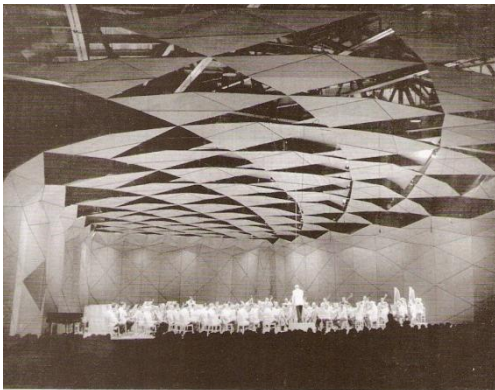


Figura 54 e 55. A Tanglewood Music Shed em Massachusetts é reconhecida pelos seus concertos de Verão, dado que os seus limites laterais não existem

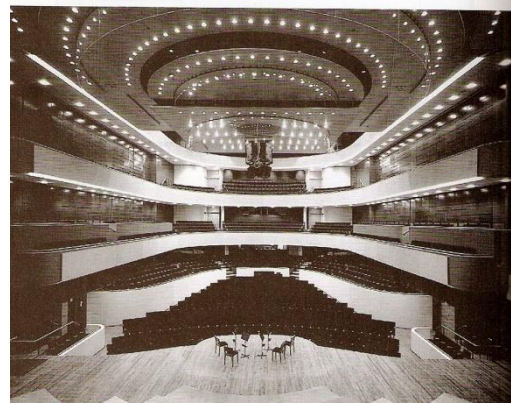


Figura 57 e 58. interior do Sibelius/talo em Lathi na Finlândia: onde a grande percentagem da superfície interior é construída em madeira espessa laminada.

As salas em forma de leque não têm tanto sucesso acusticamente. No entanto a sala a Tanglewood Music Shed em Massachusetts (figuras 53, 54 e 55) é reconhecida pelos seus concertos de Verão, dado que os seus limites laterais não existem, abrindo-se a sala para o exterior, estando grande parte do público ao ar livre.

A inovação face ao modelo da caixa-de-sapatos, surge com a Berlin Philharmonie com 2325 lugares sentados. A orquestra situa-se próximo do centro da sala e a audiência está distribuída pelas 14 secções localizadas a diferentes níveis que apresentam diferentes configurações.

O engenheiro acústico deu especial atenção ao tecto, sendo este em forma de tenda, o que é importante para as primeiras reflexões que surgiam acima da cabeça. Também a localização de algumas paredes entre as secções ou tabuleiros permite a reflexão do som inicial para algumas partes da audiência. Acima do palco estão colocados alguns painéis, que controlam a sua altura.

O estudo desta obra será aprofundado posteriormente, pois aqui importa perceber a sua forma. Esta concepção arquitectónica influenciou outras obras, onde a centralidade do palco pode favorecer a relação e proximidade entre os músicos ou instrumentistas e a audiência. Outro exemplo que iremos aprofundar é a Kammermusiksaal der Philharmonie (1987), que está conectada fisicamente com a Philharmonie de Berlin, ambas do arquitecto Hans Scharoun em parceria com Lothar Cremer.

O sucesso desta obra é atribuído à sua concepção arquitectónica. No entanto a Berlin Philharmonic Orchestra é considerada das melhores do mundo.

As três salas principais que referimos como possuidoras de uma acústica superior, utilizam nas paredes estuque de gesso sobre tijolo ou blocos de cimento e gesso em arame ou ripas de madeira para o tecto.

Os pisos da Boston Hall Symphony são em madeira, embora este piso seja removível de forma a permitir flexibilidade de acordo com os diferentes géneros musicais. A perda do baixo não é excessiva quando a audiência se senta no piso elevado e exerce uma carga que suprime as vibrações.

A maioria das salas modernas, que possuem uma boa resposta do baixo, têm os pisos em betão, cobertos de parquet de madeira ou de algum material sintético, cimentados no betão e as paredes e tecto são construídas com materiais pesados.⁹⁴ (Beranek:1962)

Os painéis de madeira fina (cerca de 2,5 cm ou menos) absorvem fortemente a energia do baixo. Para as paredes laterais de muitas salas é aplicado o folheado de madeira em gesso, que dá um carácter quente à sala. Podemos citar como exemplo do uso adequado da madeira o Sibelius/talo em Lathi na Finlândia (figuras 56, 57 e 58).⁹⁵ (Beranek:1962) onde a grande percentagem da superfície interior é construída com 6,9 cm em madeira espessa laminada.

⁹⁴ *Ibidem*, p.502.

⁹⁵ *Ibidem*, p.512.

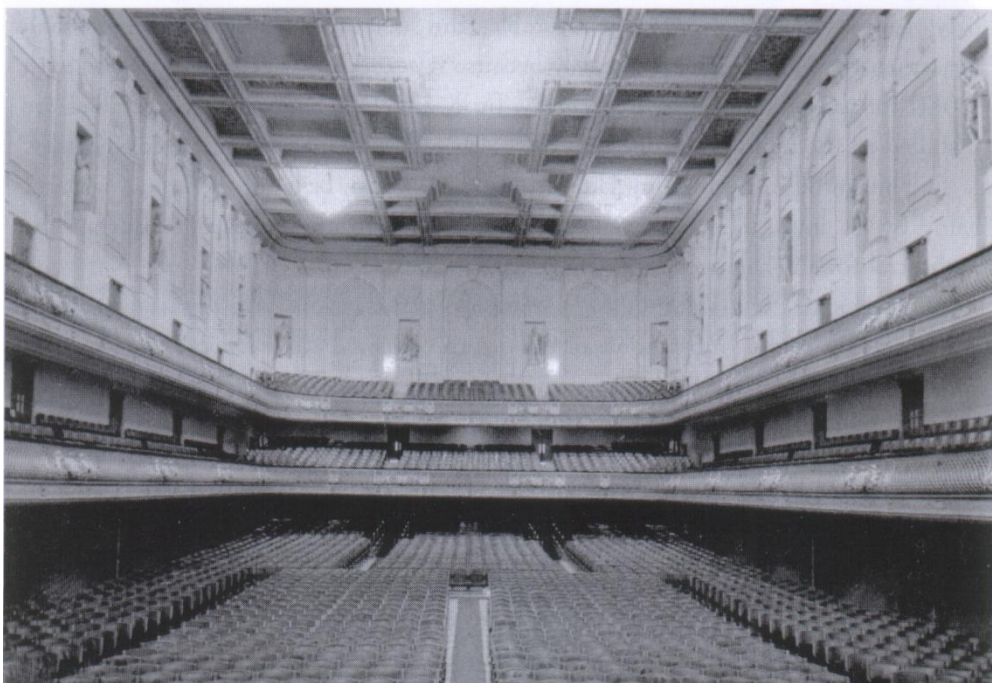


Figura 59 e 60. fotos da Boston Symphony Hall (vista do balcão e do palco).

O invólucro do palco é possuidor de madeira nos tectos e nos lados, o piso é normalmente construído em madeira flexível, o que proporciona um grande conforto para os músicos. Pode-se concluir assim que a madeira é o principal responsável pela preservação dos violoncelos e contrabaixos, embora o piso deva ser num material denso.⁹⁶ (Beranek:1962)

Por último os materiais a utilizar nas poltronas ou a utilização de tapetes ou alcatifas deve ser moderada, pois são responsáveis pelo conforto e absorção do som.

O desenho do som: balance, blend e ensemble

Antes de partirmos rumo à nossa primeira fase, que consistirá na análise de casos de estudo, consideramos necessário elucidar o leitor relativamente a alguns parâmetros relacionados com o estudo do som, fundamentalmente no que refere à performance e à percepção dos auditores. Como tal, acrescentaremos mais três aos definidos anteriormente.

Para obtermos um bom *balance* ou *equilíbrio* numa actuação sinfónica significa que nenhum grupo instrumental domina ou é dominado por outro. Um *blend* ou *mistura* quer dizer que as diferentes secções a tocarem juntas formam um todo, ou um corpo. *Ensemble* significa que os músicos podem tocar em uníssono sem verem todos os movimentos do maestro.

Boston Symphony Hall

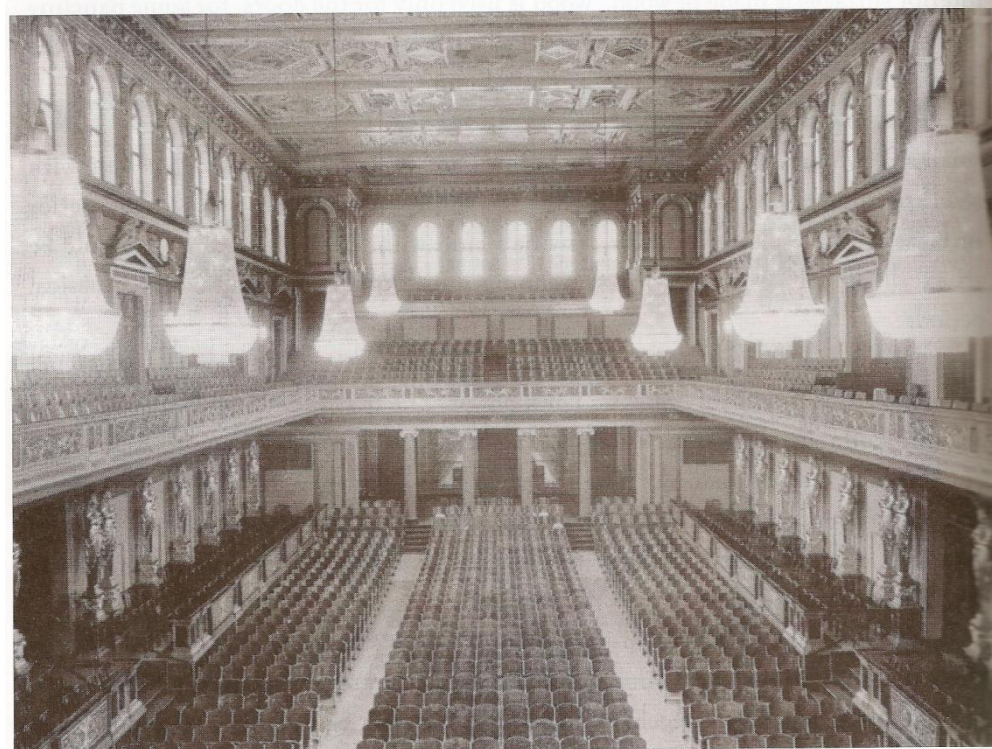
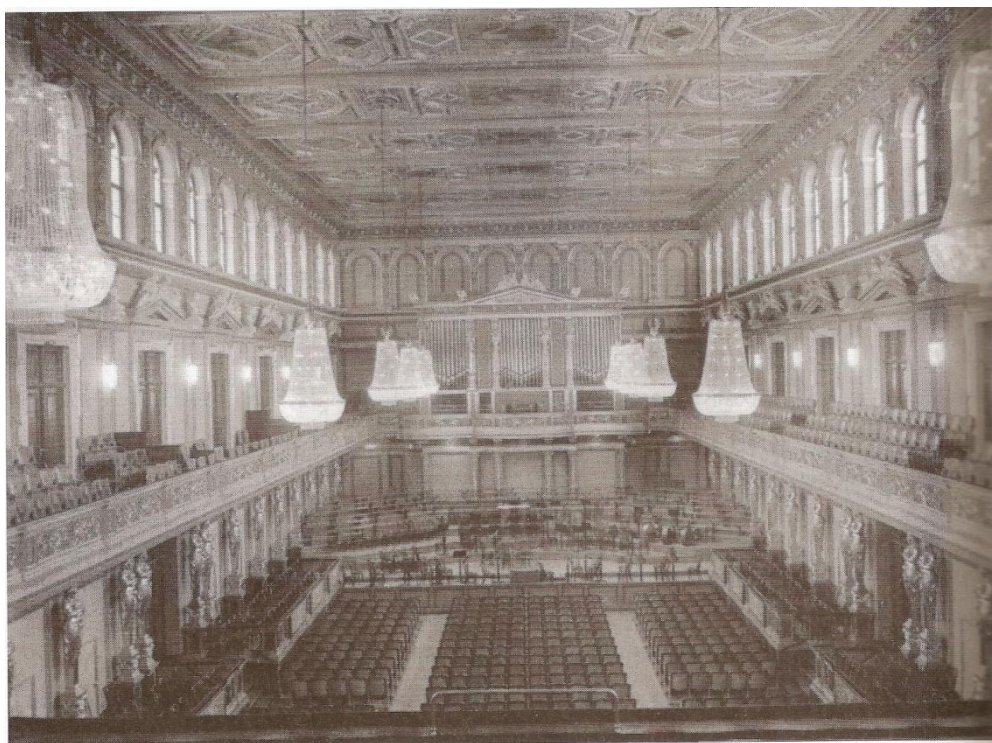
A Boston Symphony Hall (figuras 59 e 60), data de 1900, foi concebida pelos arquitectos McKim, Mead e White em colaboração com o consultor acústico Sabine. O seu uso é destinado essencialmente a orquestras e solistas com uma lotação de 2625 lugares. De forma rectangular, possui um elevado tecto decorado e duas bancadas envolventes. O interior da sala contém nas paredes superiores nichos com estátuas gregas e romanas. Na parte detrás do palco uma fila de flautas de órgão douradas, alguns ornamentos, tonalidades de cinza e creme, a moldura dourada em torno do palco e balcões. Assemelha-se à Vienna Grosser Musikvereinsaal, embora esta tenha uma lotação de 1680 lugares.

Acusticamente a sala é descrita por alguns maestros como Karajan, Bernstein, De Preist, Leinsdorf, como possuidora de um som com *clareza*, uma sala *viva*, *quente* e um som bastante *alto*, na qual se obtém resposta imediata a um esforço da orquestra. O tom da orquestra é *equilibrado* ou *balanced* e o *ensemble* é excelente.⁹⁷ (Beranek:1962)

As sete características cruciais que permitiram obter um bom resultado da sala são: a sua forma em caixa-de-sapatos, que foi modelada depois da antiga de Leipzig, a Gewandhaus;

⁹⁶ *Ibidem*, p.503.

⁹⁷ *Ibidem*, p.47.



Figuras 61 e 62. fotos da Grosser Musikvereinsaal em Viena (vista do balcão e do palco).

*o próprio tempo de reverberação, determinado pela fórmula de Sabine, que ajusta o tecto; a preservação do baixo, evitando largas áreas de madeira, de modo a fazer o edifício à prova de fogo; a escolha de lugares sentados com o mínimo de estofos, limitando a largura e comprimento para garantir a intimidade; som proveniente da difusão dos nichos, estátuas e tectos; finalmente por um palco que combina da melhor forma o som orquestral e projecta a música uniformemente e completamente para a audiência.*⁹⁸ (Beranek:1962)

Vienna Grosser Musikvereinssaal

*“Sem dúvida, que a pulsação de um maestro de uma orquestra quando ele conduz pela primeira vez nesta célebre sala aumenta. A Filarmónica de Viena, a exibição de maestros famosos, e a bela música tocada nela faz disto a Meca das salas antigas da Europa.”*⁹⁹ (Leo Beranek:1962)

A Grosser Musikvereinssaal (figura 61 e 62), data de 1870 e foi projectada pelo arquitecto Theophil Ritter von Hansen. É essencialmente destinada ao uso de orquestras e solistas (ideal para música sinfónica dos períodos Clássico e Barroco), tendo uma lotação de 1680 lugares sentados. A sala tem uma forma rectangular, de tamanho reduzido, com um volume de $530,000 \text{ ft}^3$, $15,000 \text{ m}^2$, que quando cheia, obtém-se um tempo de reverberação de 2.0 segundos.

As paredes interiores são irregulares: as laterais e da retaguarda são em gesso e tijolo e possuem mais de quarenta janelas altas, vinte portas sobre os balcões e trinta e duas estátuas altas de mulheres, abaixo dos balcões. Esta sala é possuidora de ornamentação, camadas de ouro e estatuetas. Em torno do palco as paredes são em madeira bem como seu piso, que se situa a 1 m acima do piso principal. Em material absorvente são adicionadas $18,6 \text{ m}^2$ de cortinas, e os lugares sentados são em estrutura de madeira.

Na opinião do maestro Herbert von Karajan “ *O som nesta sala é muito encorpado, rico em baixo e bom para cordas agudas. Um defeito é que as notas sucessivas que tendem a se fundir entre si. Há uma diferença do som para o ensaio e o som com a audiência.*” enquanto que o maestro Bruno Walter refere que “ *Esta é certamente a melhor sala do mundo. Tem beleza e força no som. A primeira vez que eu conduzi aqui foi uma experiência inesquecível. Eu não me tinha apercebido que a música poderia ser tão bela.*”¹⁰⁰ (Beranek:1962)

⁹⁸ *Ibidem*, p. 49-50.

⁹⁹ *Ibidem*, p.173.

¹⁰⁰ *Idem*.



Figuras 63 e 64. fotos da Amsterdam Concertgebouw (vista do palco e do balcão).

Amsterdam Concertgebouw

A Amsterdam Concertgebouw (figuras 63 e 64), data de 1888, foi projectada pelo arquitecto A. L. Van Gendt. Destina-se essencialmente ao uso de todo o tipo de música, com ênfase na orquestra, possuindo 2037 lugares sentados e quando cheia produz um tempo de reverberação de 2,0 segundos.

A sua forma é rectangular tal como as duas salas anteriores e embora esta seja mais ampla, o palco é o mais alto de todos, estando acima do piso principal, cerca de 1,53 m, e 25% da audiência pode-se sentar em íngremes degraus por detrás da orquestra.

As suas paredes laterais e traseira abaixo do balcão são irregulares em gesso, o piso é plano com 13 cm em betão em cima de tábuas duras pregadas, o tecto é em gesso com ornamentação e a sua profundidade produz uma excelente difusão do som. O palco não contém invólucro e o seu piso é em madeira pesada sobre uma profunda caixa-de-ar. Os lugares sentados são removíveis, com estofos grossos e tecidos. É ainda aplicado 65 m² de material absorvente como os cortinados localizados na parte detrás dos balcões e em torno dos portais.

