Lineu Passeri Júnior

Estúdios de gravação de áudio:

as necessidades acústicas como indutoras do desenho

São Paulo, 2003

DEDALUS - Acervo - FAU
20200019289

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Biblioteca
SP

Estúdios de gravação de áudio:

as necessidades acústicas como indutoras do desenho

Lineu Passeri Júnior

Dissertação apresentada à
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. João Gualberto de Azevedo Baring

São Paulo 2003

Tombo:
1392/70

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Biblioteca
SP

Dedicatória

À minha esposa, Lilian,

Aos meus pais, Lineu e Ignez,

Aos meus filhos, Victor e Daniella.

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Biblioteca

Agradecimentos

Diversas pessoas contribuíram para que este trabalho se realizasse.

A todas elas, gostaria de manifestar minha gratidão:

Ao Professor Doutor Arquiteto João Gualberto de Azevedo Baring, meu orientador, por sua especial contribuição no desenvolvimento do trabalho;

Ao Professor Doutor Engenheiro Sylvio Reynaldo Bistafa, amigo e colaborador, sempre disposto a contribuir com idéias, críticas e sugestões;

Ao Professor Doutor Arquiteto Khaled Ghoubar, grande amigo e principal incentivador do meu envolvimento com a pesquisa;

À Dra. Feiga Grunspun, amiga e conselheira, que me ajudou a superar todos os obstáculos que surgiram durante a execução deste trabalho;

À minha esposa, Lilian, que cuidou da arte-final do trabalho, amiga e companheira em todos os momentos, cuidou de nossos filhos para garantir a mim a tranqüilidade necessária, não mediu esforços para que este trabalho se realizasse, e suportou sorrindo os inúmeros finais de semana em que eu passei ausente, me dedicando à pesquisa;

Aos meus filhos, Victor e Daniella, que fizeram tudo o que estava ao seu alcance para que eu pudesse concluir o trabalho;

Aos meus pais, Lineu e Ignez que, desde sempre, torceram e dedicaram suas vidas, seu tempo, e sua saúde ao sucesso de seus filhos, e que por isso são os verdadeiros responsáveis pelas vitórias que conquistei até hoje.

Também gostaria de agradecer a Oswaldo Malagutti e Cristina Yuri, dos Estúdios Mosh, que nos permitiram fazer medições em suas salas de gravação e em suas salas técnicas, e ao Engenheiro Geraldo Ribeiro, da T-Com Ltda., pela cessão do equipamento utilizado nessas medições.

Resumo

Partindo de uma visão dos aspectos históricos de acústica, música, e gravação de áudio, o autor faz uma breve comparação entre os diversos tipos de estúdios, explica o processo contemporâneo de gravação e contextualiza o mercado de música gravada no Brasil. A partir daí, a pesquisa se concentra nos estúdios de gravação de áudio. Sua relação com a cidade, e a legislação específica, são os primeiros assuntos abordados. Nível de ruído, tempo de reverberação, absorção, reflexão e difusão sonora são os assuntos tratados em seguida. Parâmetros de projeto e filosofias de desenho são discutidos. Sete exemplos de bons estúdios de gravação de áudio (quatro no Brasil e três no exterior) são também apresentados. Em um estudo de caso, por intermédio da apropriação de grandezas acústicas tais como nível de ruído de fundo, EDT *(Early Decay Time)* e RT30, foram analisadas as soluções de projeto dos ambientes de um estúdio profissional, verificando sua compatibilidade com as necessidades acústicas e com a tecnologia contemporânea de gravação, visando a determinação de parâmetros para a elaboração de projetos técnicos específicos.

Abstract

Starting from a historical view of acoustics, music and audio recording, the author makes a brief comparison between several types of studios, explains the contemporary recording process, and introduces current aspects of Brazilian recorded music marketplace. From this point, the research is focused on professional recording studios. Its relationship with the urban environment, specific rules and laws are the first topics presented. Noise level, reverberation time, absorption, reflection and diffusion of sound are discussed. Design philosophies, subjective and objective parameters are also discussed. Seven examples of good professional recording studios are presented. In a case-study, by means of noise levels, EDT (Early Decay Time) and RT30 measurements, two studios and control rooms were presented and compared. From these results, the project solutions were analysed to check how each recording environment is compatible with its acoustical needs and with the contemporary recording technology. The main goal was to establish guidelines and objective acoustical parameters to be used in the design of new recording studios.

Biografia do autor

1961: Filho de uma dona-de-casa e de um comerciante de materiais de construção do bairro paulistano de Pinheiros, Lineu Passeri Júnior nasce no dia 9 de Julho.

1975: Conclui o ensino fundamental na Escola de Aplicação da FEUSP.

1978: Conclui o ensino médio na Escola Técnica Estadual Dr. Américo Brasiliense, em Santo André, com o diploma de Desenhista Técnico de Arquitetura.

1979: Ingressa na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP.

1981: Ingressa na Fundação das Artes de São Caetano do Sul.

1983: Gradua-se arquiteto pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP.

1985: Forma-se músico (instrumentista e arranjador) na Fundação das Artes de São Caetano do Sul.

1989: Participa da equipe de desenvolvimento do projeto do Parque Villa-Lobos, junto ao escritório do arquiteto Décio Tozzi, em São Paulo, SP.

1990: Projeta os ambientes destinados a atividades musicais (estúdios, salas de ensaio, salas de aula e biblioteca) do SESC Vila Mariana, em São Paulo, SP.

1995: Inicia o acompanhamento das obras do SESC Vila Mariana, em São Paulo, SP, até a sua conclusão, em 1997.

1998: É contratado como consultor da ONU para o PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, onde permanece até 2000.

2000: Projeta o auditório do edifício da Bolsa do Café, em Santos, e a escola de música "Ritmus", em São Paulo, SP.

2001: Projeta o auditório do Museu do Imaginário do Povo Brasileiro, instalado no edifício do antigo DOPS, a partir do projeto do arquiteto Haron Cohen.

2002: Projeta o auditório do novo edifício-sede da Justiça Federal, em Cuiabá, MT.

Epígrafe

"Acoustical phenomena have been an unavoidable part of man's environment since the earliest times. Most living organisms not only produce sound but respond to it. It is likely that man, talking shelter from the elements, first discovered acoustical effects in caves and in inlets along the sea. The inadvertent production of acoustical effects may have led to the development of musical instruments. Primitive man would hardly have failed to notice the sound produced when a hollow log pounded by the wings of a large bird. He would soon have discovered that stretching an animal's skin over the open end of such a log would create a drum with loud and interesting resonances. From ancient instruments of warfare, such as the bow, he could learn of the vibratory sound made by a stretched string. From this own voice, which is a wind instrument, he could learn of the sound-producing characteristics of a pipe driven by a vibrating reed. In those familiar encounters – with the cave, the percussion instrument, the stretched string, and the human throat and mouth – lie the elements of all acoustics".

Leo Leroy Beranek, 1962

"Fenômenos acústicos têm sido um componente inevitável do ambiente do homem desde os tempos mais remotos. A maioria dos seres vivos não somente produz sons, mas reage a eles. É provável que o homem, abrigando-se das intempéries, tenha primeiro descoberto efeitos acústicos nas cavernas e grutas ao longo da costa. A produção inadvertida de efeitos acústicos pode ter levado ao desenvolvimento de instrumentos musicais. O homem primitivo dificilmente deixaria de notar o som produzido quando um tronco oco fosse percutido pelas asas de um grande pássaro. Logo ele descobriria que, esticando a pele de um animal sobre a extremidade aberta do tronco oco, criaria um tambor com ressonâncias intensas e interessantes. De antigas armas de guerra, como o arco, ele poderia perceber a vibração sonora produzida por uma corda esticada. De sua própria voz, que é um instrumento de sopro, ele poderia perceber as características sonoras de uma palheta vibratória acoplada a um tubo. Nesses encontros do cotidiano – com a caverna, com o instrumento de percussão, com a corda esticada, com a boca e a garganta humana – estão os elementos de toda a acústica (...)."

Sumário

		pág
1	**PRIMEIRO CAPÍTULO: GENERALIDADES**	**1**
1.1	ASPECTOS HISTÓRICOS DE ACÚSTICA, MÚSICA, INSTRUMENTOS MUSICAIS E GRAVAÇÃO DE ÁUDIO	3
1.1.1	Acústica e ciência	3
1.1.2	Acústica e arquitetura	6
1.1.3	Breve histórico do processo de gravação de áudio	8
1.2	TIPOS DE ESTÚDIOS – SUAS CARACTERÍSTICAS E DIFERENÇAS	16
1.2.1	Estúdios de rádio	16
1.2.2	Estúdios de televisão	17
1.2.3	Estúdios de cinema e vídeo	17
1.2.4	Estúdios comerciais de gravação de áudio	18
1.2.5	Estúdios de ensaio	19
1.2.6	Estúdios caseiros	20
1.3	O PROCESSO CONTEMPORÂNEO DE GRAVAÇÃO DE UM CD	23
1.3.1	Captação de sons de instrumentos e vozes	23
1.3.2	Mixagem	29
1.3.3	Masterização	31
1.4	DEMANDAS ATUAIS: O MERCADO FONOGRÁFICO BRASILEIRO	35
1.4.1	A música brasileira na última década do século XX	36
1.4.2	Expectativas do mercado	37
2	**SEGUNDO CAPÍTULO: OS ESTÚDIOS E A CIDADE**	**41**
2.1	O ESTÚDIO *VERSUS* O TECIDO URBANO	43
2.2	ASPECTOS DA LEGISLAÇÃO ESPECÍFICA	47
2.2.1	A legislação do município de São Paulo	47
2.2.2	Fiscalização e controle de ruído na cidade de São Paulo	49
2.3	CUIDADOS NA ESCOLHA DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DO ESTÚDIO	53
3	**TERCEIRO CAPÍTULO: ESTÚDIOS E SALAS DE GRAVAÇÃO DE ÁUDIO**	**61**
3.1	ASPECTOS GERAIS DAS NECESSIDADES DE ISOLAMENTO E TRATAMENTO ACÚSTICO DOS AMBIENTES DO ESTÚDIO DE GRAVAÇÃO	63
3.1.2	A sala técnica	67
3.1.3	A sala de masterização	69
3.2	ISOLAMENTO DE RUÍDOS	73
3.2.1	Determinação do nível de ruído e do isolamento sonoro necessário	74
3.2.2	Isolamento sonoro da sala de gravação	81
3.2.3	Isolamento sonoro da sala técnica	82
3.2.4	Isolamento sonoro da sala de masterização	83
3.2.5	Materiais de construção e seu desempenho no contexto do isolamento sonoro dos ambientes dos estúdios de gravação	84
3.3	REVERBERAÇÃO E ABSORÇÃO	95
3.3.1	Reverberação	95
3.3.2	Absorção	101