Algumas opiniões quer de maestros, quer de músicos foram tidas em conta. Enunciaremos uma que reflecte a influência do tempo de reverberação na música: *“A reverberação nesta sala dá uma grande ajuda a um violinista. Como uma nota desliza para outra, o som anterior é preservado e tem-se a sensação que cada nota está rodeada pela força. (...) o som é bem equilibrado, forte no baixo”*.¹⁰¹ (Beranek:1962)

Na opinião de Beranek a localização do auditor é muito importante. Ele diz que o som num balcão é melhor do que num piso principal: *“Num balcão a articulação é de alguma forma melhor, mas para quem gosta de um som sumptuoso, rico em baixo o piso principal é o ideal, pois tem-se a sensação de estar rodeado de um oceano de música.”*¹⁰² (Beranek:1962)

¹⁰¹ *Ibidem*, p.425.

¹⁰² *Idem*.

III.2 - CENTRALIDADE DO PROSCÊNIO – DESDE O PRINCÍPIO À CONCRETIZAÇÃO

Na fase em que nos encontramos importa perceber de que forma é que existe uma harmonia entre a arquitectura e acústica. Analisaremos duas obras de Hans Scharoun que mostram o processo de evolução do princípio da centralidade: a Berlin Philharmonie (1956 - 63), e a Kammermusiksaal der Philharmonie (1987) (figuras 64, 65 e 66), obra póstuma de Scharoun. *Se a Filarmónica de Berlim foi a primeira sala de concertos sinfónicos a obedecer a este princípio (o que entusiasmou o maestro Karajan aquando do júri do concurso em 1956), a sala de música de câmara é a sua concretização.*¹⁰³ (Boulet:1990)

Análise comparada

*“Music in center”*¹⁰⁴

(Hans Scharoun in Boulet: 1990)

A Berlin Philharmonie é uma sala que permite que os músicos e a audiência comuniquem de uma forma espontânea e enérgica, reforçando assim a sensação de proximidade ou até mesmo de intimidade entre músicos e auditores. Destinada principalmente a concertos, esta sala produz um tempo de reverberação de 1,9 segundos.

A peculiar localização de alguns lugares, permitem ver o palco de todos os ângulos, inclusive ver o maestro de frente. Dos 2218 lugares sentados, 250 situam-se atrás da orquestra, 300 de cada lado, 120 lugares no palco e 44 destinados a ouvintes com deficiências nunca ultrapassando 30 m de distância até ao palco. Também o som varia conforme a posição: em frente ao palco o som é claro e equilibrado, enquanto que na retaguarda do palco o som é diferente, parecendo mais adiantado.¹⁰⁵ (Boulet:1990)

No tecto suspenso, os materiais utilizados são o gesso; no tecto do palco, 10 painéis em poliéster com 7,5 m² de área combinados com absorventes e ressoadores de Helmholtz. As paredes laterais são em madeira fina com caixa-de-ar, que reflectem o som para os músicos. O piso do palco é em madeira com caixa-de-ar e o piso da audiência é em parquet de madeira de carvalho sobre asfalto. Os lugares atrás são em contraplacado de madeira, com estofos no topo e a parte inferior em tecido perfurado e descansos do braço em madeira.¹⁰⁶ (Beranek:1962)

¹⁰³ in Marie-Laure Boulet, *op. cit.*, p.26.

¹⁰⁴ *Ibidem.*

¹⁰⁵ *Idem.*

¹⁰⁶ in Leo Beranek, *op. cit.*, p.297-298.

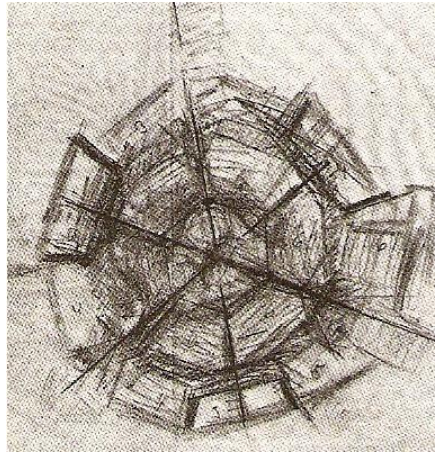


Figura 65. Esquisso da Kammermisiksaal der Philharmonie (1987), obra póstuma do arquitecto Hans Scharoun.

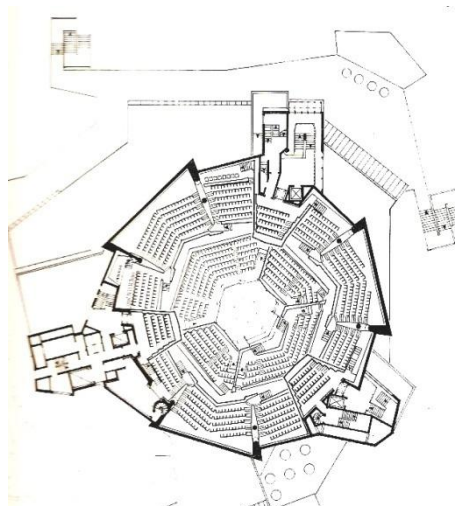


Figura 66. planta da Kammermisiksaal der Philharmonie.

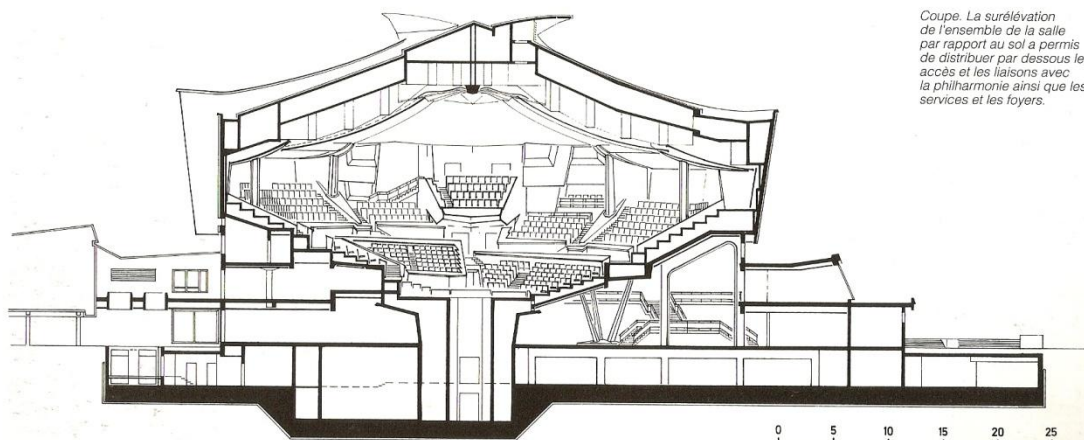


Figura 67. Corte da Kammermisiksaal der Philharmonie.

Hans Scharoun em parceria com Lothar Cremer concordou em partir a audiência em blocos, permitindo que a primeira fila de cada bloco receba o som directo e desimpedido, e que as paredes laterais e detrás permitam receber as primeiras reflexões laterais. Outras reflexões são obtidas pelos dez extensos painéis suspensos sobre o palco, enquanto que os lugares superiores recebem as primeiras reflexões vindas do tecto convexo em forma de tenda.¹⁰⁷ (Boulet:1990)

A Berlin Kammermusiksaal der Philharmonie é uma sala para música de câmara e o seu tempo de reverberação é cerca de 1,8 segundos a médias frequências quando ocupada.

A organização espacial da Berlin Kammermusiksaal der Philharmonie dá uma grande liberdade à localização dos outros espaços que fazem parte do programa, principalmente porque a sala se encontra elevada em relação ao nível do solo permitindo distribuir por baixo os acessos, os serviços, o foyer e a ligação que conecta este edifício com a Philharmonie.

O ponto de partida é o centro e todo resto se organiza em torno da geometria triaxial que tem a sua origem no podium, definindo as entradas, escadas e os acessos. No entanto a forma quase hexagonal do palco e a propagação dessa figura geometrica pelo espaço resulta de uma deformação desse hexágono para que uma boa acústica se proporcione. Com o objectivo de favorecer a acústica aumentou-se o volume e as superfícies de reflexão, elevando os lugares, construindo muros ao longo da galeria circular e nos balcões. Os movimentos ascensionais dos blocos da sala são seguidos pelos tectos, que contêm reflectores, difusores, e candeeiros suspensos no tecto em gesso.¹⁰⁸ (Boulet:1990)

A Berlin Kammermusiksaal der Philharmonie e a Berlin Philharmonie regem-se pelo mesmo princípio: ambas querem “*fazer ouvir e ver, abolindo a separação entre os músicos e o público.*”¹⁰⁹ (Boulet: 1990). Portanto ambas as obras têm uma história, representam uma evolução, um percurso formal, e podemos dizer que a forma segue a acústica, “*a geometria vergou-se ao som*” no último caso.¹¹⁰ (Boulet:1990)

¹⁰⁷ in Marie-Laure Boulet, *op. cit.*, *loc. cit.*

¹⁰⁸ *Idem.*

¹⁰⁹ *Idem.*

¹¹⁰ *Idem.*

III.3 - SALAS POLIVALENTES

Numa cidade, que tenha possibilidades económicas, deveria existir uma sala para cada tipo de espectáculo como concertos de música sinfónica, música de câmara, ópera, ballet e conferências, bem como uma sala polivalente.¹¹¹ (Beranek:1962)

Na concepção de uma sala polivalente pode-se atender a vários tipos de abordagens. Numa primeira concepção pode-se construir utilizando o elemento da torre, que permite o deslocamento vertical do cenário e outras engrenagens; contém uma concha desmontável, adaptada a qualquer tipo de concertos, que quando colocada permite obter um tempo de reverberação de 1,7 segundos. A utilização deste espaço para a ópera exige que a torre tenha um baixo tempo de reverberação com o espaço cheio, de 1,4 a 1,6 segundos. Para uma ópera italiana 1,4 segundos é o ideal. Para eventos de discursos, aplicam-se cortinados, podendo o tempo de reverberação ser reduzido para 0,2 a 0,3 segundos, e para o ambiente de aulas o tempo de reverberação, sem a utilização de altifalantes deve ser no máximo 1,2 segundos. O **Teatro Cólón em Buenos Aires** (figura 68) é a mais alta ópera do mundo, tendo um tempo de reverberação, quando cheia, de 1,6 segundos.¹¹² (Beranek:1962)

Porém existe outro tipo de desenho, em que a torre não é necessária. Tomemos como exemplo a sala **Lucerne na Suíça** (figura 69), que tem uma forma rectangular e possui uma câmara de reverberação de $10.000\ m^3$, e que quando aberta, permite ajustar o tempo de reverberação. Esta sala não é adequada para a ópera. No entanto quando se utilizam cortinas e se fecham as portas o ambiente torna-se mais intimista, ideal para a música de câmara.¹¹³ (Beranek:1962) Um outro desenho possível utiliza uma torre, embora esta esteja dentro da sala de concertos, e utilizam-se painéis suspensos. Esta sala é adequada a ópera, ballet, música íntima. Um exemplo é o **Bass Performance Hall em Fort Worth, Texas** (figura 70), que ocupada obtém um tempo de reverberação de 1,9 segundos. Contudo ao aplicar cortinados amovíveis, é reduzido para 1,6 segundos. Para além das possibilidades de desenho de salas descritas anteriormente existem outras variações. Para que seja possível obter a qualidade acústica desejada não se deve desenhar a sala básica com uma grande amplitude.¹¹⁴ (Beranek:1962)

Teatro Cólón em Buenos Aires

O Teatro Cólón em Buenos Aires destina-se a vários usos como ópera, concertos, recitais e conferências. No entanto é um dos mais amplos teatros de óperas do mundo e foi considerado o melhor acusticamente. Uma classificação (figura 71) próxima foi atribuída ao

¹¹¹ in Leo Beranek, *op. cit.*, p. 549.

¹¹² *Idem.*

¹¹³ *Ibidem*, p.550.

¹¹⁴ *Idem.*

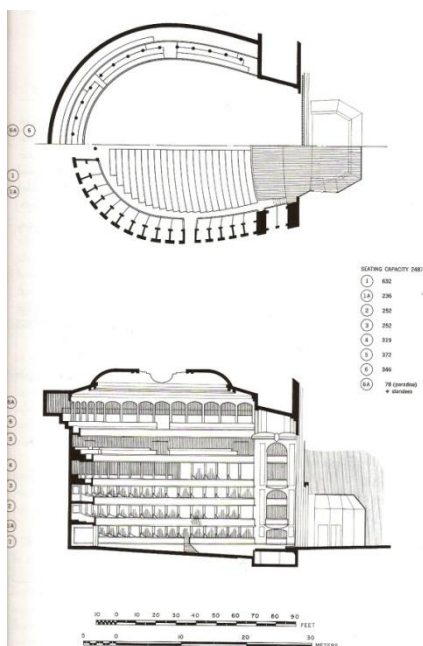


Figura 68. Teatro C3lon em Buenos Aires.

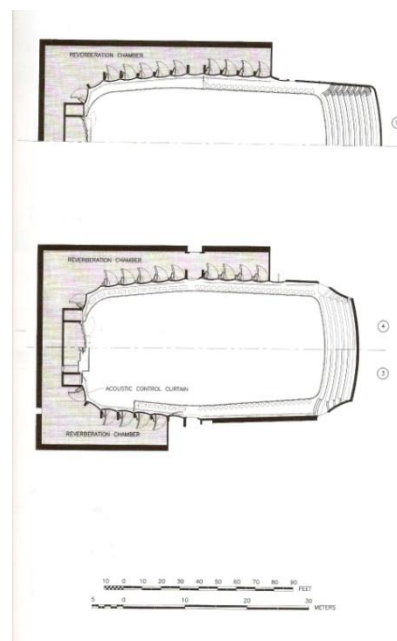


Figura 69. Sala Lucerne na Suia.

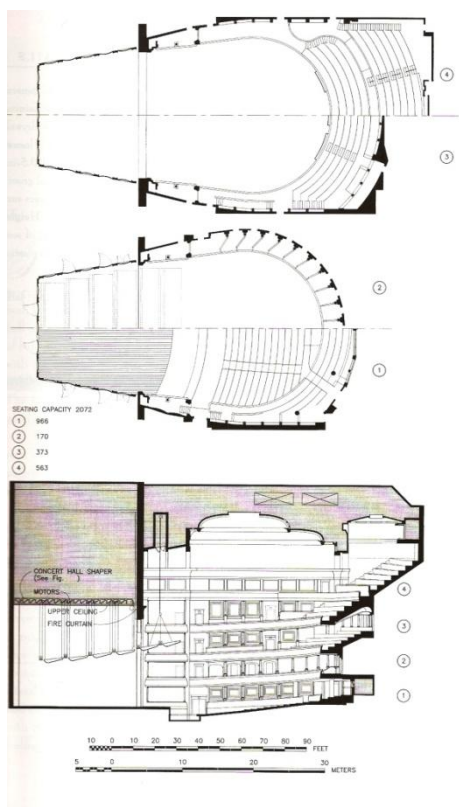


Figura 70. Bass Performance Hall em Fort Worth no Texas.

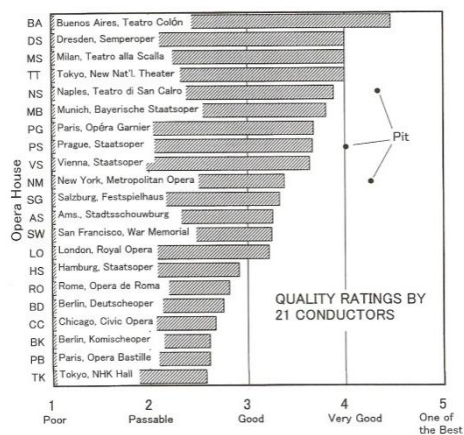


Figura 71. Classifica3o dos teatros de 3pera possuidores de uma ac3stica superior.

Dresden- Semperoper, Milão- Teatro Alla Scala, Tokyo- New National Theater, e Naples – Teatro di San Carlo.

Este teatro foi desenhado por Francesco Tamburini e Víctor Meano e inaugurado em 1908, tendo uma lotação de cerca de 3000 lugares, 2487 lugares sentados e um tempo de reverberação de 1,6 segundos para ópera nas frequências médias e com a audiência cheia.(figura 72 e 73)

O tecto principal e as faces dos balcões desta sala são responsáveis pelas reflexões bem definidas com intensidade adequada que voltam ao palco, particularidade que agrada aos solistas. Outra particularidade que agrada aos apreciadores de ópera, são os lugares situados no topo das galerias, onde se faz chegar o tom do violino do fosso, com toda a sua qualidade, atribuindo esse resultado também ao tecto da sala.¹¹⁵ (Beranek:1962)

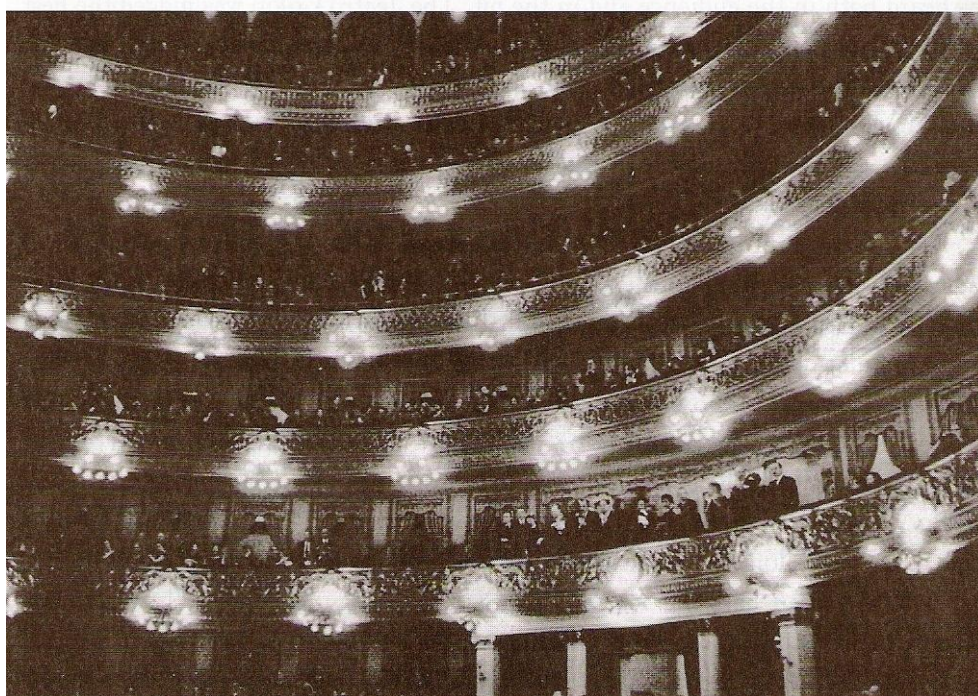
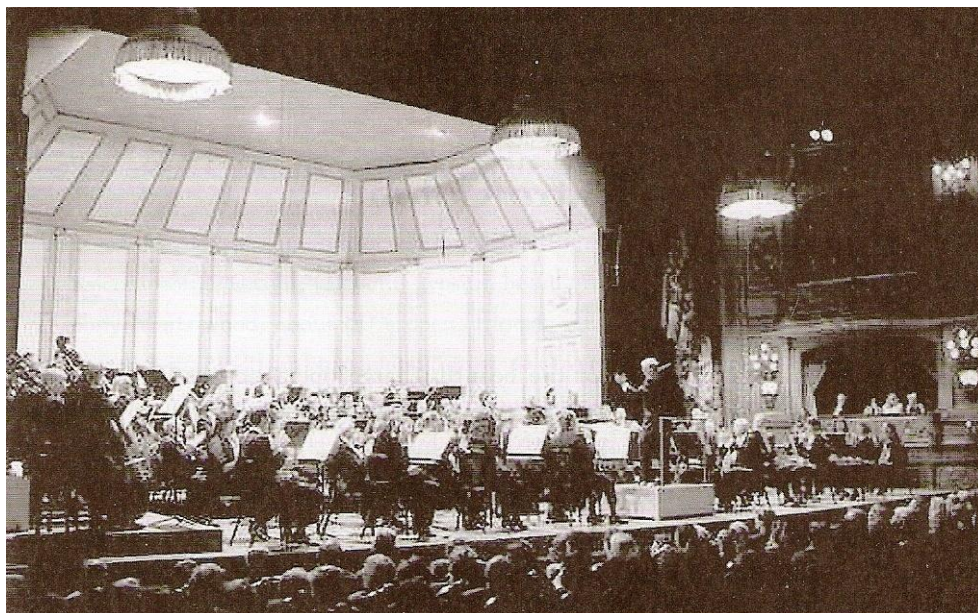
Os materiais utilizados são: no tecto, 3,7 cm de gesso em ripas de metal; as paredes e parte da frente dos balcões, 2,5 cm de gesso em arame; os pisos são em madeira, estando o piso do palco sobre caixa-de-ar (ligeiramente inclinado) bem como o piso do fosso e das paredes laterais, que são em madeira.¹¹⁶ (Beranek:1962)

O fosso tem uma profundidade de 3 m, sendo o som sentido no piso principal um pouco abafado. No entanto o fosso é um pouco fechado e a concha é bastante rasa. As superfícies das “boxes” no primeiro anel e laterais do palco, reflectem a energia lateral para grande parte do piso principal, enquanto que o tecto produz as primeiras reflexões nos anéis mais altos.¹¹⁷ (Beranek:1962)

¹¹⁵ *Ibidem*, p. 163.

¹¹⁶ *Ibidem*, p.164.

¹¹⁷ *Ibidem*, p.163.



Figuras 72 e 73. Teatro Cólon em Buenos Aires.

III.4 - ORIGEM DA ÓPERA E DA SUA “CAIXA ACÚSTICA”

A ópera teve a sua origem em Itália nos finais do século XV. No entanto, a primeira obra considerada uma ópera, no sentido de fusão das várias artes, data aproximadamente do ano 1597, quando foi apresentada em Florença, a obra *Dafne* do poeta Rinuccini, com música de Jacopo Petri.

O primeiro espaço concebido para a apresentação de uma ópera, foi o Teatro di San Cassiano em Veneza em 1637, onde se experimentou colocar a orquestra entre o palco e a audiência. O Teatro di San Carlo (figuras 74 e 75), inaugurado em 1737, foi queimado em 1816, e restaurado antes de 1817, é o mais antigo teatro de ópera usado hoje em dia. Em 1872 foi-lhe adicionado um fosso de orquestra, a pedido de Verdi. O segundo teatro de ópera mais antigo de Itália, usado nos dias de hoje é o Teatro Alla Scala, que data de 1778.

Noutro contexto, em França, em meados do século XVIII, os membros do poder já ocupavam as “boxes” laterais do palco, enquanto que as classes mais baixas situavam-se na plateia, e eram obrigadas a assistir ao espectáculo sobrelotado em pé. A planta era geralmente em forma de ferradura e existiam três níveis de “boxes” ou camarotes com divisões entre elas. No século XIX, em Paris desenvolve-se a *Grand Opera* com cenários elaborados e grandes orquestras. Em 1875 é inaugurada em França a Ópera Garnier (figuras 76 e 77).¹¹⁸ (Beranek:1962)

No século XIX, surge por iniciativa do compositor alemão Richard Wagner, a vontade de conjugar as várias artes como a música, a poesia, o teatro, a dança e artes plásticas numa ópera, surgindo então a expressão alemã *Gesamtkunstwerk*, que significa obra de arte total, ou seja um trabalho de síntese. Wagner ao participar na construção do seu teatro em Bayreuth, o Festspielhaus, estava a proporcionar ao público a total imersão no universo da ópera, quer pela organização do espaço, quer pelos efeitos criados pela ópera.

O fosso acústico

Para a Ópera de Wagner atingir a dramática desejada era importante “a criação de um som místico por uma orquestra invisível”, o que levou Wagner a desenvolver um cavado fosso coberto que desempenhava um comportamento acústico diferente do fosso convencional.¹¹⁹ (Beranek:1962) A forma do auditório e a disposição da orquestra do Bayreuth Festspielhaus, vem quebrar com a tradição do teatro de ópera do modelo barroco italiano, pois este exige um fosso descoberto, antes do palco.

Acusticamente uma ópera não-Wagneriana, deve conter um fosso que permita a projecção de um som equilibrado e misturado, sem distorção tonal para a sala. A relação dos cantores, da orquestra e das várias secções deve ter um bom *ensemble*, permitindo ouvirem-se

¹¹⁸ *Ibidem*, p.554.

¹¹⁹ *Ibidem*, p.564.

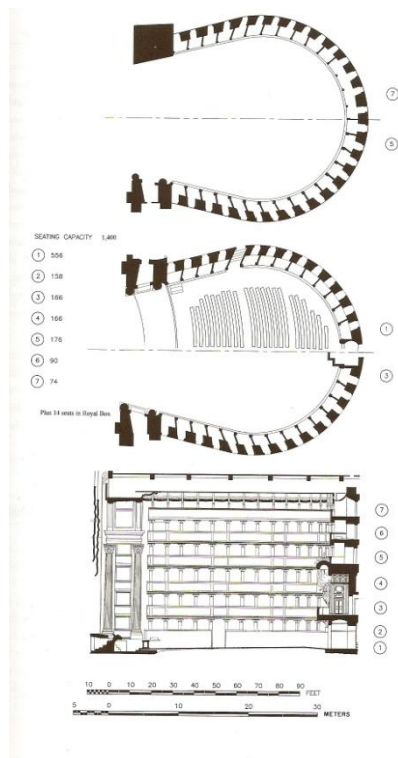
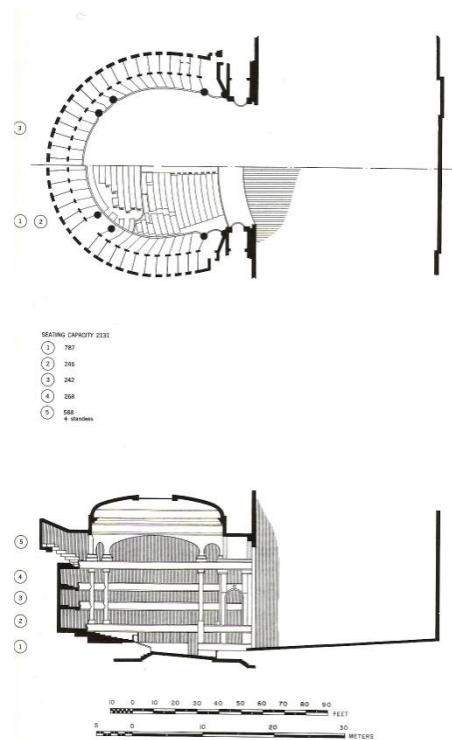


Figura 74. planta e corte Teatro di San Carlo



Figuras 76. planta e corte Ópera Garnier em França, 1875.

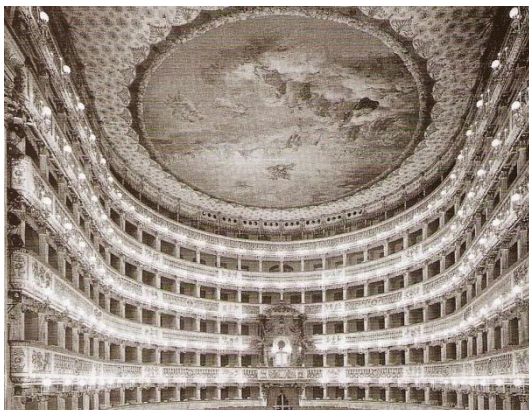
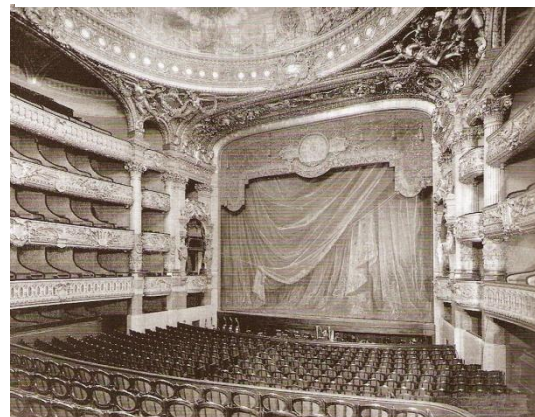


Figura 75. fotos do Teatro di San Carlo.



Figuras 77. fotos da Ópera Garnier.

bem entre si, assim como a comunicação visual entre cantores e executantes com o maestro é importante.¹²⁰ (Beranek:1962) No entanto é mais importante a comunicação auditiva do que visual, permitida pelo fosso aberto, nem muito profundo, nem muito ultrapassado.¹²¹ (Beranek:1962)

Existem vários tipos de fossos de orquestra: o fosso aberto (Vienna Staatsoper); o fosso fundo/cavado coberto (Bayreuth Festspielhaus) e o fosso cavado aberto (Eastman Theatre in Rochester). Seguidamente analisaremos o segundo exemplo, tendo sido o modelo de fosso inovador, que reflecte a íntima relação entre do espaço com a “mística” da ópera.

O teatro de ópera de Bayreuth (Bayreuth Festspielhaus)

*“foi concebida por Richard Wagner para satisfazer a sua própria imagem de como um teatro de ópera deveria parecer e soar; e responde unicamente para a música do seu mestre, e melhor para Der Ring Des Nibelungen and Parsifal”.*¹²² (Beranek:1962)

O Festspielhaus em Bayreuth (figuras 78, 79, 80) é a sede do festival de Ópera em Bayreuth. É um teatro concebido pelo compositor Richard Wagner para receber as suas óperas e concretizado pelo arquitecto Otto Brueckwald, inaugurado em 1876. Tem uma pequena dimensão, com 1800 lugares sentados, o que segundo Beranek favorece a sua qualidade acústica.

As paredes laterais do teatro são paralelas, no entanto a área que contém os lugares sentados apresenta-se em forma de leque. O material aplicado nas paredes detrás e laterais são o gesso no tijolo ou ripas de madeira, em torno das colunas e parte dos seus capitéis são em ripas de madeira, estando a asa mais próxima do palco fechada com um franzido lençol de amianto. O tecto é plano, com 1,25 cm de gesso sobre madeira com ornamentos de talha em madeira. No entanto, Leo Beranek afirma que ao caminhar sobre ele, *“(...) tem-se a impressão que ele sobe de trás para a frente, como um grande toldo esticado sobre um anfiteatro grego.”* A sua altura favorece um tempo de reverberação longo de 1,55 segundos a frequências médias quando cheio, sendo ideal para a música Romântica Wagneriana.¹²³ (Beranek:1962)

Este teatro apresenta um fosso de orquestra com um desenho invulgar, pois este contém uma cobertura e uma abertura sobre o centro da orquestra que permite expedir a sua música (figura 81).

O desenho do fosso cavado permite criar um equilíbrio entre os cantores e a orquestra. No entanto, Wagner era ainda mais ambicioso nas suas intenções, desejando criar o efeito dramático do “abismo místico”, através de um som misterioso emanado da orquestra invisível,

¹²⁰ *Idem.*

¹²¹ *Idem.*

¹²² *Ibidem*, p.283.

¹²³ *Ibidem*, p.283-287.

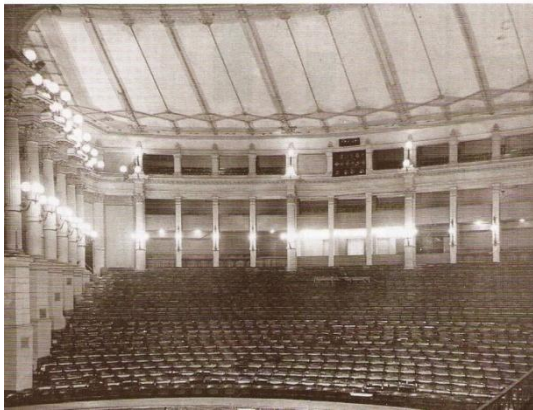


Figura 78 e 79. Festspielhaus em Bayreuth.

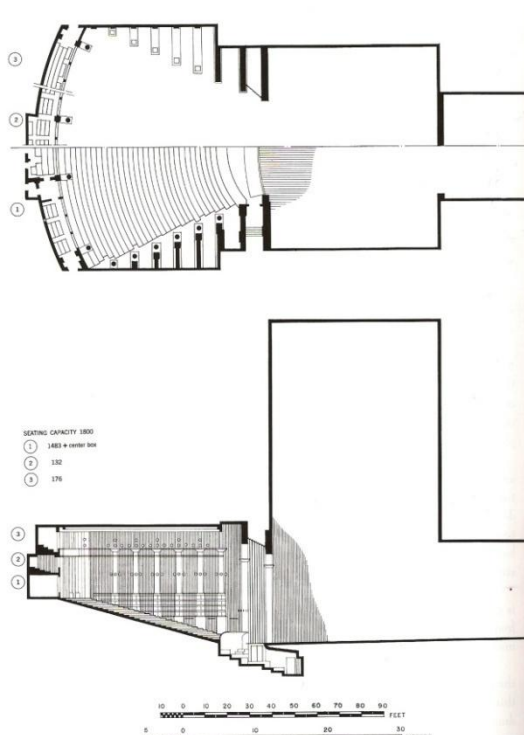


Figura 80. planta e corte do Festspielhaus em Bayreuth.

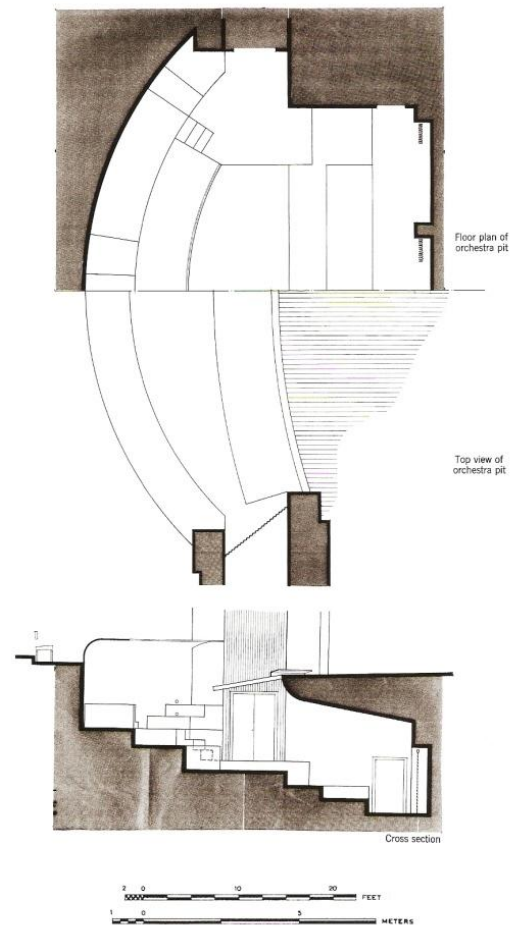


Figura 81. Fosso de orquestra do Festspielhaus em Bayreuth.

possuidora de um timbre sinistro.¹²⁴ (Beranek:1962) A intenção seria dar ênfase ao drama.¹²⁵ (Beranek:1962)

Foram feitas várias tentativas e experiências para modificar a configuração do fosso, no que refere à sua cobertura. A remoção da cobertura era defendida por alguns maestros como Herbert von Karajan. Ao remover a cobertura descobriu que não obtinha tão bons resultados e o velho toldo foi reinstalado.¹²⁶ (Beranek:1962)

Com o intuito de reflectir o som no palco utilizam-se telas que envolvem a área da actuação, na qual resulta um tempo de reverberação longo.

Elementos da organização do espaço

“Boxes” ou camarotes

Desde os teatros mais antigos, os elementos das “boxes” ou camarotes, podem ser observados, como no **Teatro di San Cassiano em Veneza**, que data de 1937. Estes camarotes eram ocupados de acordo com o género ou classes sociais dos indivíduos, geralmente para exibição das suas preciosidades e vestuário. Por exemplo há registos, que mostram as mulheres nos camarotes inferiores e um grande número de homens a assistirem a uma gala no **Teatro Alla Scala em Milão**.

O Teatro La Scala (figura 82) possui 155 camarotes, cada com seis cadeiras. As aberturas dos camarotes constituem 43% da ferradura, as quais reflectem o som para o espaço central gerando uma acústica mais viva, tanto para os ocupantes dos sentados nos pisos principais como nos camarotes. É de salientar que os camarotes da **Royal Opera House em Londres** (figura 83) para além de permitirem uma melhor visão, são mais acolhedores. No caso do **Philadelphia Academy of Music**, não há divisões entre camarotes, pois foram removidas, constituindo uma melhor qualidade sem obstruções para a visão. As aberturas dos camarotes ocupam cerca de 75% da parede lateral.¹²⁷ (Beranek:1962)

Os balcões

Os balcões de um teatro de ópera não constituem um problema, pois a reverberação não é muito importante neste espectáculo, sendo a atenção focada na inteligibilidade da voz. Assim são atendidas duas recomendações na composição destes elementos: a distância D não deve exceder a altura H, tendo a parte detrás e as paredes laterais uma forma que permita as

¹²⁴ *Ibidem*, p.283.

¹²⁵ *Ibidem*, p.287.

¹²⁶ *Idem*.