3.3.3	Reverberação e absorção na sala de gravação	112
3.3.4	Reverberação e absorção na sala técnica	117
3.3.5	Reverberação e absorção na sala de masterização	121
3.4	CONTROLE DAS REFLEXÕES	123
3.4.1	Ondas estacionárias	123
3.4.2	Modos tangenciais e oblíquos	125
3.4.3	Eco	126
3.4.4	Eco palpitante	127
3.4.5	Reflexão na sala de gravação	127
3.4.6	Reflexão na sala técnica	128
3.4.7	Reflexão na sala de masterização	130
3.5	DIFUSÃO	131
3.5.1	Avaliação da difusão sonora em um ambiente	133
3.5.2	Difusão na sala de gravação	135
3.5.3	Difusão na sala técnica	137
3.5.4	Difusão na sala masterização	138
3.5.5	Difusores sonoros	139
3.5.6	Geometria das salas	146
3.6	FILOSOFIAS DE PROJETO E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DOS AMBIENTES DO ESTÚDIO	165
3.6.1	Filosofias de desenho de salas técnicas	166
3.6.2	Parâmetros de avaliação da qualidade acústica dos ambientes de estúdios de gravação	172
4	**QUARTO CAPÍTULO: EXEMPLOS DE BONS PROJETOS DE ESTÚDIOS DE GRAVAÇÃO DE ÁUDIO**	**187**
4.1	LEVANTAMENTO PRELIMINAR DOS PONTOS POSITIVOS DOS ESTÚDIOS ANALISADOS	189
4.1.1	Estúdios Mosh	190
4.1.2	Estúdio Cardan	196
4.1.3	Estúdio Bebop	199
4.1.4	Estúdio MCR	203
4.1.5	Abbey Road Studios	207
4.1.6	Air Studios	212
4.1.7	Dark Horse Studios	220
4.2	ESTUDO DE CASO	224
4.2.7	Objetivo principal do estudo	224
4.2.8	Objetivo secundário do estudo	224
4.2.3	Descrição do procedimento	225
4.2.4	Análise do resultado das medições	225
4.2.5	Conclusões deste estudo de caso	228
5	**QUINTO CAPÍTULO:CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**	**233**
5.1	CONCLUSÕES	235
5.1.1	Em relação ao projeto	235
5.1.2	Em relação ao ruído	235
5.1.3	Em relação ao tempo de reverberação	236
5.1.4	Em relação à difusão	238

5.1.5 Em relação à geometria 239
5.1.6 Em relação às filosofias de projeto 239
5.1.7 Em relação aos parâmetros de avaliação da qualidade acústica dos ambientes 240
5.2 SUGESTÕES DE TEMAS PARA FUTURAS PESQUISAS 241
5.2.1 Arquitetura de salas técnicas e o seu *ITDG* 241
5.2.2 Parâmetros subjetivos e parâmetros objetivos para análise de ambientes em estúdios de gravação 241
5.2.3 Análise comparativa do desempenho acústico de quatro filosofias de projeto de salas técnicas de estúdios de gravação de áudio 242

Introdução

De todas as disciplinas técnicas com as quais os arquitetos se confrontam durante sua vida acadêmica e profissional, a acústica muitas vezes é a que lhes causa mais problemas. Curiosamente, isso não acontece pelo fato de os cálculos acústicos dependerem de fórmulas matemáticas complexas; cálculo estrutural, dimensionamento de fundações e, até mesmo, uma planilha de serviços, quantidades e preços da obra de um edifício envolvem muito mais números e fórmulas que os cálculos para a sua correta resolução acústica. Ao que parece, isso se deve a duas razões.

Em primeiro lugar, há a questão da sensibilidade das pessoas em geral. As características acústicas da maioria dos ambientes não representam um desconforto óbvio e, raramente, se mostram tão fundamentais ao bem-estar das pessoas quanto suas características térmicas e de iluminação, por exemplo. Para que alguém se dê conta das reais condições acústicas de um determinado ambiente, é necessário que "preste atenção" aos ruídos e às interferências sonoras às quais esse ambiente está sujeito. Em outras palavras, é necessária uma "audição consciente", de preferência durante algum tempo, para que se possa "sentir" as reais condições acústicas do ambiente.

Em segundo lugar, há uma questão que diz respeito muito mais a arquitetos do que a engenheiros, por exemplo, que é devida ao fato de os fenômenos acústicos não serem visíveis. Uma parede de tijolos maciços aparentes possui características visuais e de textura bastante distintas de uma parede de concreto. Entretanto, ambas possuem características de reflexão acústica bastante parecidas. Um pequeno orifício de 20 ou 30 mm de diâmetro atravessando essa mesma parede de lado a lado pode passar despercebido ao olhar mas, de certo, compromete seriamente o seu nível de isolamento acústico. O fluxo de energia acústica é invisível e, muitas vezes, difícil de ser representado em termos visuais. Por isso, para a perfeita compreensão dos fenômenos acústicos é necessário que se enxergue o edifício a partir de mais um ponto-de-vista, além do estrutural, do visual, do térmico, da iluminação, e das instalações.

Para a grande maioria dos arquitetos, essa necessidade só se mostra no momento em que ele é chamado a elaborar o projeto de um edifício – ou de um ambiente – cujas características acústicas serão decisivas na qualidade do espaço construído.

Uma casa de espetáculos, um teatro, um auditório, uma sala de conferência, uma escola, um hospital, ou mesmo um edifício residencial localizado próximo a um aeroporto, a uma ferrovia ou a uma avenida de tráfego pesado e intenso, são exemplos de locais onde a qualidade do espaço construído depende de sua correta resolução acústica. Nesses casos, em geral, o arquiteto recorre a um consultor.

Na última década, muitos arquitetos têm sido chamados a atender um outro tipo de demanda relativa ao projeto de ambientes com necessidades acústicas ainda mais específicas: os estúdios.

Limitamos o campo de abordagem de nossa pesquisa ao universo dos estúdios de gravação de áudio, em função de sua peculiaridade espacial e da complexidade de suas necessidades em termos de isolamento e condicionamento acústico. Outros tipos de estúdios (como os estúdios de rádio, cinema e televisão, por exemplo), portanto, não foram objeto de nossa investigação.

A demanda por projetos tão específicos é recente em nosso país. A partir do início dos anos 90, com a significativa redução das alíquotas de importação, a eliminação de diversas barreiras alfandegárias, a acentuada queda nos preços de equipamentos e periféricos no mercado internacional – devida, principalmente, ao avanço da tecnologia digital – e, mais recentemente, devido à estabilização econômica e à queda da inflação a partir da segunda metade dos anos 90, o mercado brasileiro de áudio profissional pode entrar em contato com os mais modernos produtos e equipamentos destinados ao setor.

Num primeiro momento, após quase três décadas de incertezas econômicas e protecionismo sem qualquer fundamento – afinal, o Brasil nunca produzira equipamentos similares de áudio profissional (como gravadores profissionais, consoles e processadores de efeito) que pudessem ser alvo de uma "reserva de mercado" – os profissionais de áudio no Brasil puderam adquirir o que, então, havia de melhor nesse segmento. Isso gerou um verdadeiro *boom* de consumo, fazendo com que a extensa maioria dos estúdios de gravação, casas de espetáculos e teatros renovassem seus equipamentos.

Um sem-número de novos estúdios e gravadoras independentes também surgiu nesse momento, consolidando o país como um dos maiores consumidores de CDs do mundo, reforçando a tese de que o Brasil é, realmente, um país com vocação musical.

Superada a euforia consumista dos primeiros anos de abertura de mercado, uma parcela dos profissionais de áudio no Brasil, mais especificamente aqueles que atuam diretamente junto ao segmento de produção e gravação, percebeu que, além de equipamentos sofisticados, os estúdios brasileiros deveriam voltar suas atenções e seus investimentos para as obras de infra-estrutura, compatíveis com a tecnologia dos novos equipamentos que estavam sendo instalados. Aos poucos, a solução espacial, as soluções acústicas, os materiais de acabamento e o mobiliário do estúdio passaram a fazer parte das preocupações de uma parcela seleta de proprietários e gerentes desses empreendimentos no Brasil. Essa nova demanda, porém, muitas vezes, tem sido atendida com projetos e soluções também trazidas do exterior – principalmente da Inglaterra e dos EUA, onde se observa um significativo avanço nas pesquisas e soluções para esse mercado – o que nos faz crer na necessidade de uma abordagem mais sistemática do projeto arquitetônico, com respostas locais, tecnicamente compatíveis com nossa cultura, nossa tecnologia de projeto e os recursos materiais e humanos disponíveis.

Num momento em que o mundo ocidental em geral – e, o Brasil em particular – volta suas atenções para o problema da falsificação de produtos industrializados, principalmente CDs de música, este trabalho se mostra bastante oportuno.

Considerando que os gastos com a produção de um CD de música (despesas com passagens, alimentação e estadia, remuneração de músicos, produtores e arranjadores, aluguel de estúdio, entre outras) chegam a representar mais de 50% dos custos do produto, seria correto admitir que a redução dessas despesas pudesse colaborar com a redução do preço final do produto ao consumidor, o que se somaria a outras ações num processo mais amplo de desestímulo à chamada "pirataria".

De fato, com a melhoria da qualidade técnica do maior número possível de estúdios de gravação no Brasil, as despesas com passagens, alimentação e estadia de artistas,

músicos e produtores poderiam ser bastante reduzidas, uma vez que o acesso a espaços acusticamente bem resolvidos seria facilitado pelo aumento da oferta.

Isto posto, estabelecemos como principal objetivo de nossa pesquisa, reunir e analisar as informações disponíveis relativas às características acústicas de estúdios e salas de gravação de áudio, e seu reflexo nos respectivos projetos. Como objetivos secundários, estabelecemos o seguinte: (a) Descrever a evolução histórica do processo de gravação de áudio pelo homem, como forma de conhecer as principais características dessa clientela específica e as necessidades atuais do ponto-de-vista dos espaços recomendados para o desenvolvimento dessa atividade; (b) Apresentar e caracterizar tecnicamente cada um dos ambientes que compõem um estúdio de gravação de áudio profissional, suas respectivas necessidades e as soluções acústicas para cada caso – a sala de gravação, a sala técnica e a sala de masterização; (c) Estudar as soluções executivas e os detalhes construtivos mais utilizados na solução acústica de estúdios e salas de gravação de áudio; e (d) Apresentar e discutir os parâmetros objetivos que comumente são levados em conta nos projetos de estúdios de gravação de áudio, e como esses edifícios interagem com o meio urbano.

A partir das informações aqui reunidas, nossa expectativa é que este trabalho funcione como instrumento de reflexão por parte dos profissionais que dele se utilizarem no que se refere ao papel do arquiteto enquanto técnico e responsável por atender a certas demandas por soluções específicas presentes em mercado profissional altamente competitivo.

Primeiro Capítulo
Generalidades

1.1. ASPECTOS HISTÓRICOS DE ACÚSTICA, MÚSICA, INSTRUMENTOS MUSICAIS E GRAVAÇÃO DE ÁUDIO

A acústica é um dos ramos mais jovens da ciência. Seus fundamentos teóricos foram estabelecidos, pela primeira vez, em 1877 pelo físico inglês Lord Rayleigh. Mas os grandes avanços na aplicação da acústica em arquitetura ocorreram a partir das experiências do cientista Wallace Clement Sabine, entre 1898 e 1905.