¹²⁷ *Ibidem*, p. 568.

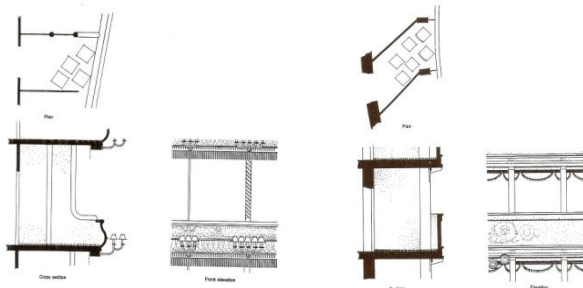


Figura 82. camarotes do Teatro La Scala.

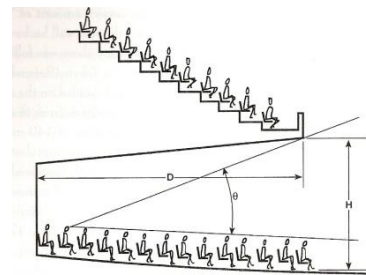


Figura 83. Camarotes da Figura 84. Cálculo dos balcões de um Royal Opera House em teatro de ópera Londres.

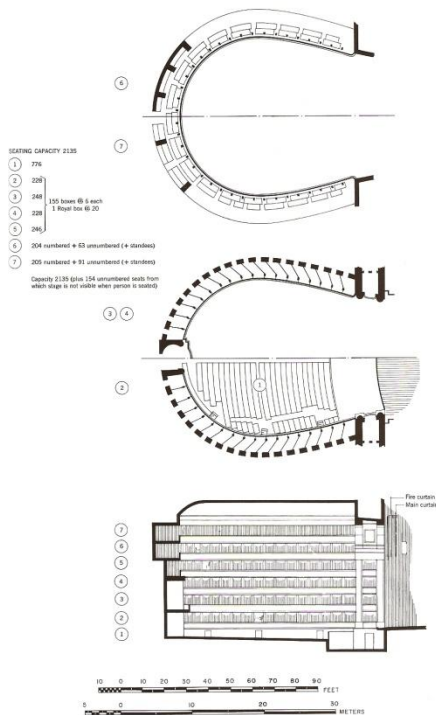


Figura 85. plantas e corte do Teatro Alla Scala em Milão

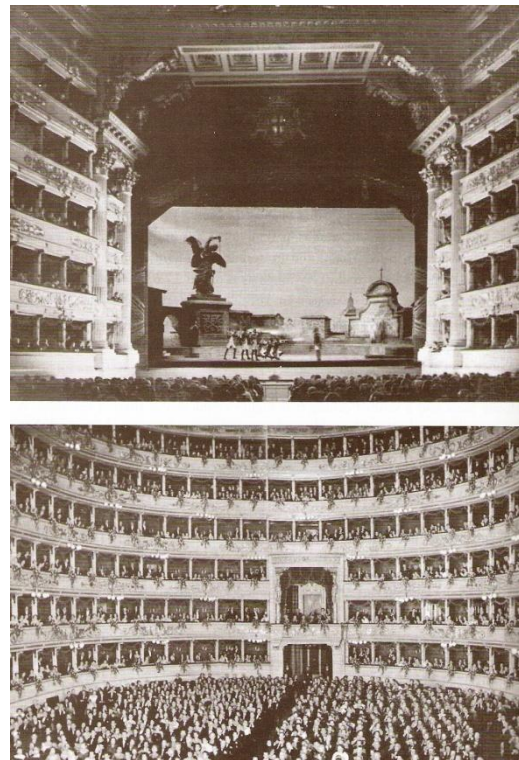


Figura 86 e 87.fotos do Teatro Alla Scala em Milão.

reflexões laterais para as cabeças dos espectadores; o ângulo θ deveria ser de preferência 25 graus (figura 84).¹²⁸ (Beranek:1962)

Teatro Alla Scala em Milão

O percurso do Teatro Alla Scala em Milão foi muito conturbado. Construído por Maria Theresa de Austria e o seu arquitecto Giuseppi Piermarini, foi inaugurado em 1778, embora o seu aspecto seja muito diferente actualmente. Em 1943, foi vítima de um ataque bombista e pouco restou para além das paredes levantadas. Em 1946, foi *restaurado para a música de Toscanini*, tendo sido preservada a sua aparência anterior até aos seus detalhes. Foi fechado em 2002 para ser reaberto em 2004 para obras de modernização do seu palco e torre; tendo-se procedido à remoção dos tapetes, os pisos foram deixados à vista e usavam-se novas poltronas, com menos estofos.

A planta é em forma de ferradura (figuras 85, 86 e 87), com balcões altos e um tecto abobadado, mais alto no centro do que nos lados, em gesso e ripas anexadas em tábuas longitudinais. As faces das paredes dos camarotes e colunas verticais nos seus parapeitos são em gesso, tendo cada abertura 1,37m x 1,37m. Tais aberturas produzem apenas 40% da abertura da parede, o que significa que 60% do som é reflectido de volta ao espaço central. O teatro toma assim um volume quase cúbico que lhe confere um ambiente intimista com um curto tempo de reverberação, de 1,24 segundos a médias frequências, com o espaço cheio. Os pisos são em madeira com 0,90 m de caixa-de-ar sobre o betão, sendo o piso do fosso plano, em elevador, frequentemente localizado a 3m abaixo do nível do palco e a altura do palco é 1,52 m acima do nível da primeira fila.¹²⁹ (Beranek:1962)

¹²⁸ *Ibidem*, p.269.

¹²⁹ *Ibidem*, p.355.

IV. CASOS DE ESTUDO NO CONTEXTO PORTUGUÊS

IV.1 BIBLIOTECA DA FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

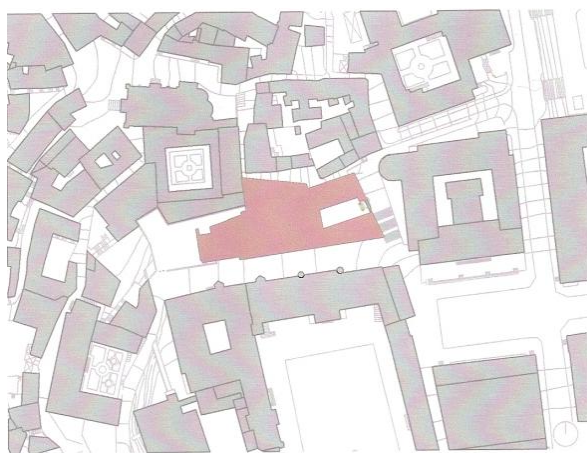


Figura 88. Planta de implantação da biblioteca.



Figura 89. Palácio dos Melos.



Figura 90. Entrada do edifício da faculdade de farmácia.



Figura 91. Rua contígua ao edifício.

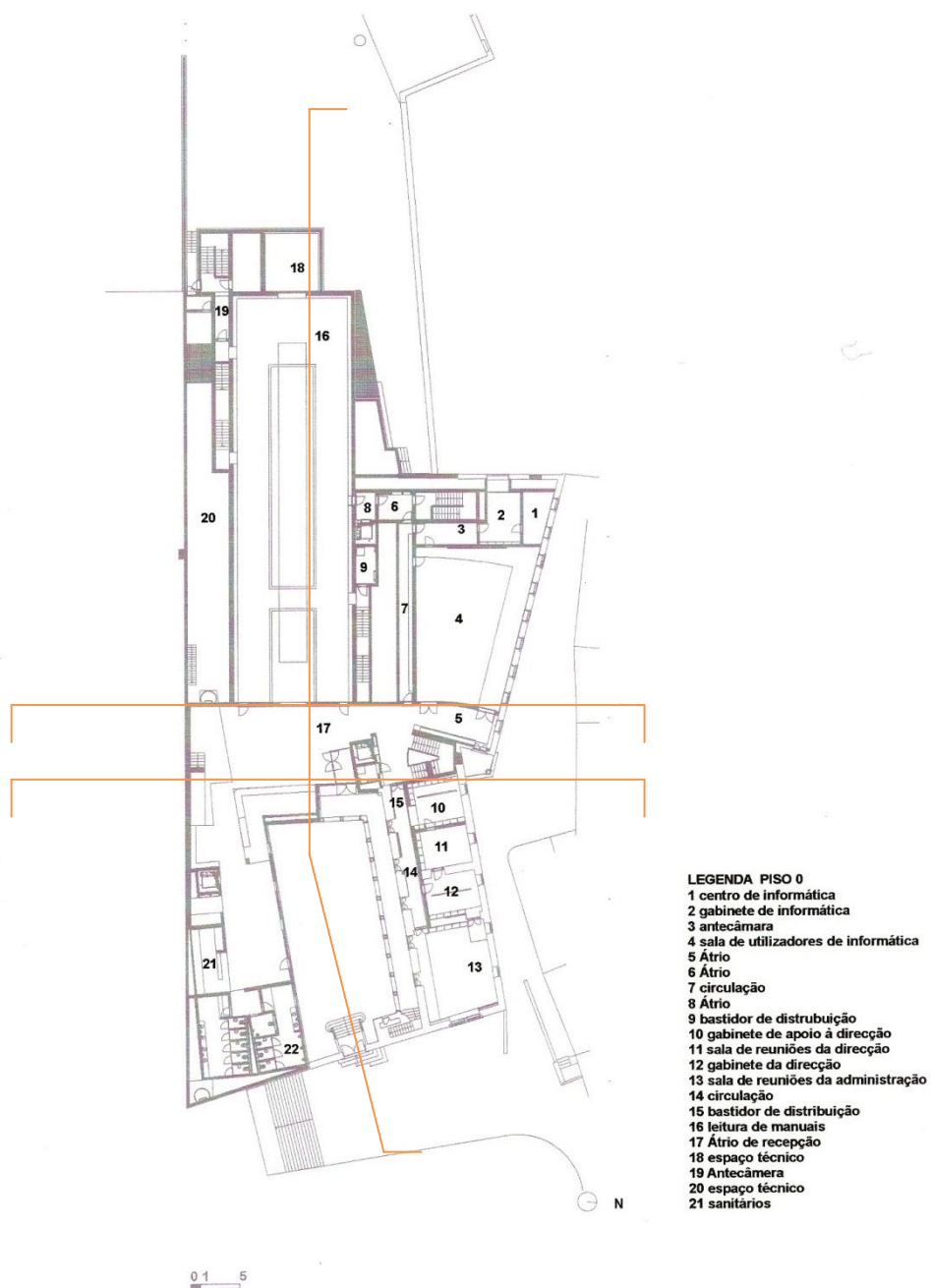


Figura 92. Planta do piso 0 da biblioteca da faculdade de Letras de Coimbra.



Figura 93,94 e 95. Cortes longitudinal e transversais da biblioteca.

O relatório do Projecto de acondicionamento Acústico da Biblioteca da Faculdade de Letras de Coimbra, localizada no Palácio dos Melos, que tem como objectivo estabelecer os critérios de dimensionamento dos espaços do edifício, quer ao nível do comportamento interno quer o isolamento sonoro dos espaços adjacentes e exteriores, organiza-se da seguinte forma: enquadramento legal; critérios acústicos; metodologia; dimensionamento; soluções construtivas e condições técnicas de execução.

O actual **Regulamento Geral do Ruído** entrou em vigor a 1 de Fevereiro, sob o Decreto- Lei 9/2007 de 17 de Janeiro, alterando essencialmente os critérios definidos anteriormente. Mantém-se a referência do **Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios** que permanece ao abrigo do Decreto-Lei 129/2002 de 11 de Maio, no que se refere a todos os requisitos do acondicionamento acústico de edifícios. Contudo houve alteração deste último pelo Decreto – Lei n.º96/2008 de 9 de Junho, tendo-lhe sido aplicados novos critérios.¹³⁰ (Inacoustics:2008)

Relativamente ao **Regulamento Geral de Ruído**, “(...) o *Capítulo I, Artigo 3º, alínea p)*, refere novos períodos temporais de referência para análise dos níveis sonoros de avaliação.”, enquanto que “*Nas alíneas seguintes v), x) e z) são definidas denominações para zonas territoriais que se enquadram em diferentes ambientes sonoros.*” No Capítulo III, Artigo 11º, o ponto 1 estabelece que devem ser respeitados valores limite de exposição consoante a classificação da zona. Quanto à “*(...) instalação e à prática de actividades ruidosas permanentes em zonas mistas, nas envolventes das zonas sensíveis ou mistas ou na proximidade de receptores sensíveis isolados estão sujeitos aos valores atribuídos no artigo 11º e ao cumprimento do critério de incomodidade (...)*” nos termos do anexo I do Regulamento.¹³¹ (Inacoustics:2008)

No **Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios** as alterações do Decreto-Lei 129/2002 de 11 de Maio, são enumeradas no Decreto – Lei 96/2008 de 9 de Junho. Em relação aos edifícios escolares e similares, ou de investigação, o artigo 7º do Regulamento dos Requisitos Acústicos estabelece alguns critérios.¹³² (Inacoustics:2008)

Referem-se aos “*(...) edifícios escolares e similares, de investigação e de leitura, que estão sujeitos a requisitos acústicos (...)*” : um determinado índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior e interior do edifício; índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre locais do edifício; índice de isolamento de sons de percussão no interior dos locais de recepção, $L'_{nT,W}$ (ver quadro II);

¹³⁰ in Inacoustics, Projecto de acondicionamento acústico – execução, Novembro, 2008, p.4.

¹³¹ *Idem*, p.7

¹³² *Idem*.

O quadro II, III e IV do anexo ao regulamento estão descritos nas seguintes tabelas:

Quadro II (a que se refere o artigo 7.º, n.º 1, alíneas a), b) e c))			
Locais de recepção — Locais de emissão	Salas de aula (*) de professores, administrativas	Bibliotecas e gabinetes médicos	Salas polivalentes e berçários
Salas de aula, de professores, administrativas	≥45	≥45	≥45
Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas	≥55	≥58	≥50
Berçários	≥53	≥55	≥48
Corredores de grande circulação (**)	≥30	≥35	≥30

(*) Incluindo salas de aula musical.

(**) Considerando que haverá porta de comunicação com os locais receptores; se tal não for o caso os valores indicados serão acrescidos de 15 dB.

Quadro II [a que se refere o artigo 7.º, n.º1, alíneas a), b) e c)]

Quadro III (a que se refere o artigo 7.º, n.º 1, alíneas d))	
Locais	Tempo de reverberação (500 Hz - 2 kHz)
Salas de aula, bibliotecas, salas polivalentes e refeitórios.	$T \leq 0,15 V^{1/2}$ [s]
Ginásios	(V. artigo 9.º)

V = volume interior do recinto em causa.

Quadro III [a que se refere o artigo 7.º, n.º1, alíneas d)]

(a que se refere o artigo 7.º, n.º 1, alíneas f))	
Locais	Tempo de reverberação (500 Hz - 2 kHz)
Biblioteca.	$L_{N,NT} \leq 35$ dB (A) (se o funcionamento do equipamento for intermitente). $L_{N,NT} \leq 30$ dB (A) (se o funcionamento do equipamento for contínuo).
Restantes locais de recepção indicados no quadro II.	$L_{N,NT} \leq 40$ dB (A) (se o funcionamento do equipamento for intermitente). $L_{N,NT} \leq 35$ dB (A) (se o funcionamento do equipamento for contínuo).

Quadro IV [a que se refere o artigo 7.º, n.º1, alíneas f)]

Tabela 1 - Critério de tempo de reverberação mínimo no interior dos espaços					
Espaço	Área (m ²)	Altura (m)	Volume (m ³)	Área de absorção (% de área em planta)	TR (s)
Piso -3					
Piso -2					
Piso -1					
Leitura de Manuais	522,6	3,0	2784,0		2,1
Atendimento / Catálogos / Circulação				50	
Trabalhos de grupo	55,0	3,0	165		0,7
Trabalhos de grupo	27,3	3,0	81,9		0,5
Trabalhos de grupo	60,2	3,0	180,6		0,7
Gabinete Bibliotecário	30,6	3,0	91,8		0,5
Sala de audiovisuais	85,4	3,0	256,2		0,8
Sala de reservados	74,8	3,0	224,4		0,7
Piso 0					
Sala de Reuniões	67,4	3,0	202,2		0,7
Sala de utilizadores de Informática	181,9	3,0	545,7		1,0
Gabinete de Informática	25,4	3,0	76,2		0,5
Centro de Informática	17,5	3,0	52,5		0,4
Átrio / Recepção				65	
Piso 1					
Leitura de Periódicos	66,3	3,0	198,9		0,7
Leitura de Periódicos	33,1	3,0	99,3		0,6
Leitura de Periódicos	73,5	3,0	220,5		0,7

Tabela 1 Critérios de tempo de reverberação mínimo no interior dos espaços.

Tabela		rior.	
Critério de ruído ambiental		Critério de avaliação de incomodidade	
Período	L_{den} (R.A.)	L_n (R.A.)	L_{Aeq} (R.A.) - L_{Aeq} (R.R.)
Diurno		-	≤ 5 dB(A)
Entardecer	≤ 55 dB(A)	-	≤ 4 dB(A)
Nocturno		≤ 45 dB(A)	≤ 3 dB(A)

em que R.A. é a abreviação de ruído ambiente, R.R. de ruído residual e R.P de ruído

Tabela 2 Critérios de níveis de pressão sonora máximos radiados para o exterior.

UTA e UTAN	≤ 80 dB	≥ 95 %
Ventiladores	≤ 65 dB	≥ 90 %
Ventilo-conectores	≤ 35 dB	≥ 85 %

Tabela 3 Critérios de níveis de potência sonora máximos e taxas de atenuação de vibrações.

valores do tempo de reverberação, T , que devem, de acordo com a legislação, satisfazer as condições indicadas (ver quadro III); e o revestimento do paramento interior dos átrios e corredores de grande circulação com revestimentos absorventes sonoros (ver quadro II).¹³³ (Inacoustics:2008)

De acordo com o referido relatório, a determinação dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea; isolamento sonoro a sons de percussão; nível de avaliação e reverberação deve ser calculada conforme a normalização portuguesa aplicável ou, caso não exista, na normalização europeia ou internacional. O referido relatório sugere a adopção da metodologia definida no anexo I ao Regulamento Geral de Ruído para a determinação dos componentes tonais do nível de avaliação $L_{Ar,nT}$. Nas avaliações *in situ*, é proposto no relatório em apreço, ter em conta o factor da incerteza. O edifício, ou qualquer das suas partes, é considerado conforme os requisitos acústicos aplicáveis, quando, conjuntamente a obtenção dos índices de isolamento e outros valores, satisfaçam o limite regulamentar.¹³⁴ (Inacoustics:2008)

Os quadros II, III e IV, que se referem ao artigo 7.º, n.º1, alíneas a), b) e c); ao artigo 7.º, n.º1, alíneas d); ao artigo 7.º, n.º1, alíneas f); respectivamente, que estão descritos no relatório através de tabelas.