De acordo com BERANEK (1963, p.04), "somente a partir da segunda metade do século XX, com o desenvolvimento dos amplificadores a válvula, dos alto-falantes e dos microfones com baixos níveis de ruído, foi possível aos pesquisadores e estudiosos reunir dados mais precisos que pudessem fazer da acústica uma ciência".

Segundo LORD *et al* (1986, p.03), "a história da acústica pode ser estudada sob dois pontos-de-vista: acústica como ciência e acústica arquitetônica. Do ponto-de-vista científico, o estudo deve-se ater às disposições filosóficas clássicas dos Gregos da antiguidade, aos matemáticos do século XVIII produzindo um sem-número de fórmulas, e a Rayleigh e Sabine, duas figuras-chave que inseriram a acústica no rol das demais ciências. Já do ponto-de-vista arquitetônico, a ênfase se dá no estudo dos teatros Gregos e Romanos, das catedrais Góticas e Barrocas, das salas de ópera do século XIX e das salas de espetáculo do século XX. A exemplo de outros ramos da ciência, a acústica não atrai um grande interesse por parte dos historiadores, o que faz com que a evolução de sua teoria tenda a ser estudada juntamente com a evolução geral da física e da mecânica".

1.1.1. Acústica e ciência

Os primeiros registros sobre o assunto têm início com Aristóteles[1], que fazia referência à natureza do som em *De Anima* e em *De Audilibus*, onde discutia fenômenos como a fala e o eco. Ele já tinha alguma noção de que o som envolvia o ar em movimento, mas não se pode afirmar que ele já dominasse o conceito de ondas sonoras, por exemplo.

[1] Filósofo grego (Estagira, Macedônia, 384 a.C. – Cálcis, Eubéia, 322 a.C.), cujos tratados provêm de notas tomadas por seus ouvintes e que se constituem num vasto conjunto enciclopédico, dividido posteriormente em quatro grupos de obras: lógica, filosofia natural, cosmografia e física (LAROUSSE, p.419).

De acordo com LORD *et al* (1986, p.04), "Vitruvio[2] abordou alguns dos aspectos acústicos dos teatros Clássicos em seu *De Architectura*, onde discutia conceitos como: a ressonância e sua relação com os materiais utilizados na construção de teatros, e o eco e a percepção da palavra falada. Boécio[3] escreveu a respeito dos primeiros experimentos de acústica, que foram a base da teoria das ondas sonoras. Galileu[4] introduziu o conceito de freqüência. Boyle[5], por sua vez, é lembrado por sua experiência na qual o nível sonoro produzido pelo impacto de um gongo em um jarro metálico diminuía na medida em que o ar era retirado do interior do jarro, indicando a necessidade de um meio para a propagação do som. Newton[6], em seu *Principia Mathematica*, fez as primeiras menções à teoria da derivação da velocidade do som no ar e estabeleceu as primeiras analogias entre sons e cores. Sauveur[7] foi o primeiro a utilizar o termo 'acústica' para definir a ciência do som, e fez minuciosos estudos a respeito da relação entre freqüência e tonalidade sonora".

---

[2] Marcus Vitruvius Pollio, arquiteto romano do século I a.C., cuja notoriedade está ligada a seu tratado *De Architectura*, o único que nos restou da antiguidade, certamente redigido entre os anos 30 a.C. e 25 a.C. e baseado em princípios helênicos. O trabalho incluía temas como: planificação de cidades, proporções, materiais e métodos construtivos, edifícios públicos e particulares, trabalhos em gesso, pavimentação decorativa e suprimento de água, entre outros. As cópias – adaptações ilustradas e extrapolações – dessa obra, realizadas a partir do século XV, alimentaram a evolução do classicismo europeu (LAROUSSE, p.5973).

[3] Anicius Manlius Torquatus Severinus Boetius (Roma, 480 – Pávia, 524), estadista e filósofo romano, escreveu um tratado intitulado *Sobre a instituição da música*, e foi um dos grandes teóricos do conhecimento musical antigo (LAROUSSE, p.816).

[4] Galileo Galilei (Pisa, 1564 – Arcetri, 1642), astrônomo, físico e escritor italiano, cujas descobertas em física e astronomia abalaram o prestígio do aristotelismo, estabeleceu o experimento e a formulação matemática do resultado da experiência como fundamentos das ciências exatas (LAROUSSE, p.2628).

[5] Robert Boyle (Lismore Castle, 1627 – Londres, 1691), físico e químico britânico, enunciou – antes de Mariotte – a lei de compressibilidade dos gases, melhorou a máquina pneumática de Otto von Guericke e o termômetro de Galileu, rejeitou a Teoria dos Quatro Elementos de Aristóteles e, pela primeira vez, fez aparecer a noção moderna de elemento químico (LAROUSSE, p.875).

[6] Sir Isaac Newton (Woolsthorpe, Lincolnshire, 1642 – Londres, 1727), físico, matemático e astrônomo inglês, introduziu na óptica o conceito de freqüência das ondas luminosas, estudou a dispersão da luz branca através de um prisma, e construiu o primeiro telescópio de reflexão. Sua teoria, baseada no princípio da inércia, na proporcionalidade entre força e aceleração e na igualdade entre ação e reação, constitui a base de todos os desenvolvimentos posteriores da mecânica. Introduziu a noção de gravitação universal, ao identificar a gravidade terrestre com as atrações entre os corpos celestes, explicou o movimento dos planetas, o "achatamento" da terra e as marés. Sua principal contribuição à matemática foi a teoria do cálculo infinitesimal (LAROUSSE, p.4200).

[7] Joseph Sauveur (La Flèche, 1653 – Paris, 1716), matemático e físico francês, estabeleceu os princípios da acústica musical. Explicou o fenômeno das ondas estacionárias, criando o conceito de "nós" e "ventres" de vibrações, e descobriu o fenômeno dos batimentos (LAROUSSE, p.5278).

Taylor[8] foi o primeiro a propor uma fórmula para o cálculo da freqüência a partir do comprimento, da tensão e da massa de uma corda esticada. Euler[9], em sua obra denominada *Dissertatio Physica de Sono*, foi a primeira publicação européia a abordar de maneira específica as questões relativas ao som. Lagrange[10] e D'Alembert[11] deram continuidade aos estudos de Taylor. Laplace[12] corrigiu a derivação da expressão para a velocidade do som proposta por Newton. Savart[13] foi o precursor dos estudos das freqüências-limite da audibilidade humana e Faraday[14] estudou a relação entre a radiação acústica e a propagação dos efeitos eletromagnéticos. Green[15] pesquisou o fenômeno da propagação das ondas sonoras e analisou o efeito da viscosidade dos fluidos na propagação do som.

---

[8] Brook Taylor (Edmonton, Moddlesex, 1685 – Londres, 1731), matemático britânico que teve seu nome associado a um desenvolvimento em série que desempenhou papel primordial no estudo das funções variável e real ou complexa. Introduziu o calculo das diferenças finitas, que chamou de "incrementos", e abordou a determinação dos centros de oscilação, percussão e de curvatura, além do problema das cordas vibrantes (LAROUSSE, p.5600).

[9] Leonhard Euler (Basiléia, 1707 – São Petersburgo, 1783), matemático suíço, escreveu quase 900 monografias a respeito de matemática, música, astronomia, mecânica, óptica e ciência naval. É o autor de *Traité complet de mécanique*, primeira grande obra onde a análise é aplicada à ciência do movimento (LAROUSSE, p.2296).

[10] Joseph Louis de Lagrange (Turim, 1736 – Paris, 1813), matemático francês de origem piemontesa, esforçou-se para basear a análise matemática em uma noção mais geral da função e, em particular, nos desenvolvimentos em série de Taylor (LAROUSSE, p.3474).

[11] Jean Le Rond D'Alembert (Paris, 1717 – 1783), matemático e filósofo francês. Suas pesquisas em física relacionaram-se à mecânica racional (princípio fundamental da dinâmica, problema dos três corpos, cordas vibrantes) e à hidrodinâmica. Juntamente com Diderot, foi o principal incentivador da *Enciclopédia*, da qual redigiu o *Discurso preliminar*, em 1751 (LAROUSSE, p.1756).

[12] Pierre Simon Laplace (Normandia, 1749 – Paris, 1827), astrônomo, matemático e físico francês, propôs a hipótese cosmogênica, segundo a qual o sistema solar teria se originado de uma nebulosa em rotação encerrando um núcleo extremamente massivo e a uma temperatura muito alta, hipótese que ainda inspira as teorias atuais. Realizou, com Lavoisier, as primeiras medidas calorimétricas relativas aos calores específicos e às reações químicas. Estabeleceu a fórmula das transformações adiabáticas de um gás e formulou as duas leis elementares do eletromagnetismo (LAROUSSE, p.3502).

[13] Félix Savart (Mézières, 1791 – Paris, 1841), físico francês, especialista em acústica, inventou a roda dentada que leva seu nome, que se constitui num sistema capaz de produzir sons de freqüência determinada. Em colaboração com Biot, é autor de experiências de medida de campos magnéticos criados por correntes elétricas (LAROUSSE, p.5279).

[14] Michael Faraday (Newington, Surrey, 1791 – Hampton-Court, 1867), físico inglês que descobriu o benzeno no alcatrão da hulha, e conseguiu liquefazer quase todos os gases. Estudou a ação exercida por um ímã sobre uma corrente, e apresentou o princípio do motor elétrico. Descobriu a indução eletromagnética e estabeleceu e a teoria da eletrólise. Em eletrostática, constatou a conservação da eletricidade, apresentou a teoria da eletrização por influência e mostrou que um condutor oco cria uma blindagem para as ações elétricas, princípio que ficou conhecido como "gaiola de Faraday" (LAROUSSE, p.2352).

[15] George Green (Nottingham, 1793 – Londres, 1841), matemático inglês que introduziu a noção de potencial sob a forma de uma função, fundamental para as equações de derivadas parciais, e explicitou-a no caso de um potencial elétrico. Também estudou o movimento dos fluidos (LAROUSSE, p.2820).

Em 1877, o físico inglês Lord Rayleigh[16] publicou o primeiro tratado de acústica, intitulado *Theory of Sound* e, em 1900, o cientista Wallace Clement Sabine estabeleceria um dos princípios mais importantes da acústica, ao propor uma equação que relaciona o tempo de reverberação de um determinado ambiente ao seu volume e à quantidade de material absorvente em suas superfícies internas – que viria a ser conhecida como a "fórmula de Sabine" – por meio da qual, pela primeira vez, foi possível calcular e prever a qualidade sonora de um ambiente ainda em sua fase de projeto.

1.1.2. Acústica e arquitetura

De acordo com LORD *et al* (1986, p.07), "os primeiros exemplos de espaços projetados visando o seu desempenho acústico foram os teatros Gregos e Romanos, ainda que os Egípcios usassem os pátios de seus templos como pseudo-auditórios".