Em relação ao isolamento acústico em espaços que requeiram concentração e sossego, os critérios acústicos tanto ao nível de espaços interiores como de fachada serão os previstos na legislação citada anteriormente, serão referidos no capítulo 3.

Cada espaço da biblioteca tem que ter um **tempo de reverberação** e área de absorção adequada, dependendo da sua área, altura, volume. O tempo de reverberação mínimo é 0,4 e o máximo 2,1 correspondendo ao centro de informática e sala de leitura de manuais, respectivamente (ver tabela 1).

Os **níveis sonoros máximos admissíveis** no interior do edifício (ruído do sistema AVAC, águas e instalações sanitárias, equipamentos eléctricos, etc.), expressos pelo parâmetro $L_{Ar,nT}$ sala de leitura é $L_{Ar,nT} \leq 30$ dB (A). No que refere ao exterior do edifício, é referido no presente relatório a opção pela utilização dos critérios definidos na legislação relativa a zonas sensíveis. Os critérios estabelecidos para o ruído exterior são devidos ao ruído proveniente de instalações técnicas: em que R.A. é relativo ao ruído ambiente, R.R. a ruído residual e R.P. de ruído particular. De acordo com o relatório da Inacoustics torna-se necessário estabelecer limites de ruído (potência sonora) transmitido por equipamentos, bem como sistemas a implementar que atenuem os níveis sonoros dos equipamentos mecânicos como sistemas anti-vibratórios. Nas tabelas 2 e 3 constam os dados relativos ao nível de pressão sonora e critérios de níveis de potência sonora máxima e taxa de atenuação de vibrações.¹³⁵ (Inacoustics:2008)

¹³³ *Ibidem*, p.7-8.

¹³⁴ *Ibidem*, p.8-9.

¹³⁵ *Ibidem*, p.12.

Tabela 4 – Níveis de isolamento sonoro a sons de condução aérea mínimos, $D_{nT,w}$

Espaços emissores	Espaços receptores		
	Salas administrativas	Biblioteca	Salas de leitura
Salas administrativas	45	45	45
Refeitórios	55	58	50
Corredores de grande circulação	30	35	30

Tabela 4 Níveis de isolamento sonoro a sons de condução aérea mínimos, $D_{nT,w}$.

Tabela 5 – Níveis de isolamento sonoro a sons de condução de percussão máximos, $L'_{nT,w}$, entre espaços do edifício.

Espaços Emissores	Espaços Receptores
	Salas administrativas e sala de leitura de manuais
Salas administrativas	65
Corredores de grande circulação	60

Tabela 5 Níveis de isolamento sonoro a sons de percussão máximos, $L'_{nT,w}$ entre espaços do edifício.

$$A_{Jp} = \frac{A_l}{A_p} \quad D_{n,w} = R'_u + 10 \log \left(\frac{A_0}{S} \right) \quad D_{2n,w} = R'_u + 10 \log \left(\frac{A_0}{S} \right)$$

Equação (1) Equação (2 e 3)

Para calcular os níveis mínimos de isolamento sonoro, $D_{nT,w}$, entre espaços do edifício, utiliza-se a seguinte equação:

$$S \geq \frac{0,25 \times S_{planta}}{\alpha_{med}} \quad \text{e} \quad S \geq \frac{0,40 \times S_{planta}}{\alpha_{med}} \quad (\text{ver secção 3.5.2})$$

Equação (3.5.2)

Tabela 6 – Critérios de circulação de ar nas condutas principais

Velocidade máxima de circulação do ar nas condutas de ventilação (m/s)		
Local	Ramal Principal	Ramal Secundário
Salas, biblioteca e gabinetes	5,0	4,0
Circulações	6,5	5,0

Tabela 6 Critérios de circulação de ar nas condutas principais.

Tabela 7 – Critérios de circulação de ar no troço final da conduta

Velocidade máxima de circulação do ar nas condutas de ventilação (m/s)			
Local	14 diâmetros antes do terminal	7 diâmetros antes do terminal	Terminal
Salas, biblioteca e gabinetes	3,0	2,0	1,0
Circulações	4,1	3,0	2,5

Tabela 7 Critérios de circulação de ar no troço final da conduta.

No que se refere aos **Requisitos de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea** nas fachadas e alçados do edifício propõe-se no relatório em apreço, o valor mínimo do parâmetro $D_{2m,nT,w}$, de 30 dB. Nos espaços internos dos edifícios o nível mínimo de isolamento sonoro entre os diferentes espaços (ver tabela), por exemplo entre a biblioteca e a circulação é 35 Db, sendo o espaço emissor os corredores de circulação e o receptor a biblioteca (ver tabela IV).¹³⁶ (Inacoustics:2008)

Relativamente aos **Requisitos de Isolamento Sonoro a Sons de Percussão**, são enunciados na tabela os níveis de isolamento sonoro de condução de percussão máximos, $L'_{nT,w}$, por exemplo entre os espaços emissores como corredores de circulação e espaços receptores como as salas administrativas e sala de leitura de manuais é $L'_{nT,w}$, 60 (ver tabela IV).¹³⁷ (Inacoustics:2008)

Para o cálculo do tempo de reverberação no interior de espaços; a área de absorção em circulação e outros espaços; ruído no interior do espaço e requisitos de Isolamento anti-vibratório de máquinas e equipamentos, cumpre-se uma **metodologia**, que é referida no capítulo 4 do referido relatório.

Na análise do desempenho acústico de soluções construtivas será aplicado o cálculo do **isolamento a sons de condução aérea** composto de superfícies não homogéneas, que relaciona a área da parede com a área de envidraçado descrito por uma equação, podendo ser considerada a influência das transmissões marginais através de duas fórmulas (2 e 3).

O cálculo do **isolamento dos sons de percussão**, será efectuado com base nas teorias de cálculo do índice de isolamento a sons de impacto (1), considerando a influência de sons marginais (4). Para o cálculo destes parâmetros, o relatório sugere a utilização de um programa informático: o Acoubat Sound 2008. Alguns dados experimentais aplicados em soluções construtivas semelhantes serão considerados no referido relatório.¹³⁸ (Inacoustics:2008)

A fórmula de Sabine e Arau-Puchades – que prevê a aproximação da forma dos espaços a um paralelepípedo e com volume equivalente aos espaços em análise – permite calcular o **tempo de reverberação no interior dos espaços** especificados na tabela. Pode-se recorrer nalgumas situações ao software CATT- Acoustic, para calcular alguns parâmetros.¹³⁹ (Inacoustics:2008)

Para calcular a quantidade de **material absorvente sonoro (S)** necessária nas áreas de circulação e outros espaços, determina-se o cálculo da área mínima necessária para a satisfação do critério estabelecido na secção 3.5.2. Este cálculo determina um ou

¹³⁶ *Ibidem*, p.13.

¹³⁷ *Idem*.

¹³⁸ *Ibidem*, p.14.

¹³⁹ *Ibidem*, p.14-15.

Figura 1 – Isolamento sonoro mínimo, $D_{2m,nT,w}$ na fachada da biblioteca.

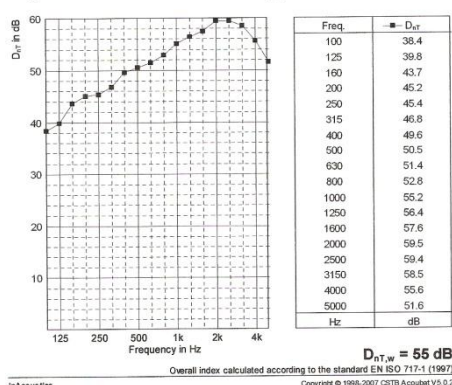


Figura 2 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$ entre salas de arquivo e serviços de apoio técnico (Piso -2).

Figura 1R Isolamento sonoro mínimo, $D_{2m,nT,w}$ na fachada da biblioteca.

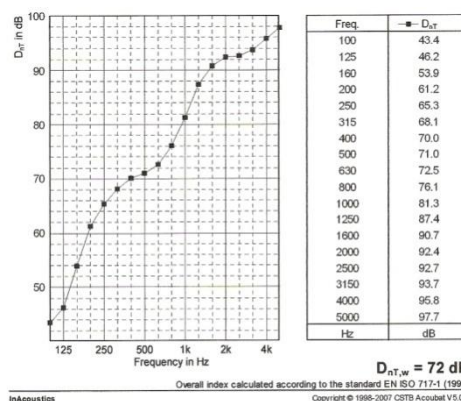


Figura 3 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$ entre o espaço técnico de leitura de manuais (Piso -1).

Figura 2R Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre salas de arquivo e serviços de apoio técnico (Piso -2).

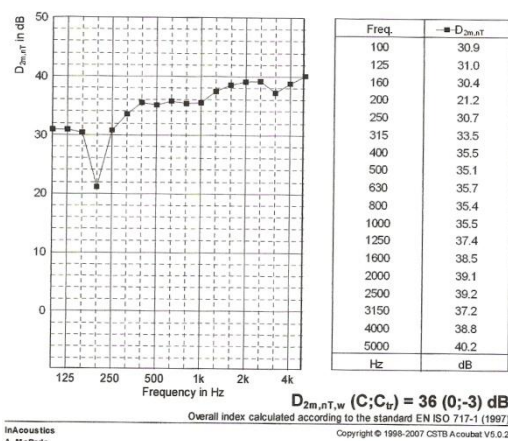


Figura 3R Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$ entre o espaço técnico e a sala de leitura de manuais (Piso -1).

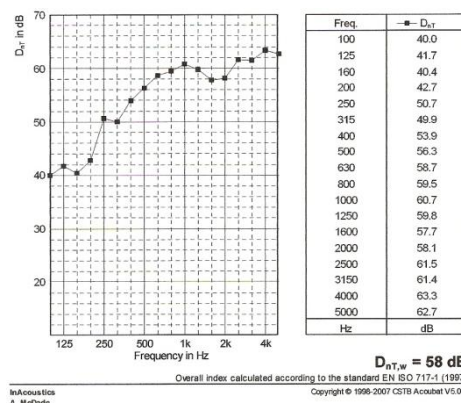


Figura 4 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$ entre o espaço de atendimento a sala de leitura de manuais (Piso -1).

Figura 4R Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$ entre o espaço de atendimento e a sala de leitura de manuais (Piso -1).

diversos materiais de revestimento com dadas características de absorção sonora.¹⁴⁰ (Inacoustics:2008)

Os equipamentos e sistemas centralizadores de AVAC, são os principais agentes responsáveis pelo **Ruído no interior de espaços**, embora neste caso se tenha favorecido a ventilação natural ou forçada. Tornou-se necessário, à equipa responsável pelo relatório, analisar os projectos de Instalações e Equipamentos Mecânicos, Instalações e Equipamentos Eléctricos e Instalações de Equipamentos de Águas e Esgotos, de maneira a avaliar os níveis de ruído no interior dos espaços e dimensionar possíveis soluções de controlo de ruído, através da consulta dos níveis de potência sonora das máquinas AVAC e a determinação do nível de pressão sonora nos diferentes espaços, sendo dada a atenção aos critérios de circulação de ar nas condutas principais e circulação de ar no troço final da conduta. Em relação ao **isolamento anti- vibratório de máquinas e equipamentos** refere-se que deverão ser aplicados critérios de taxa de atenuação de vibrações superiores a 90% (tabelas 6 e 7).¹⁴¹ (Inacoustics:2008)

Seguidamente, no capítulo 5, estabelecem-se os principais critérios acústicos que permitem dimensionar as soluções construtivas ao nível do comportamento acústico interno e ao isolamento sonoro. Para o **isolamento sonoro das fachadas**, estas são constituídas em grande parte em betão armado ou alvenaria de granito com isolamento superior a 40 Db e por vãos envidraçados. Foi aplicado um vão com pano simples ou duplo aplicado em caixilho simples (com classe de estanquicidade mínima A2), com índice de redução sonora mínimo (R_w) de 35 Db (ver figura 1/cálculo do isolamento do alçado norte num dos pisos). O **isolamento sonoro entre espaços para sons de condução aérea (propagação horizontal)** é: em betão armado com espessuras entre 25 e 30 cm; alvenaria de granito com espessuras superiores a 50cm; portas com índice de redução sonora (R_w) entre 35 Db e 40 Db (nas figs. 2,3 e 4 estão representados os resultados do cálculo para as três situações, representativas do conjunto dos restantes espaços do edifício). Na fig.1, relativa ao Isolamento sonoro mínimo, $D_{2m,nT,W}(C;C_{tr})=36$ (0; -3) dB. Na fig.2, relativa ao Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,W}$ entre salas de arquivo e serviços de apoio técnico (Piso -2) é $D_{nT,W}=55$ Db. Na fig. 3, que se refere ao Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,W}$ entre o espaço técnico e a sala de leitura de manuais (Piso -1) é $D_{nT,W}=72$ Db. E na fig. 4 mostra o Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,W}$ entre o espaço de atendimento e a sala de leitura de manuais (Piso -1), $D_{nT,W}=58$ Db. **No isolamento dos sons de condução aérea (propagação vertical)**, nas separações entre pisos são utilizados os seguintes materiais: Laje em betão armado com 20 cm de espessura; tela resiliente com 1 cm de espessura; Betonilha armada com 10 cm de

¹⁴⁰ *Ibidem*, p.15.

¹⁴¹ *Idem*.

A Figura 5 representa o cálculo do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre pisos.

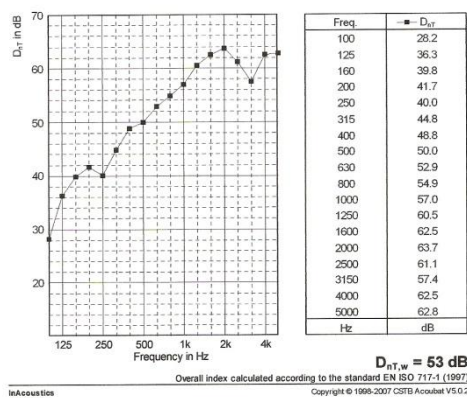


Figura 5 – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$ entre pisos.

Figura 5R Isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$ entre pisos.

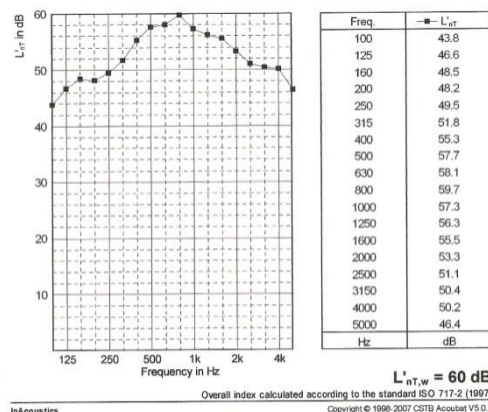


Figura 6 – Isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$ entre duas salas do mesmo piso.

Figura 6R Isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, entre duas salas do mesmo piso.

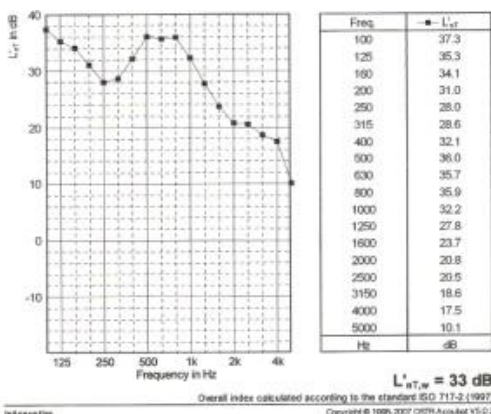


Figura 7 – Isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$ entre o espaço de atendimento sala de leitura de manuais.

Figura 7R Isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$ entre o espaço de atendimento e a sala de leitura de manuais.

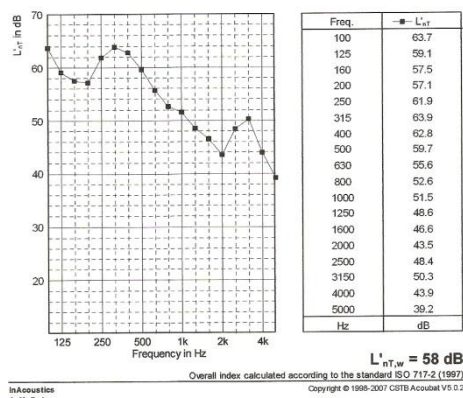


Figura 8 – Isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$ entre pisos.

Figura 8R Isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$ entre pisos.

espessura; pavimento final definido pela Arquitectura. O cálculo do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre pisos é apresentado na fig. 5: $D_{nT,W} = 53$ dB.¹⁴² (Inacoustics:2008)

Na fig 6 e 7 apresenta-se o **Isolamento Sonoro a sons de percussão (propagação horizontal)**, $L'_{nT,W}$, entre duas salas do mesmo piso $L'_{nT,W} = 60$ Db e entre o espaço de atendimento e a sala de leitura de manuais com $L'_{nT,W} = 33$ dB. **O isolamento sonoro a sons de percussão (propagação vertical)**, $L'_{nT,W}$, entre pisos é $L'_{nT,W} = 58$ Db (figura 8).¹⁴³ (Inacoustics:2008)

Os dados apresentados anteriormente foram calculados através de um software.

Para o **Condicionamento Acústico** o relatório preconiza que sejam aplicados tectos de materiais com características de absorção sonora do tipo *STO Superfine* ou similar. Contudo salienta-se a atenção dada ao ambiente acústico no interior da Sala de Leitura de Manuais, devido à sua grande volumetria, 2784 m^2 , com um tempo de reverberação inferior a 2,1 segundos e por requerer uma maior sensibilidade no conforto acústico numa biblioteca (figuras 9 e 10).¹⁴⁴ (Inacoustics:2008)

É de salientar que os **níveis de ruído no interior dos espaços** são causados fundamentalmente pelo sistema AVAC, sendo possível verificar que os atenuadores sonoros que constam no projecto de Instalações mecânicas e os níveis de potência sonora seleccionados permitem o cumprimento do critério definido, com a utilização de uma grelha de extracção que permita nesse terminal, uma velocidade de escoamento inferior a 1 m/s. De forma a minimizar o ruído proveniente do espaço técnico utiliza-se nos revestimentos das suas paredes e tecto celulose projectada tipo K13 da STIER ou similar; apoios anti-vibratórios de mola ou composto cortiça-borracha, do tipo CDM ou CROXON e suportes em maciço em betão armado com 120 mm nos equipamentos mecânicos, hidráulicos e eléctricos. Quanto aos **níveis de ruído para o exterior**, são utilizados equipamentos mecânicos, nomeadamente o sistema AVAC, com uma potência sonora não superior a 75 Db, bem como a escolha apropriada para a sua localização (ver tabela 9 – resultado do cálculo do ruído AVAC na Sala de Leitura de Manuais) (figura 9).¹⁴⁵ (Inacoustics:2008)

No capítulo 6 são descritas as diferentes soluções construtivas adoptadas para os vários espaços, assim como as condições técnicas da sua aplicação. Na generalidade os espaços, com a possível excepção dos pisos técnicos terão dispositivos de isolamento anti-vibrático, para o isolamento a sons de percussão, nos pavimentos, pela aplicação de tela resiliente com 1 cm de espessura, do tipo polietileno expandido ou similar, sobre a laje de pavimento, e ainda sobre esta a aplicação de uma betonilha armada com 10 cm de espessura. Sobre a betonilha, o critério fica a cargo do arquitecto.¹⁴⁶ (Inacoustics:2008)

¹⁴² *Ibidem*, p.17-20.

¹⁴³ *Ibidem*, p.20-22.

¹⁴⁴ *Ibidem*, p.22.

¹⁴⁵ *Ibidem*, p.24.

¹⁴⁶ *Ibidem*, p.26.

No piso -3, onde se situa a casa das caldeiras, é referido que as paredes e tecto deve ter um revestimento tipo K13 da STIER ou similar no mínimo com 50 mm de espessura e deverão ser aplicados apoios anti-vibráticos nos queimadores das caldeiras.¹⁴⁷ (Inacoustics:2008)

No piso -2, onde existem os serviços de apoio técnico, o relatório sugere a aplicação de um tecto falso do tipo *StoSilent acoustic Panel* ou similar, e um espaço técnico que terá a aplicação de um revestimento das paredes e tecto do tipo K13 da STIER ou similar com 50 mm de espessura mínima e será aplicado um maciço anti-vibrático sob os equipamentos mecânicos instalados.¹⁴⁸ (Inacoustics:2008)

No piso -1, onde se localiza a sala de leitura de manuais, o relatório preconiza que seja aplicado um tecto falso tipo *StoSilent acoustic Panel* ou similar numa área igual ou superior a 370 m², bem como sejam utilizadas portas de acesso à zona de atendimento com índice de isolamento igual ou superior (R_w) a 40 Db. Ainda no mesmo piso situam-se: o espaço de atendimento/recepção; as salas de trabalho de grupo; o gabinete de bibliotecário; a sala de audiovisuais e sala de reservados. No espaço de atendimento/recepção, o relatório sugere que seja aplicado um tecto falso do tipo *StoSilent acoustic Panel* ou similar numa área igual ou superior a 50% da área útil total do tecto. O relatório refere a aplicação do mesmo tipo de tecto nos espaços referidos anteriormente, bem como a aplicação de portas com índice de isolamento superior a 35 dB.¹⁴⁹ (Inacoustics:2008)

No piso 0, situam-se os seguintes espaços: a sala de leitura de manuais (piso de superior), a sala de reuniões, a sala de utilizadores de informática, gabinete de informática, centro de informática e átrio/recepção. Nos espaços anteriores, no referido relatório sugere a aplicação do tecto falso do tipo *StoSilent acoustic Panel* e portas com índice de isolamento superior a 35 dB (à excepção do átrio).¹⁵⁰ (Inacoustics:2008)

Para o piso 1 que contém o espaço de leitura de periódicos, o relatório refere a aplicação do tecto falso e as portas que vimos anteriormente.¹⁵¹ (Inacoustics:2008)

Finalmente no piso técnico, o relatório da Inacoustics propõe um revestimento das paredes e tecto do tipo K13 da STIER ou similar com 50 mm de espessura; a aplicação de um maciço vibrático sob os equipamentos mecânicos aí instalados; bem como a implantação de atenuadores sonoros com atenuação mínima de 12 Db aos 125 Hz, em todas as entradas e saídas de ar dos compartimentos onde se localizem equipamentos mecânicos, hidráulicos ou eléctricos e aplicação de portas de acesso com índice de redução sonora superior a 40 Db.¹⁵² (Inacoustics:2008)

¹⁴⁷ *Idem.*

¹⁴⁸ *Idem.*

¹⁴⁹ *Idem.*

¹⁵⁰ *Ibidem*, p.27.

¹⁵¹ *Ibidem* p.28.

¹⁵² *Idem.*

No capítulo 7 são especificadas as condições técnicas de execução das diferentes soluções adoptadas, que sendo específicas da especialidade de Acústica, não deixa de estar presente nas restantes especialidades, inclusive as soluções foram quantificadas nos mapas de quantidades de Arquitectura e nas restantes especialidades. Os materiais utilizados, segundo consta no referido relatório, deverão conter relatórios e certificados das suas propriedades acústicas.



Figura 96. Planta de implantação do Museu de Serralves.



Figura 97. Marcação da entrada do Museu.



Figura 98. O volume fragmentado do auditório.



Figura 99. Recorte da paisagem pelo auditório.



Figura 100. Cobertura do auditório em zinco.

IV.2 O AUDITÓRIO DO MUSEU DE ARTE CONTEMPORÂNEA DE SERRALVES

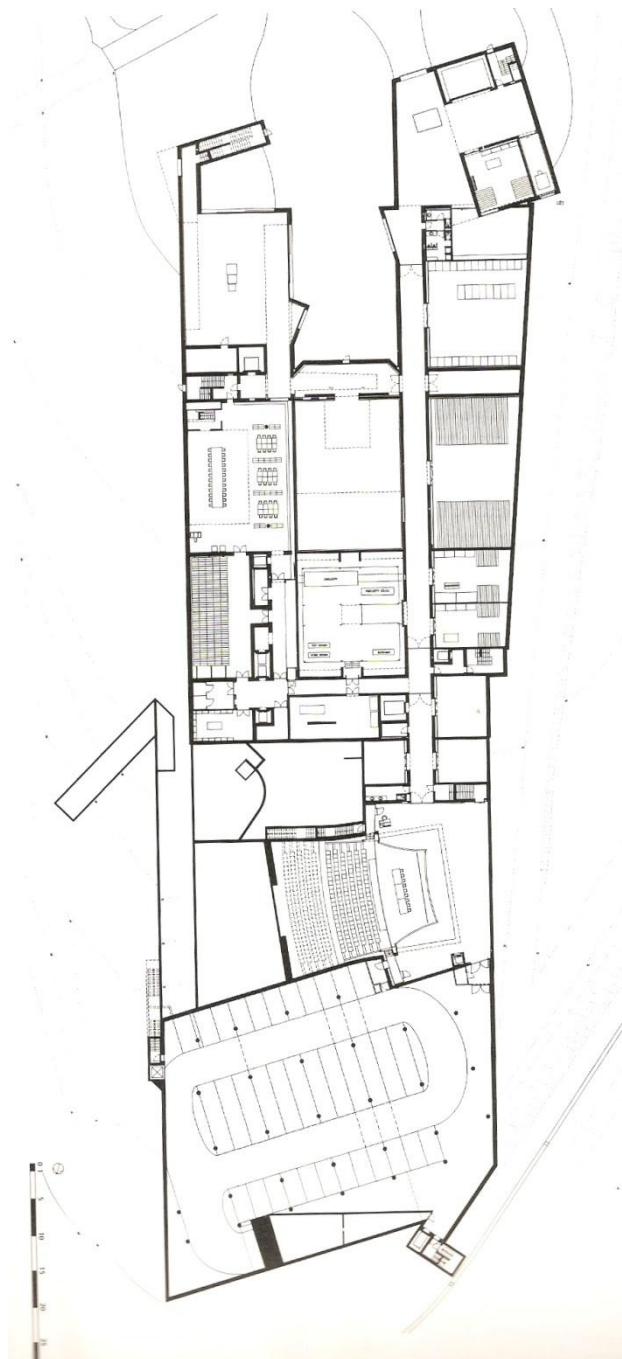


Figura 101. Planta do piso -1 do Museu de Serralves.

Enquadramento – o Museu

O Museu de Arte Contemporânea de Serralves insere-se num jardim consolidado, que é constituído pelo jardim clássico, jardim romântico e uma zona agrícola.

A sua implantação (figura 96) representa e interpreta a sua envolvente, com a delicadeza de cada momento do percurso proporcionar diferentes sensações, que convidam quer reflexão e introspecção quer socialização e movimento.

Álvaro Siza Vieira reflecte que a própria forma desenvolvida em U (aberto do lado sul), faz com que o jardim esteja presente no interior do museu, entrando dentro do museu e do seu ambiente (figura 101).¹⁵³ (Siza Vieira:2005)

Entramos por um percurso (figura 97) que no seu desenvolvimento estabelece a comunicação entre os espaços. À medida que vamos avançando, e ainda no exterior, o jogo de volumes faz-se sentir: numa primeira fase exteriormente com a presença do volume fragmentado do auditório (figura 98) e num segundo momento com a sucessão de espaços internos. Paralelamente vão-se definindo espaços que se organizam em torno de um pátio interior, onde é derramada a luz zenital.

O museu estabelece um diálogo com a envolvente e com as obras de arte, como Raquel Silva refere: *“O museu nasceu conformado no lugar, sensibilizado por ele, no sentido preciso com que a luz sensibiliza uma película fotográfica”*.¹⁵⁴ (Henriques da Silva:2001)

O auditório – a solução entre o conflito do visual com o auditivo

O auditório do museu de Serralves possui 280 lugares sentados. Foi inaugurado em Janeiro de 2008 e destina-se fundamentalmente a conferências, projecções, teatro, concertos de jazz, dança e música clássica.

O acesso público ao auditório pode ser feito quer pelo exterior, quer pelo interior do museu, sendo o último o mais frequentemente utilizado.

O volume é depurado, definido por paredes cegas, que estão semienterradas, e uma cobertura em zinco com entradas de luz zenital, que estabelece um recorte interessante na paisagem, definido pelas suas arestas (figuras 99 e 100).

A forma do auditório é determinada pela simetria das paredes laterais que desenham uma ligeira curvatura, bem como o limite da zona da régie, também ele curvo. A caixa do palco é assimétrica, contendo uma concha acústica (desmontável) com limites em curva mais acentuados, apresentando as superfícies convexas para o interior do palco (figura 102).

¹⁵³ ÁLVARO SIZA EXPOR – MUSEUS E ESPAÇOS EXPOSITIVOS – DVD, Museu de Arte Contemporânea de Serralves, edição Público, Produtor Video – Sinalvideo, registo IGAC nº7078/2005 – CE. M6, duração 129 min;

¹⁵⁴ BARATA, Paulo Martins; HENRIQUES DA SILVA, Raquel; PINTO DE ALMEIDA, Bernardo, *Museu de Serralves =Serralves Museum: Álvaro Siza*, fot. De Rui Morais de Sousa, 1ªed., Lisboa: White & Blue, 2001, Bilingue;



Figura 102. Planta do auditório com concha acústica.

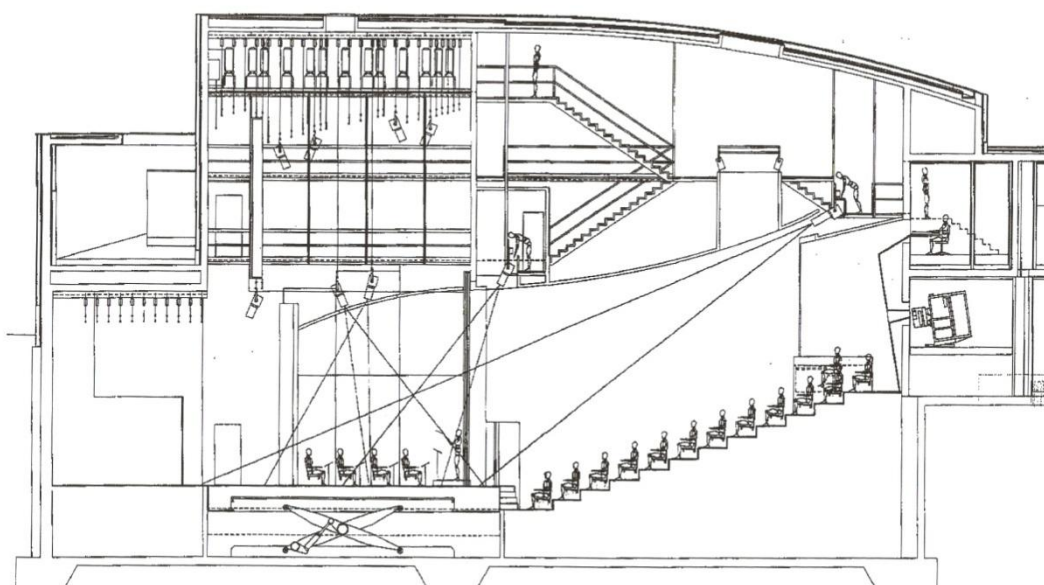


Figura 103. Corte do auditório com concha acústica.

O tecto é desenhado com extrema atenção, possuidor de vários vãos, permitindo a ocultação de quaisquer equipamentos de luz (uma está sob o limite do palco, a outra encontra-se no limite da régie). A definição do desenho do tecto em perfil permite uma ligação contínua com a concha acústica (figura 104). Também a parede que define o palco apresenta uma curvatura (figura 105). Existem duas entradas de luz natural (figuras 106 e 107), que podem ser ajustadas para permitirem a opção de luz artificial.

Este espaço é caracterizado acusticamente pelo seu curto tempo de reverberação, clareza e inteligibilidade.

Segundo o engenheiro de som Nuno Aragão, que trabalha desde a inauguração do auditório, o lambrim em madeira com um revestimento a tinta, permite reflectir o som e todo o resto da parede tem um carácter absorvente por ser mais porosa.¹⁵⁵ (visita à obra: 21 Maio 09)

O tipo de música que actualmente esta sala alberga foi ampliado para a música electrónica e electroacústica, segundo a responsável pela programação do auditório de Serralves: Cristina Guerra, sendo então necessários mais meios técnicos do que os que estavam previstos.

Arquitectura visível e acústica invisível¹⁵⁶

Ao entrar neste espaço os detalhes da acústica não visíveis, dado que a solução construtiva utilizada no tratamento do som consiste numa intervenção sem o aparato que por vezes é necessário, modificador da organização do espaço e perturbador no sentido visual.

Na opinião dos responsáveis da especialidade acústica *"Frequentemente os arquitectos reagem negativamente ao aparecimento de materiais absorventes, por entrarem em contradição com a arquitectura e limitarem a sua liberdade de criação."* Neste caso específico há uma incompatibilidade com estes meios acústicos e a arquitectura de Álvaro Siza.¹⁵⁷ (Commins, Conde dos Santos: 1998, 1999)

Desta forma foi utilizada uma técnica para a concepção do auditório de Serralves, que permite criar as condições acústicas necessárias onde a absorção e os materiais reflectores e outros equipamentos não são visíveis.

Para Luís Conde dos Santos *"(...) a solução escolhida propõe que os detalhes destinados à acústica não sejam visíveis, o que se deve por um lado à forma da sala e por*

¹⁵⁵ Visita realizada ao auditório no dia 21 de Maio, durante a preparação da peça *Boots & Breath* de António Júlio, acompanhada do engenheiro de som Nuno Aragão.

¹⁵⁶ COMMINS, Daniel; CONDE DOS SANTOS, Luís, *Arquitectura visível e acústica invisível - Visible architecture and invisible acoustics: a new technology for auditorium design*, texto de Daniel Commins (Commins Acoustics workshop), Luís Santos Conde (Absorber), gentilmente cedido pelo engenheiro acústico Daniel Commins, 1998-99;

¹⁵⁷ *Idem.*



Figura 104. Concha acústica desmontável.



Figura 105. Curvatura do limite do palco.



Figura 106. Tecto absorvente com inclinação.



Figura 107. Entrada de luz regulável.

*outro à utilização de um novo material que tanto pode permitir a absorção e a difusão.”*¹⁵⁸
(Conde dos Santos:1998)

Neste sentido procedeu-se à utilização de materiais alternativos e ecológicos, que proporcionam um acabamento suave. Desenvolveu-se um novo material pela empresa Wilhelmi em parceria com o engenheiro Daniel Commins, denominado “Álvaro”.

Os responsáveis pelos painéis “Álvaro” afirmam que foram combinados com outro tipo de materiais: gesso, painéis em madeira, painéis de fibra reforçados e o mesmo tratamento aplicado na superfície, estando a vantagem no acabamento proporcionado, que permite uma superfície contínua e macia (figuras 108 e 109).

O desenho acústico acaba por não ter uma presença muito forte no espaço, cumprindo a sua função primordial: proporcionar uma boa audição.

As características técnicas de “Alvaro” (tradução de acordo com a Wilhelmi)¹⁵⁹

O material Álvaro é de baixa densidade, com três camadas de aglomerados de madeira (cerca de 420 Kg/m²), fabricado do spund e pinho, 100% fresco de madeira limpa de árvore cortada transversalmente oriunda, de sustentáveis florestas.

A colagem da madeira da camada média é obtida com formaldeído – livre e resina de poliuretano. Os painéis são revestidos dos dois lados com um tecido acústico feito de vidro (visco plástico aderente com baixo-formaldeído malamine resina (MF).

O material, na sua forma standard, resiste 70% à humidade e com um tratamento especial até 90%.

O produto é toxicologicamente e ecologicamente inofensivo. Não surgem fibras respiráveis no fabrico, transformação e uso do produto. No que diz respeito à emissão de formaldeído, a concentração é menor do que 0,05 PPM e portanto o produto é classificado como baixo-formaldeído de acordo com os critérios do Environmental Label (RAL ZU 38).

A eliminação dos desperdícios de material não exerce prejudiciais impurezas, de acordo com as especificações da Closed Substance Cycle Waste Management Act.

Os painéis “Alvaro” são fabricados com dimensões de 1710x615x17mm, e serão normalmente instalados como um tecto suspenso a partir da estrutura principal, que é então suspenso a partir da laje. Também pode ser instalado a partir de paredes montadas. Em qualquer caso, a instalação exige pessoal instruído e realizada por empresas acreditadas pela Wilhelmi.