Os teatros Gregos possuíam uma forma semicircular ou semi-elíptica, com um pequeno palco no centro. O objetivo era deixar o espectador mais próximo possível do palco, de modo que fosse possível perceber cada detalhe dos movimentos dos atores e de suas expressões faciais, além de permitir uma melhor compreensão de seus diálogos. Esses teatros eram construídos em locais onde a topografia natural do terreno permitia tal disposição de palco e platéia.

Os Romanos desenvolveram o anfiteatro elíptico, que era a junção de dois teatros, formando uma platéia contínua em torno de uma arena central. O exemplo mais conhecido desse tipo de construção é o Coliseu, em Roma.

Segundo LORD *et al* (1986, p.08), "as catedrais medievais eram os locais de reunião das pessoas daquela época, nas quais, devido às suas grandes dimensões, tempos de reverberação de até 8s eram muito comuns. Construídas com materiais duros e pesados (como pedra e vidro), e quase sem nenhum móvel em seu interior, os únicos elementos que poderiam funcionar como absorventes sonoros eram a congregação e o coro. Tais espaços se prestavam bem a apresentações musicais de órgão, coral e pequenos recitais".

---

[16] Lord John William Strutt Rayleigh (Terling Place, Witham, 1842 – Essex, 1919), físico britânico, determinou um valor para o número de Avogadro, descobriu o argônio e estudou a difusão da luz na atmosfera, com o que explicou o azul do céu, tendo recebido o prêmio Nobel de física em 1904 (LAROUSSE, p.4926).

Na Itália, durante a Renascença, houve uma retomada da forma dos antigos teatros Romanos, com uma importante diferença: ao invés de serem construções a céu-aberto, passaram a ser edifícios, com paredes, cobertura e, portanto, sujeitos a um tempo de reverberação maior. O teatro Elisabetano, por sua vez, surge como uma alternativa ao modelo italiano, com soluções melhores em termos de absorção sonora, visibilidade da platéia e dimensões do palco.

De acordo com LORD *et al* (1986, p.11), "as salas de ópera impuseram novos conceitos ao desenho dos teatros como, por exemplo, a necessidade de se acomodar uma grande orquestra a frente do palco, distanciando a platéia em relação aos atores e provocando uma série de problemas de balanceamento acústico das salas e de dificuldade de compreensão dos textos. Com isso, diversos formatos para a platéia passaram a ser propostos nos novos projetos: em forma de 'U', em forma de 'ferradura', em forma de elipse (ou 'oval'), cada um com suas vantagens e desvantagens".

Um aspecto interessante a ser observado na evolução dos projetos de auditórios e teatros é, justamente, o processo de aprimoramento do desenho formal das salas por tentativa e erro, ao longo dos séculos. Nesse sentido, boa parte das pesquisas acústicas do século XX foi desenvolvida no sentido de estabelecer parâmetros de projeto que minimizassem as possibilidades de equívoco no dimensionamento acústico de salas, num esforço sem precedentes na história.

LORD *et al* (1986, p.14) prossegue: "o conhecimento científico e o domínio técnico do homem, nos dias de hoje, apresenta um paradoxo pois, se por um lado, é possível desenvolver o projeto acústico de um auditório ou teatro visando um tipo específico de programa, por outro, esse tipo de construção é cada vez mais raro devido a razões de caráter comercial. Assim, os problemas que enfrentamos hoje, decorrentes das necessidades de multifuncionalidade dos auditórios e teatros que projetamos, são tão dramáticos quanto aqueles experimentados nos séculos passados".

E não tem sido diferente quando se trata do próprio processo de gravação de áudio e da evolução dos estúdios.

1.1.3. Breve histórico do processo de gravação de áudio

O som percebido por nossos ouvidos nada mais é do que o resultado do movimento de partículas de ar causado por uma série de vibrações. No final do século XIX, cientistas já pesquisavam uma maneira de construir um equipamento que fosse capaz de gravar essas vibrações e reproduzi-las na forma de som audível. Em 1877, Edison[17] divulgou o primeiro resultado de suas pesquisas nesse assunto, apresentando ao mundo o seu "fonógrafo".

De acordo com ALDRED (1971, p.09), "o equipamento consistia, basicamente, de uma fina folha de estanho fixada em toda a superfície perimetral de um cilindro, que girava por intermédio de uma manivela, e de um elemento pontiagudo conectado a um diafragma e, este, a uma espécie de corneta. Assim que a manivela girava o cilindro, o elemento pontiagudo se movia em direção à superfície do cilindro, cavando em toda ela um pequeno sulco contínuo na forma de uma espiral, cuja profundidade era dada por intermédio da pressão exercida sobre a folha de estanho, resultado da modulação de intensidade provocada pelo som que era produzido na 'boca' da corneta. Depois que a gravação era concluída, o cilindro e o elemento pontiagudo retornavam às suas posições iniciais, e a manivela movimentava o cilindro na mesma rotação, o que permitia que o material gravado pudesse ser ouvido – um tanto quanto distorcido, é verdade – mas de forma inteligível. Alguns anos depois, a folha de estanho foi substituída por um cilindro de cera, e o sistema de gravação foi separado do sistema de reprodução, para reduzir o custo do produto. Ao mesmo tempo, um cientista alemão chamado Berlinder teve a idéia de substituir o cilindro de cera por um disco plano, com um sulco contínuo também na forma de espiral, que começava no centro do disco e terminava na borda, ao contrário dos discos de vinil que, muitos de nós, conhecemos. A razão mais provável para que o processo fosse do centro para a borda do disco era para que, assim, o material resultante da 'escavação' do sulco não obstruísse o caminho do elemento pontiagudo, sendo jogado para 'fora' do disco. Esse invento foi chamado de gramofone".

---

[17] Thomas Edison (Milan, Ohio, 1847 – West Orange, New Jersey, 1931), inventor norte-americano, autodidata, criou o fonógrafo, o microtelefone, a lâmpada elétrica incandescente, aparelhos telegráficos e o cinescópio (LAROUSSE, p.2021).

Poulsen[18], por sua vez, criou um aparelho denominado "telegrafone", que era capaz de gravar sons por meio de magnetismo. Segundo ALDRED (1971, p.09), "o sistema consistia em uma corda de piano de aço de, aproximadamente, 1½m de comprimento, junto da qual passava um eletro-ímã muito próximo. A bobina do eletro-ímã era ligada, em série, a uma bateria e a um microfone de carbono, utilizado nos primeiros telefones. Ao se falar junto ao microfone, a corda de piano era magnetizada ao longo de seu comprimento, de acordo com as ondas sonoras do locutor. Ao se conectar a bobina magnética a um receptor de telefone, uma pequena corrente elétrica era induzida à bobina, enquanto os pólos do ímã passavam junto à corda de piano pré-magnetizada, fazendo com que fosse possível escutar o som gravado pelo receptor. Poulsen também descobriu que a sensibilidade da corda de aço poderia ser aumentada se uma pequena corrente fosse elétrica fosse adicionada ao sinal da fala, produzindo um som melhor e mais nítido, com menos ruídos". Era o ano de 1898 e, naquele tempo, ainda não era possível dispor de um equipamento para amplificar o som. Mas os princípios da gravação por magnetismo ficaram, definitivamente, estabelecidos.

Para ALDRED (1971, p.10), "a descoberta da válvula, no início do século XX, trouxe de volta o interesse nos experimentos de Poulsen, e a corda de aço de 1½m de comprimento foi substituída, primeiro, por um fiozinho de aço muito mais curto e mais fino e, depois, por uma fita plana de metal utilizada num enorme gravador que foi chamado de 'blattnerfone', em homenagem a Blattner, seu criador".

De acordo com LORD *et al* (1986, p.14), "naquela época, os primeiros espaços a serem utilizados como estúdios eram ambientes um pouco maiores que uma sala comum, com um mínimo de adaptações. O primeiro estúdio da rádio BBC, por exemplo, foi instalado numa sala de 6x12m, em 1923, e tinha todas as suas paredes cobertas por seis camadas de uma espécie de feltro. A resposta em altas freqüências era tão ruim que, em seguida, foram construídos diversos outros estúdios, cada um deles voltado para um tipo específico de gravação".

---

[18] Valdemar Poulsen (Copenhagen, 1869 – New York, 1942), engenheiro dinamarquês, foi o primeiro a registrar a gravação da palavra sobre um fio magnetizado (LAROUSSE, p.4744).

A partir da segunda metade da década de 20, os programas musicais da rádio BBC passaram a ser gravados em estúdios revestidos com pouco material absorvente, portanto mais reverberantes. Já os programas com diálogos e baseados na palavra falada eram gravados em estúdios com muito material absorvente, portanto menos reverberantes. A necessidade de soluções construtivas especiais para obter níveis de isolamento sonoro adequados surgiu logo depois, com as primeiras experiências em ambientes dotados de paredes duplas e antecâmaras.

Segundo ALDRED (1971, p.10), "nos anos 30, a rádio BBC, de Londres, instalou um 'blattnerfone' para a reprodução de material pré-gravado, mas a fita de metal se quebrava com muita facilidade e era difícil de ser emendada. Foi, então, introduzida uma fita cuja base era de papel, impregnada com óxido de ferro, que logo foi adotada como padrão. Sua popularidade se manteve até a descoberta das fitas de base plástica que nós conhecemos hoje, utilizadas na fabricação de fitas-cassete de áudio, fitas de vídeo e fitas de gravação profissionais".

De acordo com LORD *et al* (1986, p.14), "a partir do final dos anos 30, a acústica dos estúdios passou a ser uma preocupação por parte de todos os envolvidos no processo de gravação. Diferentes resultados eram, muitas vezes, obtidos com a simples variação do ponto de colocação dos microfones na sala de gravação. Ao mesmo tempo em que se buscava um tempo de reverberação cada vez menor, métodos mais confiáveis de se medi-lo eram desenvolvidos. As primeiras medições eram feitas de forma bastante singela: a partir de um som amplificado e reproduzido por um alto-falante, media-se qual o tempo necessário para que esse som decaísse 60dB, a partir de sua interrupção. Entretanto, não havia como verificar como o fenômeno ocorria em freqüências específicas, o que só foi possível a partir dos anos 50, com a introdução de um sistema chamado de *pulsed glide*, que consistia num registro fotográfico do decaimento da pressão sonora a partir de sinais simultâneos em diferentes freqüências. Com o desenvolvimento dos computadores, foi possível medir e registrar tempos de reverberação automaticamente, por bandas de freqüências, a partir de uma fonte sonora capaz de produzir todas as freqüências aleatoriamente".

A segunda guerra mundial produziu avanços significativos, tanto no campo da eletrônica, o que incluiu as tecnologias de gravação, como no campo da acústica, com o desenvolvimento dos absorvedores de baixas freqüências e a possibilidade de se prever o desempenho acústico de um ambiente por meio de modelos em escala reduzida.