¹⁵⁸ SANTOS, Luís Conde et al., *Acústica* 98, 14-16 september 1998, p.399-401, in *Arquitectura visível e acústica invisível - Visible architecture and invisible acoustics: a new technology for auditorium design*;

¹⁵⁹ COMMINS, Daniel; SANTOS, Luís Conde, *The Serralves Auditorium and Museum in Porto With concealed Alvaro acoustics*, Proceedings of the Institute of Acoustics, 2002;



Figura 108. Interior do auditório de Serralves.

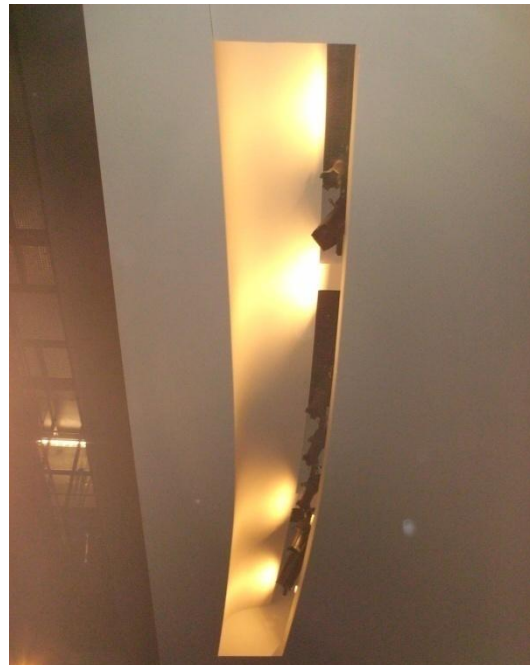


Figura 109. Vão onde estão ocultos os equipamentos da luz.

Os painéis devem ser cuidadosamente transportados e manuseados, evitando impactos e usando luvas e deverá estar protegido contra a humidade.

No tratamento utilizam-se as ferramentas adequadas ao trabalho em madeira. Para o armazenamento, o material deverá estar protegido contra a humidade, pó, carregamento mecânico, luz do sol directa e uma distância necessária deverá ser mantida a partir das fontes do calor (ex. radiadores). Duas das arestas dos painéis saem da fábrica com ranhuras e as outras duas com linguetas que encaixacoladas na montagem com a ajuda de uma ferramenta específica e uma cola especial.

Após a sua preparação no local os painéis são finalizados e pintados pela projecção de um gesso especial acústico Wilhelmi Alvaro. Esta é uma dispersão ligada á base de água, com componentes de alto-mineral. Por omissão é branco, como RAL 9010, mas podem ser fonecidas noutras cores RAL, obtidas com pigmentos, livre ou metais pesados. A sua granulometria compreendida entre 0,5 e 0,7 mm. O acabamento da superfície é muito semelhante ao gesso quando pintado com uma tinta ligeiramente rugosa.

A manutenção e reparação do material são efectuadas pela limpeza e repintura com a mesma tinta acústica. Isto não modifica as propriedades do som do material. Devido à dilatação natural do material, a expansão das juntas é necessária cada $100m^2$, bem como um défice de 20mm para as paredes que estão em todo o perímetro do tecto

Absorção

O coeficiente de absorção tem sido medido em câmaras experimentais e em laboratórios oficiais: α_s média 0,63; α_s at 1000Hz 0,55; α_w 0,65, class C.

O sistema beneficia de uma combinação de mecanismos de absorção: a absorção das médias e altas frequências da sua superfície é completada pelo efeito da placa.

A absorção é certamente ligeiramente dependente das condições de montagem, nomeadamente no fosso de ar entre o painel e a partição rígida (lage ou parede).

V. CONCLUSÕES

O aparelho auditivo é dotado de uma certa complexidade, sendo um dos responsáveis pela apreensão dos fenómenos sonoros e constituindo um sentido orientador do indivíduo num determinado espaço. O som produz estímulos no sistema nervoso, influenciado assim o seu estado comportamental.

No processo de apreensão dos sinais sonoros o homem desenvolve a sua capacidade de selecção da realidade sonora e de apropriação do espaço.¹⁶⁰

Num campo mais básico a mensagem sonora pode alertar-nos do perigo, comunicar agitação, noutro de maior complexidade de informação como a música, pode constituir um motivo de desconstracção ou transmitir uma sensação de conforto. Tudo depende da forma como é comunicada, da sua fonte, canal de transmissão e elemento receptor, seu conteúdo e directividade. Por exemplo sabe-se que um som agudo é mais directivo e absorvido pelo ar do que um som grave.

O *ataque* das notas ao tocar um instrumento musical é muito importante numa performance, no sentido em que se deve transmitir alguma dinâmica na informação. Contudo o nosso organismo reage a estímulos, que por vezes são reactivos negativamente como o som do tráfego, que mascara a sonoridade dos ramos de uma árvore sob a acção do vento ou da chuva, o canto dos pássaros, o som das crianças a brincar e a nossa voz.

A carga sonora a que estamos expostos nas nossas cidades está a constituir um grave problema dada a agressão e degradação do ambiente que nos rodeia. Torna-se urgente tomar uma atitude face a este facto, cabendo à arquitectura um importante papel na organização dos espaços e sendo necessário tomar medidas, nomeadamente através de legislação. Observa-se algumas intervenções em que é necessário reabilitar acusticamente os espaços, utilizando meios electroacústicos para controlar o fluxo de informação.

A intervenção deve partir do urbanista, na definição de traçados alinhamentos, e localizações das funções, do paisagista que propõe as zonas verdes, do arquitecto que define os espaços, acabamentos, superfícies, do engenheiro/consultor/especialista em acústica, que devem trabalhar em uníssono desde o momento de concepção.

O caso estudo foi o projecto acústico de adaptação para Biblioteca de um edifício antigo, que pertencia às antigas instalações da Faculdade de Farmácia da Universidade de Coimbra, albergando actualmente os seus serviços administrativos. As obras deste novo projecto, da autoria dos arquitectos Álvaro Siza e António Madureira, ainda não foram realizadas.

O dito relatório do projecto acústico foi gentilmente cedido pelo professor António Madureira, em Novembro de 2008, para esta dissertação. Procedeu-se a um resumo, resultado

¹⁶⁰ in P. Martins da Silva,

<http://zircon.dcsa.fct.unl.pt/dspace/bitstream/123456789/149/1/7-5.PDF>, [visita a 28/04/09].

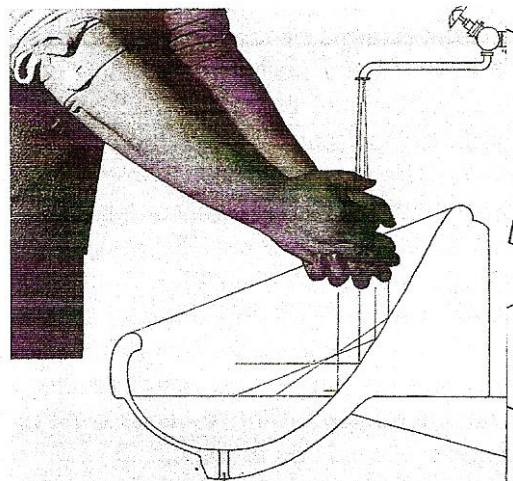


Figura 110. Lavatório do Sanatório de Paimio
desenhado por Alvar Aalto.

de uma selecção de informação através de um esforço de familiarização com a terminologia, procurando evitar a reprodução de um volume de 40 páginas.

A visita ao local foi realizada após o estudo do relatório, tendo sido constatado que o estudo acústico foi desenvolvido através da simbiose entre a equipa de engenheiros acústicos – Inacoustics – a arquitectura e outras especialidades. A determinação de critérios acústicos como o tempo de reverberação; o cálculo dos níveis sonoros admissíveis; os requisitos de isolamento sonoro a sons de percussão, permitiram, através de uma metodologia própria, o dimensionamento dos espaços e a definição dos sistemas construtivos a utilizar, bem como condições técnicas particulares, constituindo assim a acústica uma componente fundamental em projecto no dimensionamento, isolamento e acondicionamento dos espaços da biblioteca.

Sendo o principal objectivo de uma biblioteca tornar a cultura acessível às pessoas, torna-se fundamental a criação de um ambiente propício à introspecção, reflexão e bem-estar do indivíduo, que garanta o conforto acústico necessário. Assim o papel do engenheiro, especialista ou consultor acústico é necessário para a complementaridade entre a acústica e a arquitectura, que no caso da biblioteca é demonstrativo de tal diálogo.

Uma biblioteca possui espaços de “negação” do som, o que implica ainda mais responsabilidade na concepção dos seus espaços através da organização do som, pois o que importa neste caso é modelar o som e o silêncio, numa tentativa de afinação do espaço, como resposta às exigências humanas e funcionais, pois alguma música será tocada por este edifício. Citando John Cage *“La lluvia. Queremos capturar y controlar estos sonidos, y usarlos no como efectos sonoros sino como instrumentos musicales.”*¹⁶¹ (Cage:1999), ou seja se nos espaços estudados anteriormente o som era o protagonista, no caso da biblioteca é importante organizá-lo, como refere Cage, de forma positiva como tema de projecto.

O lavatório do Sanatorium Paimio de Alvar Aalto, foi desenhado que receber a água que cai da torneira de uma forma silenciosa. Assim também os espaços podem ser concebidos para receberem o som, filtrando-o, acentuando algumas frequências, ao contrário da postura de isolamento, redução e absorção. Se para Renzo Piano a *Arca do Prometeo “(...) é um instrumento. Como todos os instrumentos, pode-se afinar.”*¹⁶² (Soriano:2008), para nós a biblioteca pode possuir o seu som fundamental, timbre ou tonalidade que definem o seu carácter através de uma *poética acústica*.

A leitura do livro de carácter aparentemente mais científico, foi objecto de uma selecção de informação que não seguiu a forma convencional, tendo sido feita através de uma espécie de consulta de casos de estudo, não respeitando a sequência do livro. Esta obra do consultor Leo Beranek, autoridade reconhecida no campo da acústica ao nível mundial, foi por mim descoberta quando, na consulta de uma prova final apresentada à FAUP, observei que a

¹⁶¹ in John Cage, *Escritos al oído*, Valencia: COAAT, 1999 (tr. Carmen Prado), p.51.

¹⁶² in Susana Moreno Soriano, *op. cit.*, p.136.

autora agradecia a José Prata, director da Escola Superior de Artes do Espectáculo do Porto, a gentileza de lhe ter cedido esta obra tida como uma espécie de “Bíblia” da acústica.

Constituída fundamentalmente por cinco capítulos, esta obra abrange um prefácio muito interessante onde se questiona a qualidade acústica do violino Stradivarius e a necessidade de seguir um modelo aproximado ao modelo de sucesso da “caixa-de-sapatos”. A primeira parte incide na recolha por opiniões de acústicos, músicos e condutores de orquestra que reflectem sobre a qualidade acústica das salas, bem como as diferentes acústicas relacionadas com os diferentes períodos musicais, um desafio que constituía para o compositor compor e adaptar a sua obra a um determinado espaço, desde a igreja às salas para música.

O segundo capítulo abrange definições comuns procurando uma linguagem comum para músicos e acústicos, que vai ser fundamental para a consulta do terceiro capítulo, que reúne uma colectânea das 100 salas seleccionadas por Beranek como possuidoras da melhor acústica. Já no quarto capítulo podemos acompanhar o percurso do físico Wallace Clement Sabine até à descoberta da sua fórmula do tempo de reverberação. As suas experiências tiveram início nas salas de aula da Universidade de Harvard, onde leccionava, tendo sido convidado para intervir no Boston Symphony Hall, baseando-se no Gewandhaus em Leipzig, pois esta era dotada de uma acústica superior na opinião de músicos, maestros e compositores e auditores. No entanto, para além do tempo de reverberação é necessário atender a parâmetros subjectivos e objectivos, bem como uma série de atributos como a forma, o volume e os materiais, sendo no caso da volumetria a caixa-de-sapatos, considerada um modelo seguro, e curiosamente o factor sorte. No quinto capítulo refere-se à acústica dos teatros para ópera, desde o seu nascimento até à organização do espaço como o fosso de orquestra, balcões e camarotes.

O final do livro consta de três apêndices: o primeiro refere-se à terminologia, definições e factores de conversão; no segundo dados para salas de concerto e teatros de ópera e por último o apêndice três contém equações para parâmetros acústicos.

A estruturação do conhecimento incidiu na procura dos instrumentos de arquitectura como as formas que fossem representativas acusticamente no amplo universo de obras existentes, bem como a procura de um vocabulário comum a arquitectos, acústicos e músicos.

Neste trabalho constatou-se que as soluções para o projecto acústico não são lineares, evitando os exercícios de isolamento negativos que devem constituir atitudes positivas através da ligação entre arte e ciência. No caso específico do projecto acústico de salas para música, constatou-se que não existe um modelo ideal, pois quer as formas rectangulares, em ferradura, em leque e assimétricas constituem exemplos bem concretizados.

Para P. Martins da Silva (colaborador do LNEC) o projecto acústico exige que haja uma discussão desde as primeiras fases sobre o tipo de uso do edifício, a sua implantação, a sua forma. No caso de uma sala para música, o número de lugares é fundamental, pois condiciona o dimensionamento do espaço, a densidade e fixação da assistência, sendo a interacção e

absorção sonora criadas pelas pessoas, deve ser tido em conta o espaçamento, pois quanto mais espalhadas estiverem, ocorre maior absorção.

Murray Schafer refere que da mesma forma que Le Corbusier construiu o modulator e imprimiu-o em todos os edifícios, constituindo a anatomia humana uma base para os arquitectos, os módulos básicos para a afinação de um ambiente acústico são o ouvido e a voz e respectiva tolerância. Assim, de acordo com Schafer a produção de ambientes inumanos refere-se aos sons ambientais que alcançam proporções que esmagam os sons da voz humana, prejudicando e debilitando fisicamente o indivíduo. No entanto cabe ao arquitecto organizar um espaço pensando e adaptando-o à medida do ouvido e da voz sendo necessário perceber o sistema auditivo.¹⁶³ (Schafer:1977)

Sendo uma criatura antróptica, o homem procura organizar ou padronizar todas as coisas. O homem como organizador do acaso em ordem, aprecia o ritmo. Assim o arquitecto como organizador do espaço procura compreender de que forma é que o ambiente acústico se adapta, necessitando da escala ou módulo.¹⁶⁴ (Schafer:1977)

O papel da organização do espaço na mente do compositor foi ganhando dimensão, existindo obras em que compositores e arquitectos e acústicos trabalham em uníssono.

Renzo Piano numa entrevista no âmbito da sua obra *“Prometeo”* refere que a *“interdisciplinaridade não consiste em fazer intervir os especialistas uns atrás de outros em cascata. A interdisciplinaridade não é possível se quem trabalha em compartimentos estanques (...). A arquitectura desempenha uma função de intermediário entre muitas pessoas que trabalham em conjunto. Para recuperar a unidade perdida, para fazer arquitectura hoje é necessário saber vê-la, saber ouvi-la e saber trabalhar em equipa.”*¹⁶⁵ (Soriano:2008)

No seguimento da conversa com o arquitecto António Madureira, surgiu a hipótese de estudar um caso que permitisse o contacto com o local. A possibilidade de estudar o auditório do Museu de Serralves do arquitecto Álvaro Siza tornou-se pertinente, pois representa uma solução inovadora, no sentido em que o desenho da sua acústica é inerente à sua arquitectura, tendo sido aplicada uma nova tecnologia no desenho do auditório, através de um material desenvolvido exclusivamente para esta obra por uma empresa alemã -Wilhelmi, denominado Álvaro.

O que acontece frequentemente é que as soluções acústicas entram em contradição com a arquitectura ou limitam no momento de concepção. Neste sentido a empresa portuguesa AbsorSor em colaboração com o engenheiro Daniel Commins e a empresa alemã, propuseram uma solução construtiva onde os detalhes da acústica estão intrínsecos na própria arquitectura, sem serem distinguidos.

No entanto não se pretende com este caso eliminar a hipótese de que o som pode definir um espaço, pois inevitavelmente a implantação, a proporção, a forma, o volume e até

¹⁶³ in R. Murray Schafer, *op. cit.*, p.289.

¹⁶⁴ *Ibidem*, p.315.

¹⁶⁵ in Susana Moreno Soriano, *op. cit.*, p.113.

mesmo o programa podem ser factores relacionados directamente com as limitações relativas ao som.

Quando contactei com o engenheiro/consultor acústico Oliveira de Carvalho (responsável pelo Laboratório de Acústica da FEUP), questionei-o sobre a possibilidade de conceber uma sala sem recorrer à complexidade do equipamento acústico, que muitas vezes é perturbador, quer visualmente quer funcionalmente.

Na opinião de Oliveira de Carvalho, o indivíduo quando vai ver um espectáculo sonoro, quer usufruir fundamentalmente da sua acústica. Assim, nos espaços para o som, a acústica deve ter um tratamento especial.

Existem espaços em que a acústica pode ser regulável, inclusivamente por computador, como acontece no teatro Helena Sá e Costa (pertencente ao ESMAE – Escola Superior das Artes e do Espectáculo) reabilitado pelo arquitecto Filipe Oliveira Dias, com a acústica da responsabilidade de Oliveira de Carvalho.

Desta forma procurei um exemplo que melhor pudesse demonstrar como o som pode ser um factor que permita a liberdade e a criatividade do arquitecto. Assim o auditório do Museu de Serralves apresenta-se como um exemplo em que pode ser possível uma simbiose entre arquitectura e acústica.

Como vimos anteriormente a apropriação do espaço pelo indivíduo relaciona-se com o processo sensorial. Neste sentido a dimensão do som deve ser sentida ao nível auditivo, podemos dizer até que é invisível.

Existem edifícios em que a preocupação com a integração da arquitectura na paisagem manifesta a preocupação com o som. O movimento das Paisagens Sonoras torna-se importante no sentido em é necessário que a paisagem sonora entre dentro do edifício, criando estímulos no indivíduo.

No desenvolvimento deste trabalho há uma referência ao projecto educativo “Aldeias Sonoras”, desenvolvido pela Binaural no concelho de São Pedro do Sul.

O meu contacto com este projecto foi importante no meu processo de trabalho, permitindo desenvolver o ouvido.