Para ALDRED (1971, p.11), "a Alemanha liderou esse processo com seu gravador chamado 'magnetofone', que utilizava uma fita de base plástica rodando a uma velocidade de 56cm/s. A qualidade do som era tão boa que, durante a segunda metade dos anos 40, as gravadoras passaram a considerar a fita magnética mais apropriada para a gravação de seus artistas, que os discos de 78rpm da época. Assim, devido à alta qualidade do som gravado em fitas magnéticas, foi possível desenvolver um novo tipo de disco, que era feito de materiais melhores, rodava numa velocidade menor (33rpm) e, por isso, podia armazenar mais músicas. O primeiro 'long-play' surgiu em 1946 e já possuía uma excelente qualidade de som, visivelmente incompatível com a qualidade e a fidelidade dos toca-discos da época. Mas foi somente a partir dos anos 50 que a indústria eletroeletrônica se viu obrigada a desenvolver produtos com alta fidelidade, tanto para gravação como para reprodução do som, num processo que se mantém até os dias de hoje".

Imagem 1.01: *Técnico prepara equipamento em Abbey Road, para gravar a cerimônia de coroação do Rei George VI, em 1937 (Fonte: Southall, Vince & Rouse, 1997).*

Sem dúvida, o grande progresso, tanto em termos de acústica de estúdios, quanto em termos de equipamentos de gravação, deu-se a partir do início dos anos 60, com o advento da música pop (em todo o mundo), e dos Beatles (na Inglaterra), cujo principal expoente foram os estúdios Abbey Road, em Londres (Imagem 1.01).

O projeto acústico das primeiras salas técnicas de estúdios de gravação procurava criar um ambiente parecido com aquele em que a música seria reproduzida, como a sala de estar de uma residência comum, sem grandes preocupações em relação ao tratamento acústico de suas superfícies internas (Imagem 1.02)

Imagem 1.02: *Técnico trabalhando em pé, numa das salas técnicas de Abbey Road no final dos anos 30, observando a sala de gravação através de um pequeno visor (Fonte: Southall, Vince & Rouse, 1997).*

De acordo com LORD *et al* (1986, p.14), "os estúdios Abbey Road, inicialmente utilizados como principal laboratório de pesquisas da gravadora EMI, foram os primeiros a experimentar salas técnicas dotadas de grande capacidade de absorção sonora – as chamadas salas 'mortas' (ou *dead rooms*) – e lançar a tendência aos demais estúdios mundo afora".

Também foi lá que se pesquisou e desenvolveu toda a tecnologia de mixagem que utilizamos até hoje (Imagem 1.03). Com o advento das mixagens em dois canais (stereo), o trabalho do engenheiro de som passou a exigir mais qualidade na acústica da sala técnica, de modo que fosse possível garantir uma maior precisão em sua percepção da "imagem" estereofônica. Nesse sentido, da metade dos anos 60 até hoje, uma série de filosofias de projeto de salas técnicas foram criadas e testadas, cada uma delas com suas vantagens e desvantagens em relação às demais. Abordaremos este assunto no terceiro capítulo deste trabalho.

Segundo LORD *et al* (1986, p.15), "nos anos 50, o tempo de reverberação[19] (RT_{60}) de uma sala técnica dos estúdios Abbey Road era de 0,58s. O piso era revestido de uma espécie de borracha lisa (tipo 'paviflex' ou 'plurigoma'), em placas coladas. Uma pequena parte da superfície das paredes era revestida com materiais porosos, absorvendo apenas altas e médias freqüências de forma modesta".

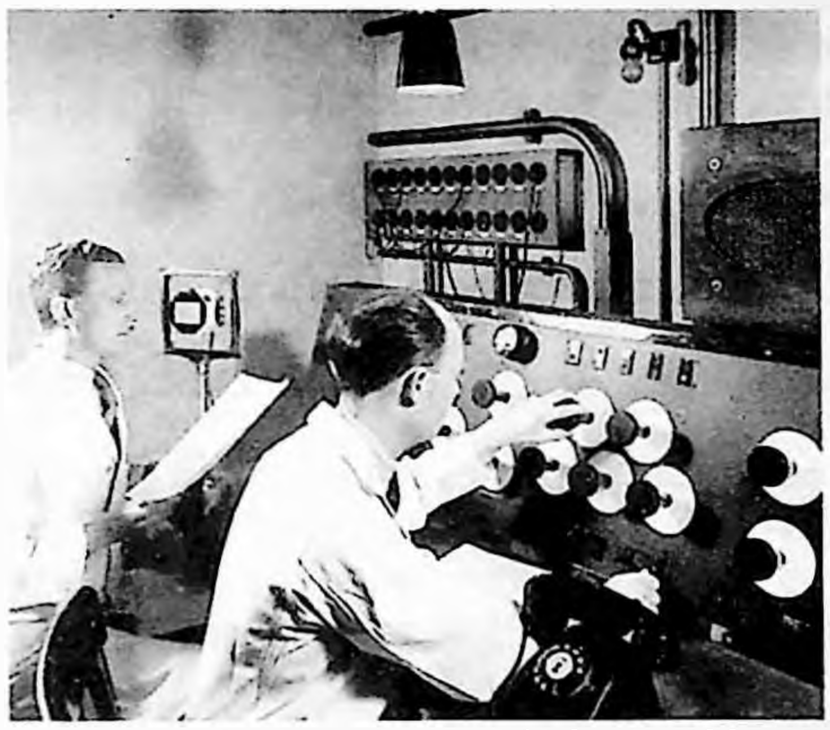


Imagem 1.03: *Foto da primeira mesa de mixagem instalada em Abbey Road, no início dos anos 40 (Fonte: Southall, Vince & Rouse, 1997).*

LORD *et al* (1986) prossegue: "Durante os anos 60, o tempo de reverberação foi reduzido a 0,4s, mas o piso de borracha se manteve. Nos anos 70, o tempo de reverberação foi reduzido para 0,3s, graças à substituição do piso de borracha por carpete e à instalação de placas vibrantes de absorção de baixas freqüências. Numa outra reforma, em Outubro de 1983, o tempo de reverberação foi reduzido para 0,22s, por conta do acréscimo de materiais absorventes nas superfícies internas da sala. No entanto, o resultado não foi bem aceito, principalmente por parte dos técnicos e engenheiros de som, que alegavam uma certa sensação de claustrofobia durante seu trabalho, provavelmente decorrente das características quase anecóicas da sala, devido ao fato de seu tempo de reverberação ser muito próximo de 0,0s. Essa longa evolução foi o resultado de um processo constante em busca da situação considerada ideal por técnicos e engenheiros em Abbey Road".

[19] N. do A .: Ver definição no Terceiro Capítulo

De acordo com SOUTHALL *et al* (1997, p.186), "os constantes projetos de decoração dos ambientes dos Estúdios Abbey Road, associados à retirada do excesso de material absorvente e das experiências com diferentes tipos de mobiliário, resultaram em um dos melhores estúdios de gravação de todo o mundo. Durante os anos 90, as salas técnicas foram reformadas pela última vez, de modo a garantir um tempo de reverberação em torno de 0,35s em todas elas". (na média)

A gravação em vários canais, o uso de reverberação artificial e outros efeitos produzidos por equipamentos eletroeletrônicos fizeram com que se procurasse, cada vez mais, obter um tempo de reverberação bastante reduzido também nos projetos de salas de gravação. Entretanto, ao longo de seus mais de 50 anos de existência, as salas de gravação dos Estúdios Abbey Road não acompanharam essa tendência (Imagem 1.04).

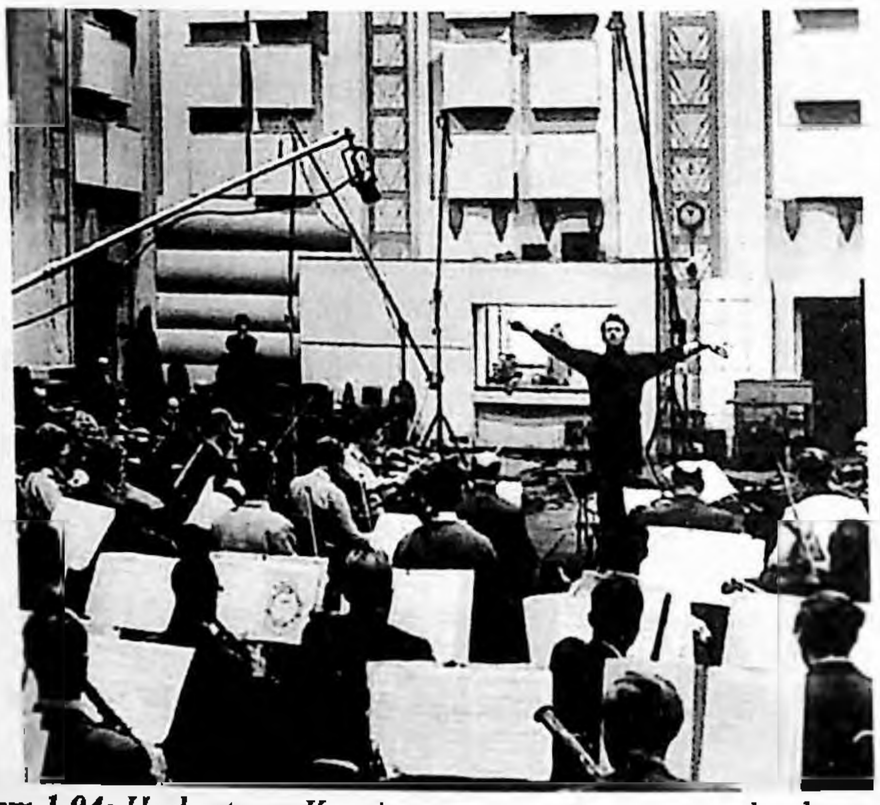


Imagem 1.04: *Herbert von Karajan rege orquestra na sala de gravação do Estúdio 1 em Abbey Road, nos anos 50 (Fonte: Southall, Vince & Rouse , 1997).*

Segundo Peter Cobbin[20], engenheiro de gravação sênior de Abbey Road, "a tendência em reduzir drasticamente o tempo de reverberação de salas de gravação nunca chegou a Abbey Road devido às suas características multifuncionais, ou seja, a possibilidade de se poder gravar todo tipo de música, seja ela clássica ou popular (...) tanto que, até hoje, não há melhor lugar para se gravar uma orquestra como no Estúdio 1".

[20] Informação obtida por telefone.

De acordo com Manny Monteiro[21], baterista, produtor musical, ganhador do Prêmio Sharp de Música (1995) e supervisor do SL Estúdio, em São Paulo, "nos dias de hoje, muitos estúdios substituíram seus gravadores analógicos, cujo registro era feito numa fita magnética, por modernos sistemas digitais de gravação, supostamente livres de ruídos e interferências. Entretanto, muitos ainda preferem os tradicionais gravadores, pois alegam que eles são capazes de conferir uma característica a mais na qualidade do som gravado, característica esta que, por ser aparentemente subjetiva, a tecnologia digital ainda não alcançou: o 'calor' do som".

[21] Informação verbal.

1.2. TIPOS DE ESTÚDIOS – SUAS CARACTERÍSTICAS E DIFERENÇAS

Para que possamos compreender o funcionamento e as necessidades de um estúdio de gravação de áudio, é necessário conhecer cada um dos demais tipos de estúdios mais comuns, suas características e diferenças entre eles.

1.2.1. Estúdios de rádio

Durante muito tempo, era comum que os estúdios de rádio recebessem artistas e orquestras para apresentações ao vivo que, inclusive, contavam com uma pequena platéia. Entretanto, a partir dos anos 70, esse tipo de programa foi perdendo cada vez mais espaço e, atualmente, apenas umas poucas estações na Europa ainda mantêm essa tradição.

Segundo LORD *et al* (1986, p.105), "os estúdios de uma estação de rádio devem ter, no mínimo, os seguintes ambientes: um estúdio completo, sem necessidade de operador (chamado de *on-air self-operated studio*), com área útil de 15 a 25m^2 (Imagem 1.05); um segundo estúdio completo, sem necessidade de operador, com área útil de 15 a 25m^2, para ser utilizado como *back-up* do primeiro; uma pequena sala de locução, com área útil de 6 a 10m^2; um estúdio de produção, com área de 25 a 40m^2; uma sala técnica exclusiva do estúdio de produção, com área de 15 a 20m^2; e uma sala de equipamentos, com área de 10 a 15m^2".

Imagem 1.05: *Exemplo de estúdio de rádio (Fonte: Rádio Bandeirantes FM, SP).*

Como a maioria dos estúdios comerciais de rádio está localizada em áreas centrais das cidades, é muito comum que suas instalações sejam feitas em edifícios de uso múltiplo, que tiveram seus ambientes concebidos para ser utilizados como escritórios ou consultórios, o que requer uma série de providências e adaptações construtivas de modo a garantir o isolamento acústico necessário.

1.2.2. Estúdios de televisão

Segundo LORD *et al* (1986, p.105), "estúdios de televisão preparados para receber grandes espetáculos, principalmente de música ao vivo (como orquestras sinfônicas, por exemplo), devem ser uma espécie de 'miniatura' de uma sala de concerto, com um palco de dimensões suficientes para esse tipo de programa, e uma pequena platéia inclusive. Para gravar novelas e seriados, os estúdios devem possuir pé-direito alto para a distribuição dos equipamentos de iluminação e permitir planos de câmera abertos" (Imagem 1.06).

Imagem 1.06: *Exemplo de estúdio de televisão (Fonte: Rede Globo de Televisão, RJ).*

1.2.3. Estúdios de cinema e vídeo

Estúdios de cinema e vídeo requerem grandes espaços com versatilidade acústica, necessária à criação de diversos ambientes e efeitos em determinadas produções. Assim como nos estúdios de televisão, o pé-direito deve ser suficientemente alto para que os elementos de iluminação, geralmente pendurados no teto, não interfiram no campo da imagem, mesmo nos ângulos de câmera mais abertos (Imagem 1.07)

Imagem 1.07: Exemplo de estúdio de cinema (Fonte: Cinevídeo, SP).

1.2.4. Estúdios comerciais de gravação de áudio

De acordo com COOPER (1976, p.28), "em geral, o isolamento acústico dos ambientes do estúdio deve ser suficiente para evitar quaisquer interferências, tanto em relação ao espaço externo, quanto entre eles. Já o tempo de reverberação deve ser compatível com seu uso predominante. A sala de gravação pode contar com espaços mais 'vivos' (ou seja, com maior tempo de reverberação, para gravação de piano acústico, cordas, metais e madeiras), e espaços mais 'mortos' (ou seja, com menor tempo de reverberação, para gravação de guitarras, bateria e vocais), tornando-a mais versátil (Imagem 1.08). O nicho para bateria pode ser aberto ou fechado, mas deve sempre existir".

Imagem 1.08: Exemplo de sala de gravação com áreas mais "vivas", à direita, e áreas mais "mortas", à esquerda (Fonte: Falcon Studios, USA).

COOPER (1976) prossegue: "a sala técnica, por sua vez, deve permitir que produtores e engenheiros de gravação escutem com clareza o resultado do trabalho dos artistas. Por isso, sua geometria e seu tratamento acústico devem evitar ao máximo quaisquer tipos de interferências no som que ali se ouve. Além disso, também deve acomodar com conforto os músicos, produtores e artistas durante as sessões de gravação e mixagem" (Imagem 1.09).

Imagem 1.09: *Exemplo de sala técnica com área para acomodar músicos e produtores (Fonte: FM Studio Design, USA).*

De modo a atender à maior gama possível de artistas e suas exigências, além da boa qualidade acústica de seus ambientes, instrumentos, e equipamentos disponíveis, itens como localização, conforto e privacidade também são aspectos analisados pelos artistas no momento de escolher um estúdio comercial de gravação de áudio.

1.2.5. Estúdios de ensaio

Segundo COOPER (1976, p.29), "o ambiente deve ser amplo, claro, com móveis e objetos dispostos de forma que propiciem uma decoração agradável e aconchegante. O isolamento acústico deve ser suficiente para permitir a concentração dos músicos durante seu trabalho e evitar problemas com a vizinhança. O tempo de reverberação não deve ser excessivamente baixo, para que todos os músicos escutem uns aos outros em qualquer ponto da sala. Não há necessidade de uma técnica ou de um nicho para a bateria, por exemplo, uma vez que o objetivo do ambiente é permitir a maior integração possível entre os seus ocupantes".

Estúdios de ensaio devem possuir características arquitetônicas e acústicas que possibilitem o máximo conforto e bem-estar de músicos e produtores durante os longos períodos que passam lá dentro (Imagem 1.10).

Imagem 1.10: *Exemplo de estúdio de ensaio (Fonte: MIX Magazine on-line).*

1.2.6. Estúdios caseiros *(home-studios)*

Estúdio caseiro pode ser definido como o ambiente de uma casa ou apartamento que acomoda, simultaneamente, as funções de sala de gravação e sala técnica. A maioria das gravações chamadas "caseiras" é feita em ambientes assim, onde uma mesma pessoa grava e é gravada. Por isso, é muito comum que um único espaço desse tipo acomode uma série de instrumentos musicais, microfones, gravadores, amplificadores e demais equipamentos, fazendo com que a sala seja utilizada, ora como sala de gravação, ora como sala técnica (Imagem 1.11).

Imagem 1.11: *Exemplo de estúdio caseiro (Fonte: MIX Magazine on-line).*

COOPER (1976, p.149) relaciona cinco aspectos importantes que devem ser observados na instalação de estúdios caseiros, além das providências de isolamento e tratamento acústico do ambiente:

- "Determinar um ponto de audição ao longo do eixo de simetria da sala, de frente para a parede onde os monitores serão fixados. Para ambientes caseiros (com dimensões entre 3m e 7m), o ponto de audição deve estar posicionado a uma distância igual a 70% da largura da parede para onde ele está voltado, por exemplo: para uma parede de 3m de largura, o ponto de audição deve estar a 2,10m de distância dela";

- "Os monitores devem ser firmemente fixados a essa parede, formando um triângulo eqüilátero perfeito entre eles e o ponto de audição";

- "Os monitores devem estar à altura dos ouvidos de uma pessoa sentada (aproximadamente 1,10m), ou um pouco mais altos, com os eixos dos *tweeters* direcionados para o ponto de audição";

- "Não deve haver qualquer tipo de obstáculo entre os monitores e o ponto de audição";

- "É recomendável, ainda, que todos os equipamentos ruidosos (principalmente os gravadores) sejam instalados num espaço anexo ao estúdio, com isolamento acústico suficiente para atenuar o ruído de motores e ventiladores desses equipamentos".

1.3. O PROCESSO CONTEMPORÂNEO DE GRAVAÇÃO DE UM CD

Em linhas gerais, o processo de gravação de um CD de música em estúdio pode ser dividido em três etapas distintas: captação, mixagem e masterização. A captação é o momento do registro – em fita magnética ou em meio digital – dos sons e vozes que comporão o trabalho final. A mixagem é o momento em que se trabalha cada um desses sons e vozes anteriormente registrados, acrescentando efeitos, equalizando volumes de instrumentos e vozes, comparando timbres, e verificando a necessidade – ou não – de se captar novamente o som de algum instrumento ou voz cuja qualidade tenha se mostrado comprometida. A masterização é o momento em que se equilibra o volume e se define a ordem das músicas no disco, a duração de cada uma, e o intervalo entre elas.

De acordo com ALDRED (1971, p.165), "um longo processo antecede a entrada dos músicos no estúdio para a gravação de um disco. Partindo do pressuposto de que o artista – ou o grupo – já decidiu que vai gravar seu trabalho, quer seja por intermédio de uma gravadora, quer seja de forma independente, o primeiro passo é a escolha do repertório. Em seguida, têm início os trabalhos de elaboração dos arranjos das músicas, que podem ser feitos tanto por um maestro como pelos próprios músicos que participarão da gravação. Definidos os arranjos, começam as sessões de ensaio, para garantir que todos estejam bastante à vontade no momento das músicas serem gravadas. Esta fase inicial do trabalho é chamada de pré-produção".

Para nós, arquitetos, conhecer o processo contemporâneo de gravação é fundamental no momento da concepção do projeto de um estúdio.

1.3.1. Captação de sons de instrumentos e vozes

A fase de produção propriamente dita começa no momento em que os músicos entram no estúdio para as primeiras sessões de gravação. Descreveremos o processo de gravação de um CD típico de música popular, constituído por canções. Esse tipo de gravação, na grande maioria das vezes, é do tipo "multi-pista" ou "multicanal". Isso quer dizer que cada instrumento ou voz é gravado em um canal (ou pista) exclusivo, permitindo ajustes independentes, pelo técnico, no momento da mixagem.

Segundo HO (2002), "em geral, o produtor começa o trabalho definindo a 'base' da música, ou seja, a sua 'espinha dorsal'. Os instrumentos são gravados um a um, separadamente e, normalmente, a bateria é o primeiro instrumento a ser gravado (Imagem 1.12). Para tal, é necessário gravar uma guia (ou um *playback*) para que o baterista tenha a referência para tocar. Na maioria das vezes, um ou dois instrumentos (guitarra e contrabaixo, por exemplo) mais a voz do intérprete são suficientes para compor essa guia. Como não há preocupação alguma com o resultado dessa guia, os instrumentos podem ser conectados diretamente à mesa de gravação, assim como o microfone do intérprete".

Para Manny Monteiro[22], "a montagem da bateria, a escolha dos microfones a serem utilizados, e seu correto posicionamento podem levar algumas horas. Atualmente, músicos e produtores preferem captar o som da bateria em uma sala mais reverberante. São utilizados microfones específicos para bateria (em geral, um microfone para cada peça, para reduzir o risco de que haja 'vazamento' excessivo do som de uma determinada peça pelo microfone de outra, o que dificultaria o trabalho durante a mixagem). O produtor e o técnico devem escutar o timbre de cada peça e o balanço geral da bateria antes da captação. Uma bateria standard é composta de, no mínimo, oito peças: um bumbo[23], um surdo[24], uma caixa[25], um chimbal[26] (ou *hi-hat*), dois tambores[27] (ou *ton-tons*) e dois pratos[28]".