Para Luís Costa, o responsável pelo projecto, o objectivo de captar os sons não é somente documentá-los, mas utilizá-los para a criação. A pesquisa consiste em gravar os sons até ao seu detalhe, o que torna este projecto pioneiro em Portugal. Podemos visualizar no seu site os mapas sonoros bem como as instalações do SoundArt.

Outros espaços há também já estudados em que se valoriza o não-som como é o caso da biblioteca. Neste sentido a importância recai no estudo do isolamento dos invólucros do edifício, mas mesmo nestes espaços o som tem um tratamento especial.

Finalmente o auditório do museu de Serralves revelou que as duas linhas paralelas da acústica e da arquitectura são coincidentes e ainda que, um arquitecto pode contribuir para a inovação tecnológica e até para o desenvolvimento de novos produtos industriais, como se prova no caso do painel “Álvaro” produzido na Alemanha.

VI. REFERÊNCIAS

livros

BARATA, Paulo Martins; HENRIQUES DA SILVA, Raquel; PINTO DE ALMEIDA, Bernardo, *Museu de Serralves =Serralves Museum: Álvaro Siza*, fot. De Rui Morais de Sousa, 1ªed., Lisboa: White & Blue, 2001, Bilingue;

BERANEK, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, (edição original: *Music, Acoustic and Architecture*, New York/London John Wiley and Sons, Inc, 1962);

BOULET, Marie-Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac);

BRETON, Gaelle, *Theatres*, (trad. Murray Wyllie), Paris: Moniteur, 1989;

CAGE, John, *Escritos al oído*; Valencia: COAAT, 1999 (tr. Carmen Prado);

DOMENECH, Francesc de Paula Daumal, *Arquitectura acústica, Poética y diseño*; Barcelona: UPC, 2002;

ESPOSITO, Antonio, *Fernando Távora: opera completa*, (trad. Gabriele Davini), Milão: Electa, 2005;

FERRAZ, Marcelo Carvalho e BO BARDI, Lina; *Casa de Vidro*, Editorial Blau Lda, Lisboa, 1999;

FUNDAÇÃO DE SERRALVES, Museu de Arte Contemporânea, *Álvaro Siza: Expor = on display*, Porto, Fundação de Serralves, 2005;

MARTINS DA SILVA, P., *Acústica de Edifícios*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1978;

MATEUS, Diogo M. R. e TADEU, António J. B., *Comportamento Acústico de Edifícios*, Laboratório de Construções – Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 1999;

NORRI, Maria Riitta, *Alvar Aalto em sete edifícios = Alvar Aalto in seven Buildings, interpretações do trabalho de um arquitecto=interpretations of na architect's work*, Helsínquia, Museu de Arte Finlandesa, 1999, Bilingue, catálogo de uma exposição;

PFEIFFER, Bruce Brooks; *Frank Lloyd Wright Drawings*, New York: Harry N. Abrams, 1996;

RASMUSSEN, Steen Eiler, *"Hearing architetur" in Experiencing Architecture*, Cambridge, The Massachusetts institute of Technology, 1962, pp. 224-237 (1ª ed. S.I., First United States edition, 1959);

RASMUSSEN, Steen Eiler, *"Ouvir a arquitectura" em Viver a arquitectura*, Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2007, (título original: *Experiencing architecture*, ed. 1959);

SCHAFER, R. Murray, *O Ouvido Pensante*, São Paulo: Editora Unesp, 1991;

SCHAFER, R. Murray, *A afinação do mundo – Uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora*, Unesp, 1997, (tr. Marisa Trench Fonterrada);

SCHUZ – DORNBURG, Júlia, *"Som", Arte e Arquitectura: novas afinidades*, Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA, 2002;

SORIANO, Susana Moreno; *Arquitectura y Música en el siglo XX*, Barcelona: Fundação Caja de Arquitectos, 2008; (Arquia- tesis);

Treib, Marc, *Space calculated in seconds : the Philips Pavilion, Le Corbusier, Edgar Varèse*, New Jersey : Princeton University Press, 1996;

Periódicos

ARAU, Higini, "La inmaterialidad creativa del sonido", *Tectónica: acústica*, 14: p.2;

DÍEZ, José Maria Marzo et ROSELLÓ, Graciela, "Introducción a la acústica arquitectónica", *Tectónica: acústica*, 14: pp. 4 – 27;

DOMENECH, Francesc Daumal, "La arquitectura del sonido", *Tectónica: acústica*, 14, pp.28 – 39;

Provas finais

CUNHA, Julieta de Lurdes Guerreiro e; O SOM E A ARQUITECTURA: construção de uma paisagem sonora/ docente acompanhante professor Manuel Graça Dias, ano lectivo 2003/2004, P.F. 359;

TOMAZ, Daniela Ribeiro Santos; ARQUITECTURA E ACÚSTICA: o espaço sinestético/ docente acompanhante professor Carlos Nuno Lacerda Lopes, ano lectivo 2004/2005, P.F.513;

Conferências

GARRIDO, J.M.; LLISTERRI, J.; de la MOTA; C-RÍOS, A. (1993) "*Prosodic differences in reading style: Isolated vs. Contextualized Sentences*", in Eurospeech'93. 3rd European conference of Speech Communication and Technology. Berlin, Germany, 21-23 September 1993. Vol.1. pp.573-576.

http://homepage.mac.com/joaquim_llisterri/phonetics/fon_prosod/suprasegmentales_acento.html

TRANSMISSION. *Urban experiments in sound-art and sonic space, in a practice-based research collaboration between composers, architects and acousticians*. Research application to the Swedish Research Council 2004;

Internet

ARAU, Igini, site oficial, <http://www.arauacustica.com/esp/proyectos.php>, [visita a 15/10/08];

SCHAFER, Murray, "Nunca vi un sonido", [trad. Grupo Paisaje Sonore, publicado originalmente em R. Murray Schafer, *Voices of Tyranny, Temples of Silence*, 1993]
<http://www.eumus.edu.uy/ps/txt/schafer.html>, [visita a 15/10/08];

Sociedade Portuguesa de Acústica,
<http://www.spacustica.pt/portuguese/texto/historia.html>, [visita a 15/10/08];

MARTINS DA SILVA, P.,
<http://zircon.dcsa.fct.unl.pt/dspace/bitstream/123456789/149/1/7-5.PDF>, [visita a 28/04/09];

http://photography.nationalgeographic.com/photography/enlarge/sibelius-parksculpture_pod_image.html, [visita a 28/04/09];

<http://www.bdonline.co.uk/story.asp?Storycode=3102774>, [visita a 28/04/09];

<http://www.ionone.com/archstartup.htm>, [visita a 28/04/09];

<http://www.ionone.com/arclecorbu.htm>, [visita a 28/04/09];

World Forum For Acoustic Ecology

<http://interact.uoregon.edu/MediaLit/wfae/home/>, [visita a 28/04/09];

http://www.vitruvius.com.br/drops/drops22_07.asp, [visita a 28/04/09];

Alvaro is a product of Wilhelmi AG in Lahnau, Germany - www.wilhelmi.de, [visita a 21/05/09]

Filmes

ÁLVARO SIZA EXPOR – MUSEUS E ESPAÇOS EXPOSITIVOS – DVD, Museu de Arte Contemporânea de Serralves, edição Público, Produtor Video – Sinalvideo, registo IGAC nº7078/2005 – CE. M6, duração 129 min;

Visita

Visita realizada ao auditório no dia 21 de Maio, durante a preparação da peça *Boots & Breath* de António Júlio, acompanhada do engenheiro de som Nuno Aragão.

Documentos

COMMINS, Daniel; CONDE DOS SANTOS, Luís, *Arquitectura visível e acústica invisível - Visible architecture and invisible acoustics: a new technology for auditorium design*; texto de Daniel Commins (Commins Acoustics workshop), Luís Santos Conde (Absorsor), gentilmente cedido pelo engenheiro acústico Daniel Commins, 1998-99;

COMMINS, Daniel; SANTOS, Luís Conde, *The Serralves Auditorium and Museum in Porto With concealed Alvaro acoustics*, Proceedings of the Institute of Acoustics, 2002;

SANTOS, Luís Conde et al., *Acústica 98*, 14-16 september 1998, p.399-401, in *Arquitectura visível e acústica invisível - Visible architecture and invisible acoustics: a new technology for auditorium design*;

Crédito de figuras

I. – OUVIR A ARQUITECTURA

Figura I.1 - RASMUSSEN, Steen Eiler; *“Ouvir a arquitectura” em Viver a arquitectura*, Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2007, p.188;

Figura I.2 - -----, Steen Eiler; *“Ouvir a arquitectura” em Viver a arquitectura*, Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2007, p.190;

Figura I.3 - -----, Steen Eiler; *“Ouvir a arquitectura” em Viver a arquitectura*, Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2007, p.189;

Figura I.4 - FERRAZ, Marcelo Carvalho e BO BARDI, Lina; *Casa de Vidro*, Editorial Blau Lda, Lisboa, 1999;

Figura I.5 - BERANEK, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.21;

II. APROXIMAÇÃO A UMA TEORIA DA ACÚSTICA

II.1 - MANIFESTAÇÕES DO SOM NO ESPAÇO – SILÊNCIO, RUÍDO, MÚSICA

Figura II.6 - SCHAFER, R. Murray; *O Ouvido Pensante*, p.131;

Figura II.7 - CAGE, John; *Escritos al oído*; Valencia: COAAT, 1999 (tr. Carmen Prado), p.134;

Figura II.8 - SORIANO, Susana Moreno; *Arquitectura y Música en el siglo XX*, Fundação Caja de Arquitectos, 2008, (Arquia- tesis), p.34;

Figura II.9 - -----, Susana Moreno; *Arquitectura y Música en el siglo XX*, Fundação Caja de Arquitectos, 2008; (Arquia- tesis), p.30;

Figural II.10 - BOULET, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p.34;

Figura II.11 - -----, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p.35;

Figura II.12 - SCHAFER, R. Murray; *A afinação do mundo – Uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora*, Unesp, 1997, (tr. Marisa Trench Fonterrada), p.165;

II.2 - O SOM FUNDAMENTAL DA ARQUITECTURA – IDENTIDADE E TONALIDADE DO ESPAÇO

Figura II.13 - da autora

Figura II.14 - da autora

Figura II.15 - FERRAZ, Marcelo Carvalho e BO BARDI, Lina; *Casa de Vidro*, Casa de Vidro, Editorial Blau Lda, Lisboa, 1999;

Figura II.16 - -----, Marcelo Carvalho e BO BARDI, Lina; *Casa de Vidro*, Casa de Vidro, Editorial Blau Lda, Lisboa, 1999;

Figura II.17 - ESPOSITO, Antonio, *Fernando Távora: opera completa*, (trad. Gabriele Davini), Milão: Electa, 2005, p.262;

Figura II.18 - da autora

Figura II.19 - da autora

Figura II.20 - da autora

Figura II.21 - <http://seaorgan.com>

Figura II.22 - PFEIFFER, Bruce Brooks; *Frank Lloyd Wright Drawings*, New York: Harry N. Abrams, 1996, p.41;

Figura II.23 - http://photography.nationalgeographic.com/photography/enlarge/sibelius-park-sculpture_pod_image.html

Figura II.24 - <http://www.bdonline.co.uk/story.asp?Storycode=3102774>

Figura II.25 - <http://www.ionone.com/archstartup.htm>

Figura II.26 - <http://www.ionone.com/arclecorbu.htm>

Figura II.27 - SCHAFER, R. Murray; *O Ouvido Pensante* (título original The Thinking Ear), São Paulo: Editora Unesp, 1991, (tr. Marisa Trench Fonterrada), p.127;

Figura II.28 - World Forum For Acoustic Ecology
<http://interact.uoregon.edu/MediaLit/wfae/home/>

II.3 - RELAÇÃO ENTRE SOM E ESPAÇO

Figura II.29 - http://www.vitruvius.com.br/drops/drops22_07.asp

Figura II.30 - BERANEK, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.299;

Figura II.31 - DOMÈNECH, Francesc Daumal, “La arquitectura del sonido”, *Tectónica: acústica*, 14, p. 39;

Figura II.32 - da autora

Figura II.33 - da autora

Figura II.34 - DOMÈNECH, Francesc de Paula Daumal, *Arquitectura acústica, Poética y diseño*, Barcelona: UPC, 2002, p.81;

Figura II.35 - -----, Francesc de Paula Daumal, *Arquitectura acústica, Poética y diseño*, Barcelona: UPC, 2002, p. 299;

Figura II.36 - -----, Francesc Daumal, “La arquitectura del sonido”, *Tectónica: acústica*, Barcelona: UPC, 2002, p.299;

Figura II.37 - BOULET, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p.103;

Figura II.38 - -----, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p.104;

Figura II.39 - -----, BOULET, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p. 101;

Figura II.40 – www.jlccg.pt/esml ,[visita 1/06/09]

II.4 - ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA – UMA INTRODUÇÃO

Figura II.41 - -----, José Maria Marzo et ROSELLÓ, Graciela, “Introducción a la acústica arquitectónica”, *Tectónica: acústica*, 14, p.5

Figura II.42 - -----, José Maria Marzo et ROSELLÓ, Graciela, “Introducción a la acústica arquitectónica”, *Tectónica: acústica*, 14, p.5

Figura II.43 - -----, José Maria Marzo et ROSELLÓ, Graciela, “Introducción a la acústica arquitectónica”, *Tectónica: acústica*, 14, p.14

Figura II.44 - NORRI, Maria Riitta, *Alvar Aalto em sete edifícios = Alvar Aalto in seven Buildings, interpretações do trabalho de um arquiteto=interpretations of na architect's work*, Helsínquia, Museu de Arte Finlandesa, 1999, Bilingue, catálogo de uma exposição, p.39;

Figura II.45 - NORRI, Maria Riitta, *Alvar Aalto em sete edifícios = Alvar Aalto in seven Buildings, interpretações do trabalho de um arquiteto=interpretations of na architect's work*, Helsínquia, Museu de Arte Finlandesa, 1999, Bilingue, catálogo de uma exposição, p.28;

III. ANÁLISE DE ESPAÇOS PARA O SOM

Figura III. 46 - BRETON, Gaelle, *Theatres*, (trad. Murray Wyllie), Paris: Moniteur, 1989, p. 100;

III.1 - O VIOLINO DE ANTONIO STRADIVARI

Figura III.47 - BOULET, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p.11;

Figura III.48 - BERANEK, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.49;

Figura III.49 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.175;

Figura III.50 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.427;

Figura III.51 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.496;

Figura III.52 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.504;

Figura III.53 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.258;

Figura III.54 e 55 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.260;

Figura III.56 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.95;

Figura III.57 e 58 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.96;

Figura III.59 e 60 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.48;

Figura III.61 e 62 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.174;

Figura III.63 e 64 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.426;

III.2 - CENTRALIDADE DO PROSCÊNIO – DESDE O PRINCÍPIO À CONCRETIZAÇÃO

Figura III.65 - BOULET, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p. 26;

Figura III.66 - -----, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p.29;

Figura III.67 - -----, Marie- Laure; *Auditoriums*, Paris: Editions du Moniteur, cop. 1990, (trad. Christine Moissinac, Françoise Soulidnac), p.30;

III.3 - SALAS POLIVALENTES

Figura III.68 - BERANEK, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.162;

Figura III.69 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.467;

Figura III.70 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.87;

Figura III.71 - BERANEK, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.555;

Figura III.72 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.162;

Figura III.73 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.361;

III.4 - ORIGEM DA ÓPERA E DA SUA “CAIXA ACÚSTICA”

Figura III.74 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.360;

Figura III.75 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.269;

Figura III.76 e 77 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.268;

Figura III.78 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.284;

Figura III.79 e 80 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.286;

Figura III.81 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.285;

Figura II.82 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.569;

Figura III.83 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.570;

Figura III.84 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.571;

Figura III.85 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.357;

Figura III.86 e 87 - -----, Leo; *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*, Springer, NY: Springer, 2nd edition, 2004, p.356;

IV. CASOS DE ESTUDO NO CONTEXTO PORTUGUÊS

IV.1 BIBLIOTECA DA FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Figura IV. 88 – desenho facultado pelo arquitecto António Madureira.

Figura IV. 89 - da autora.

Figura IV. 90 - da autora.

Figura IV. 91 - da autora.

Figura IV. 92 – desenho facultado pelo arquitecto.

Figura IV. 93 - desenho facultado pelo arquitecto.

Figura IV. 94 - desenho facultado pelo arquitecto.

Figura IV. 95 - desenho facultado pelo arquitecto.

IV.2 O AUDITÓRIO DO MUSEU DE ARTE CONTEMPORÂNEA DE SERRALVES

Figura IV. 96. Fundação de Serralves, Museu de Arte Contemporânea, Álvaro Siza: *Expor = on display*, Porto, Fundação de Serralves, 2005, p.107;

Figura IV. 97 - da autora.

Figura IV. 98 - da autora.

Figura IV. 99 - da autora.

Figura IV.100 - da autora.

Figura IV.101 - Fundação de Serralves, Museu de Arte Contemporânea, *Álvaro Siza: Expor = on display*, Porto, Fundação de Serralves, 2005, p.108;

Figura IV.102 - desenho facultado pelo engenheiro acústico Daniel Commins.

Figura IV.103 - desenho facultado pelo engenheiro acústico Daniel Commins.

Figura IV.104 - da autora.

Figura IV.105 - da autora.

Figura IV.106 - da autora.

Figura IV.107 - da autora.

Figura IV.108 - BARATA, Paulo Martins; HENRIQUES DA SILVA, Raquel; PINTO DE ALMEIDA, Bernardo, *Museu de Serralves =Serralves Museum: Álvaro Siza*, fot. De Rui Morais de Sousa, 1ªed., Lisboa: White & Blue, 2001, Bilingue, P.75;

Figura IV.109 - da autora.

V. CONCLUSÕES

Figura IV.110 - NORRI, Maria Riitta, Alvar Aalto em sete edifícios = Alvar Aalto in seven Buildings, interpretações do trabalho de um arquitecto=interpretations of na architect's work, Helsínquia, Museu de Arte Finlandesa, 1999, Bilingue, catálogo de uma exposição, p.14;

Crédito de figuras do relatório

INACOUSTICS, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.9;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.9;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.10;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.11;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.12;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.12;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.13;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.13;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.16;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.16;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.14;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.14;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.15;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.18;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.18;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.19;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.19;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.20;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.21;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.21;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.22;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.23;

-----, *Projecto de acondicionamento acústico, Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra*, Maia, 2008, p.23;