---

[22] Informação verbal.

[23] É o maior dos tambores da bateria. Fica no chão, no centro das demais peças, e é tocado por meio de um pedal acionado pelo pé do baterista, que movimenta uma haste cuja ponta é forrada com uma bola de feltro. Produz um som de baixas freqüências e curta duração (ARDLEY, 1988, p.52).

[24] O surdo é um tambor de sons de freqüências intermediárias entre os ton-tons e o bumbo (ARDLEY, 1988, p.53).

[25] Também conhecida como "tarol", a caixa é um tambor original das fanfarras, que produz um estalido de alta freqüência e grande intensidade (ARDLEY, 1988, p.52).

[26] Trata-se de um par de pratos montado num suporte equipado com um pedal que, pressionado, faz com que os pratos se fechem um contra o outro, produzindo um som "seco". O baterista pode fazer soar o prato superior, batendo-lhe com as baquetas e, depois, usar o pedal para interromper o som (ARDLEY, 1988, p.52).

[27] Tambores montados sobre o bumbo, que produzem sons de freqüências mais altas (ARDLEY, 1988, p.53).

[28] As baterias, em geral, utilizam dois pratos: um para "condução", que produz um som mais "contido", destinado a determinar o andamento da música; e outro para "acentuação", que produz um som mais "retumbante", de maior intensidade, geralmente utilizado para marcar o clímax de uma determinada parte da música (ARDLEY, 1988, p.52).

Dessa forma, serão necessários, pelo menos, oito microfones para a captação da bateria, mas é muito comum termos dez, doze ou até dezesseis canais destinados exclusivamente a ela.

Imagem 1.12: *Bateria completa (Fonte: DW Drums, Inc., USA).*

De acordo com HO (2002), "o segundo instrumento a ser gravado é o contrabaixo que, juntamente com a bateria, define o partido rítmico de cada uma das músicas, a sua estrutura (Imagem 1.13). Por ser um instrumento com sons predominantemente de baixas freqüências, é muito comum que ele seja gravado 'em linha'[29] e, portanto, sem o 'reforço' sonoro da sala. Isso acontece porque boa parte das salas de gravação não possui uma correta resolução acústica para as baixas freqüências, com paralelismo entre suas superfícies, excesso de ressonâncias e ausência de um sistema de absorção dos sons graves. O resultado, em geral, é correto. Entretanto, o som costuma ficar inexpressivo. É possível melhorar um pouco esse resultado por meio do uso de recursos eletrônicos, como um simulador de amplificadores e caixas acústicas".

Manny Monteiro[30] afirma que, "sem dúvida alguma, o ideal é escolher uma boa sala de gravação e captar o som do contrabaixo amplificado, resultando num som mais 'pesado' e 'encorpado' devido ao reforço sonoro decorrente da reverberação da sala".

---

[29] N. do A.: Gravar um determinado instrumento eletrônico em linha significa conectá-lo diretamente à mesa de gravação, sem o uso de amplificação e, portanto, sem o reforço sonoro da sala de gravação.

[30] Informação verbal

Com a estrutura rítmica pronta, iniciamos a captação da estrutura harmônica das músicas. Violão (ou guitarra elétrica) e piano (ou teclados) são os próximos instrumentos a serem gravados. Em geral, os instrumentos de corda (violão e/ou guitarra) são gravados antes do piano e/ou dos teclados, mas isso não é uma regra.

Segundo Manny Monteiro[31], "para a gravação de violão, uma sala mais 'viva' é recomendada, para garantir uma certa 'ambiência' ao som. No caso da guitarra, a posição da caixa acústica do amplificador, na sala, pode alterar significativamente o resultado da gravação".

Imagem 1.13: *O contrabaixo elétrico (Fonte: Fender Guitars, Inc., USA).*

De acordo com WHITE (1999, p.89), "um recurso bastante utilizado na captação do som da guitarra é aquele conhecido como sistema de 'dobras' ou 'camadas' sonoras, o que significa gravar várias vezes o mesmo instrumento para, durante a mixagem, selecionar e equilibrar cada um dos timbres, tendo como resultado uma massa sonora equivalente ao som de diversos músicos tocando simultaneamente. Ao invés do músico gravar várias vezes a mesma parte, costuma ser mais fácil conectar a guitarra em um seletor de vias – ou de linhas – e amplificar o som por intermédio de três amplificadores diferentes, colocados em ambientes diferentes. Utilizando dois microfones para cada amplificador, obtém-se seis canais com características diferentes uns dos outros".

Existem, no entanto, diversas maneiras de se posicionar os microfones em relação à fonte sonora, para que se obtenha efeitos diferentes.

---

[31] Informação verbal

Para HO (2002), "o uso de um ou mais microfones para captar o som da guitarra, e a posição dele(s) em relação à fonte sonora (a caixa acústica), também alteram o resultado da gravação. Pode-se colocar o microfone 'na tela' ou 'na grade', o que quer dizer que se coloca um microfone próximo ao alto-falante da caixa-acústica do amplificador de guitarra, direcionado para o cone e não para o seu eixo central. Pode-se, também, trabalhar com dois microfones, no sistema conhecido como 'perto/longe', o que quer dizer que, além do microfone colocado 'na grade', um segundo microfone é colocado a uma distância da fonte sonora em torno de 5m, para captar o som resultante da reverberação da sala, que é gravado em um canal separado do primeiro. Na mixagem, o técnico tem o recurso de poder misturar os dois timbres, em quantidades não necessariamente iguais, até conseguir o resultado desejado. Uma terceira forma de captação do som da guitarra em estúdio, conhecida como 'frente/trás', consiste na utilização de dois microfones posicionados à mesma distância em relação ao alto-falante, sendo um à frente do amplificador e, o outro, atrás. Neste caso, é muito importante que se preste atenção para que não haja cancelamento de fase dos microfones, comprometendo o resultado final".

Bateria, contrabaixo e guitarra – ou violão – compõem o que músicos e produtores chamam de "base" das músicas, ou seja, aquela estrutura que vai permanecer inalterada até o final das gravações, servindo de referência para a gravação dos demais instrumentos e vozes que constituem cada arranjo. Segundo HO (2002), "a fase seguinte tem início após a certeza, do artista e de seu produtor, de que as 'bases' gravadas na fase anterior serão definitivas. A partir desse momento, não há a necessidade de se seguir uma ordem determinada ou seqüência específica na captação dos demais instrumentos e vozes. Via de regra, cabe ao produtor ir definindo cada instrumento a ser captado, seguindo um critério técnico ou pessoal".

De acordo com Manny Monteiro[32], "alguns produtores costumam intercalar as sessões de captação das 'bases' e as sessões de captação dos demais instrumentos e vozes com um bom intervalo de tempo, para que seja possível trabalhar cada música individualmente, repensando seus arranjos e o resultado final esperado".

---

[32] Informação verbal

Para HO (2002), "teclados eletrônicos e sintetizadores, em geral, devem ser previamente programados, timbrados e gravados em linha, como o contrabaixo. Pianos acústicos e órgãos eletrônicos devem ter seu som captado por intermédio de microfones, em salas com tempo de reverberação entre 0,5s e 0,7s. Alguns timbres específicos de teclado já possuem características de reverberação bastante satisfatórias e, por isso, dispensam a amplificação e o uso de efeitos eletrônicos como *reverb*[33] ou *delay*[34]. Hoje em dia, os teclados fazem muita diferença em termos de versatilidade. Muitas bandas de rock que procuram um resultado sonoro próximo ao de orquestras completas, recorrem aos teclados inteligentes, com timbres obtidos a partir de *samplers*[35], com resultados surpreendentes, a um preço indiscutivelmente mais baixo".

Até aqui, temos registrado o seguinte: bateria, contrabaixo, guitarra (e/ou violão) e piano (e/ou teclados) em sua versão definitiva, e a 'voz guia' do intérprete (provisória). Nesse momento, têm início a captação dos instrumentos de percussão, dos naipes de cordas e metais, e dos solos. De acordo com HO (2002), "para os músicos, o momento do solo pode ser supremo, corriqueiro, indiferente ou, até, ausente. Depende do estilo de cada um. Muitos já trazem o solo pronto e definido, bastando algumas tomadas e emendas para finalizar. Outros gostam de improvisar no estúdio, em clima de espontaneidade e inspiração, deixando para escolher os 'melhores momentos' no final. Depois, o produtor vai montando o solo a partir de vários fraseados gravados, até conseguir o resultado esperado".

Segundo WHITE (1999, p.65), "captados os sons de todos os instrumentos que comporão o arranjo final das músicas, é hora de substituir a 'voz guia' gravada no início pelo vocal definitivo, e captar também os vocais de fundo (também chamados de *backing vocals*). Em ambos os casos, a captação dos vocais deve ser feita em salas cujo tempo de reverberação seja baixo (menor que 0,4s)".

---

[33] N. do A.: Reverberação artificial, obtida por meio de equipamentos eletrônicos

[34] N. do A.: Eco artificial, obtido por meio de equipamentos eletrônicos

[35] N. do A.: Amostras de sons reais que, em geral, compõem o banco de sons dos teclados mais modernos.

"No caso específico da gravação dos vocais, a recomendação de utilização de um ambiente com tempo de reverberação baixo decorre da necessidade de se garantir a melhor inteligibilidade possível da letra da música. Assim, quaisquer efeitos eletrônicos para criar ambientação (como *reverb* ou *delay*, por exemplo), podem ser adicionados somente durante a mixagem" (COOPER, 1976).

Para HO (2002), "o aquecimento das cordas vocais é primordial para os cantores e vocalistas. Por isso, é recomendável muito cuidado com o controle da temperatura do ar condicionado no estúdio e a fumaça de cigarro nas salas adjacentes. Intercalar as gravações dos vocais com as de outros instrumentos costuma ser uma boa solução para que o(s) vocalista(s) possa(m) manter estável(is) a(s) característica(s) da voz, durante todo o período de captação. Uma sessão de gravação de vocal muito longa pode afetar o timbre e a qualidade da interpretação de um cantor. Cabe ao produtor observar a dicção, a interpretação, a afinação e a respiração dos vocalistas durante a captação, e sugerir soluções para eventuais problemas".

1.3.2. Mixagem

Concluída a captação de todos os sons de instrumentos e vozes previstos para cada faixa do disco, passa-se à segunda etapa do trabalho chamada de mixagem. É nesta etapa que o artista e seu produtor vão "montar" cada música da forma como serão ouvidas.

A mixagem é feita basicamente no ambiente da sala técnica. Eventualmente, um ou outro instrumento pode ter que ser regravado e, então, é feita uma sessão específica para tal.

Vimos que os sons de instrumentos e vozes foram gravados em canais – ou pistas – separados. Segundo HO (2002), "em geral, utilizam-se múltiplos de oito, e a gravação de um CD com arranjos e orquestrações mais complexas pode demandar 48, 64 ou, até mesmo, 128 canais. Um gravador analógico profissional, que registra o som numa fita magnética, pode ter até 24 canais. Para isso, é necessária uma fita magnética de duas polegadas de largura. Se forem necessários mais canais, utiliza-se um segundo gravador idêntico ao primeiro, trabalhando de forma sincronizada com este".

De acordo com Manny Monteiro[36], "a captação dos sons também pode ter sido feita em meio digital, que procura reproduzir, com o auxílio de interfaces gráficas, o ambiente analógico a que a grande maioria de técnicos e produtores está acostumada a trabalhar. A principal função da mixagem, tanto analógica quanto digital, é distribuir e acomodar os sons, registrados em diversos canais, em apenas dois, resultando no efeito chamado estereofonia. Mais recentemente, com o advento do DVD, as mixagens também são feitas em seis canais, num sistema conhecido com 5.1".

Segundo HO (2002), "as mesas de som – também conhecidas como 'consoles' ou 'mixers' – servem tanto para endereçar os instrumentos para o gravador multi-pista (no momento da captação dos sons) quanto para se ouvir os sons gravados e endereçá-los para o gravador estéreo, no momento da mixagem (Imagem 1.14). Nesse caminho – entre a mesa e o(s) gravador(es) – são conectados os efeitos eletrônicos e os processadores de sinal, que visam melhorar a qualidade dos sons gravados. Se os sons fossem gravados já com a adição de efeitos, não se poderia corrigir eventuais excessos ou problemas, a não ser gravando-os novamente. Na mixagem, quando se registra em apenas dois canais tudo o que foi previamente gravado num sistema multi-pista, o operador se concentra no processamento definitivo de cada sinal".

Imagem 1.14: *Mesa de som digital em sala técnica de estúdio (Fonte: Glenwood Place Studios, USA).*

"Os processadores se dividem em dois grupos, pelo seu uso individual ou coletivo e pela maneira de serem conectados à mesa" (WHITE, 1999).

---

[36] Informação verbal.

De acordo com HO (2002), "efeitos, como o *reverber* ou o *delay*, podem ser usados por vários canais ao mesmo tempo, em diferentes intensidades, como um mesmo *reverber*, que pode ser regulado mais intensidade no canal da voz, por exemplo, e com menos intensidade no violão. Nos controles auxiliares dos canais da mesa, dosam-se as intensidades do efeito para cada canal. Já os efeitos como os equalizadores, *noise gates*[37] e compressores[38] são de uso individual, que modificam inteiramente um sinal, sem ser possível controlar sua intensidade, e que são usados cada um num único canal".

Manny Monteiro[39] explica que, "como a necessidade (ou não) de se acrescentar um determinado efeito a um instrumento pré-gravado ou, ainda, modificar (ou não) o seu sinal, é fruto da percepção auditiva do técnico, do produtor e do artista, é muito importante que a acústica da sala técnica não interfira nessa decisão. Por isso as características acústicas da sala técnica são tão importantes, uma vez que eles são responsáveis por estabelecer os parâmetros de balanço e volume entre os diversos instrumentos e vozes, bem como da sensação do efeito multicanal – 2 canais (stereo) ou 6 canais (surround 5.1)".

Segundo HO (2002), "muitas vezes, durante a mixagem, se percebe que um determinado instrumento não ficou bem gravado, e é muito comum que o artista e seu produtor decidam pela regravação de um ou mais instrumentos, de modo a se obter o resultado pretendido".

1.3.3. Masterização

A terceira etapa do processo de gravação de um CD é chamada de masterização e tem início a partir da conclusão dos trabalhos de mixagem de cada uma das faixas que deverão compor o disco. O objetivo principal da masterização é, como o próprio nome diz, definir a 'master' do CD, ou seja, o original que será utilizado na sua reprodução industrial.

---

[37] N. do A.: Redutores de ruído.

[38] N. do A.: Comprimem o espectro de freqüências de uma determinada faixa – ou pista – cortando aquelas acima ou abaixo dos limites estabelecidos pelo técnico

[39] Informação verbal

Segundo HO (2002), "o processo de masterização se resume em ordenar as faixas conforme a vontade do artista e seu produtor, definir o tempo de duração de cada uma e o intervalo entre elas, equalizar seus volumes e acertar pequenos detalhes sonoros".

Manny Monteiro[40] afirma que "o trabalho de masterização deve ser feito em um ambiente com equipamentos e características acústicas bastante específicas, pois a qualidade acústica de uma sala de masterização é, talvez, a sua característica mais importante, e todas as demais considerações – equipamentos, inclusive – são secundárias. Por isso, é fundamental que todo o processo de masterização de um CD não seja feito na mesma sala onde foi feita a sua mixagem, tampouco pelo mesmo técnico – ou engenheiro – de gravação, de modo a evitar eventuais vícios de percepção auditiva. Portanto, tão importante quanto selecionar um profissional que possua experiência nesse tipo trabalho, e que seja capaz de transformar uma simples gravação numa verdadeira obra-de-arte, é escolher uma boa suíte de masterização" (Imagem 1.15).

Imagem 1.15: *Sala de masterização profissional dos Estúdios Mosh, SP (Fonto: A. Larghero).*

De acordo com o produtor musical norte-americano David Torrey[41], "o processo de masterização pode ser dividido em três fases: montagem (ou edição), suavização (ou ajustes), e saída".

[40] Informação verbal

[41] http://www.drtmastering.com/faq2.htm

Na primeira fase (chamada de montagem, ou edição), as músicas são transferidas para um meio digital, a fim de serem manipuladas por intermédio de um software editor. Elas são, então, ordenadas na sua seqüência definitiva, determinada pelo artista e seu produtor. Início e fim de cada música são checados cuidadosamente, e o intervalo entre elas é uniformizado. Eventuais ruídos que, porventura, ainda persistam, podem ser eliminados ou atenuados por meio de softwares e equipamentos sofisticados.

A segunda fase é chamada de *sweetening*, cuja tradução literal é suavização. Na época dos discos de vinil, quando essa etapa do processo de gravação era chamada de 'corte', os engenheiros desenvolveram uma série de processadores de sinal (como os equalizadores e compressores, por exemplo), para evitar que o som de determinadas faixas extrapolasse os limites máximos previstos para aquele disco. Com o tempo, perceberam que, alterando alguns parâmetros, era possível obter melhorias significativas no resultado final, principalmente em se tratando de rock e música pop. Os equipamentos, então, passaram a ser projetados e construídos com o objetivo de "suavizar" o som. Desde então, este é considerado o momento mais importante da masterização, onde se podem controlar parâmetros como "claridade", "suavidade" e "impacto", de acordo com as necessidades da música. Segundo David Torrey[42],o objetivo principal é melhorar a "intensidade emocional" de cada faixa. Se a interpretação dos músicos, o arranjo, e a qualidade da gravação forem suficientemente boas, o resultado sonoro da masterização será muito melhor que o resultado da mixagem, e essa diferença poderá ser percebida até mesmo por um leigo.

Na terceira, e última, fase do processo de masterização, chamada de *output*, as faixas acabadas e ordenadas são transferidas para uma mídia compatível com o processo de produção industrial, geralmente um CDR, ou seja, um CD gravável. Esse disco master pode ser reproduzido em qualquer equipamento normal, do tipo CD player. Assim, o cliente pode ouvir e analisar cada detalhe do trabalho e autorizar – ou não – a sua reprodução.

[42] http://www.drtmastering.com/faq2.htm

1.4. DEMANDAS ATUAIS: O MERCADO FONOGRÁFICO NO BRASIL

Segundo a ABPD (Associação Brasileira dos Produtores de Discos)[43], o faturamento da indústria fonográfica mundial em 2001 foi de US$ 33,7 bilhões, refletindo uma queda aproximada de 5% em valores e 6,5% em unidades em relação ao ano anterior. Esse resultado é atribuído ao aumento da pirataria comercial, facilitado pelo CD-R e pela Internet, e também pelo declínio econômico global em 2001 (Tabela 1.01).

Posição	*País*	*Faturamento em 2001 (em US$ milhões)*
1º	EUA	13.412
2º	Japão	5.254
3º	Reino Unido	2.809
4º	Alemanha	2.129
5º	França	1.828
6º	Canadá	660
7º	Espanha	613
8º	México	566
9º	Itália	525
10º	Austrália	523

Tabela 1.01: *Relação dos dez maiores mercados consumidores de CDs do mundo em 2001, segundo o faturamento (em US$ milhões) da indústria fonográfica (Fonte: ABPD – Associação Brasileira dos Produtores de Discos).*

O mercado brasileiro, que já ocupou o sexto lugar no ranking mundial de faturamento, hoje é o 12º colocado. De acordo com a ABPD, a queda de seis posições se deveu, basicamente, àquele que é considerado como o principal problema enfrentado pela indústria fonográfica em todo o mundo: a pirataria. Essa distorção da cadeia produtiva no Brasil já responde por 53% do mercado de CDs, e coloca o país numa desconfortável terceira posição no ranking mundial da pirataria fonográfica, perdendo apenas para a China e para a Rússia.

Em 2001, foram vendidas pouco mais de 78 milhões de unidades no território brasileiro, que geraram um faturamento de R$ 998,4 milhão (Tabela 1.02). Uma das características mais marcantes de nosso mercado é a consolidação da música nacional como gênero mais vendido, representando cerca de 80% das vendas, o que demonstra a força, a qualidade e o potencial do artista nacional.

[43] http://www.abpd.org.br

Evolução das vendas (em milhões de unidades)				Faturamento (em R$ milhões)
Ano	Fitas cassette	Compact discs (CDs)	Total	
1997	0,9	107	107,9	1.377,1
1998	0,2	105,1	105,3	1.360,4
1999	-	96,9	96,9	1.213,0
2000	-	104,2	104,2	1.326,2
2001	0,1	78,2	78,3	998,4

Tabela 1.02: *Evolução das vendas do mercado fonográfico brasileiro, de 1997 a 2001, e os respectivos faturamentos em R$ milhões (Fonte: ABPD – Associação Brasileira dos Produtores de Discos).*

1.4.1. A Música Brasileira na última década do século XX

Para a ABPD, a última década consolidou a força da música brasileira no mercado fonográfico nacional, sendo o gênero mais vendido pela indústria. Em 1991 a música brasileira representava menos de 60% do total das vendas e, em 2000 este número atingiu percentual superior a 75% (Gráfico 1.01). A diversidade cultural das regiões do país apareceu para o grande público, que ouviu ritmos característicos de todas as partes, da lambada e o boi-bumbá, do Norte, aos movimentos de música regional do Sul do Brasil, passando pelo "axé-*music*" e "mangue-*beat*" do Nordeste, o sertanejo do Centro-Oeste, e o samba, o pagode, o "*hip-hop*", o "*rap*" e o "*funk*", entre outros gêneros presentes em grandes centros como Rio de Janeiro e São Paulo.

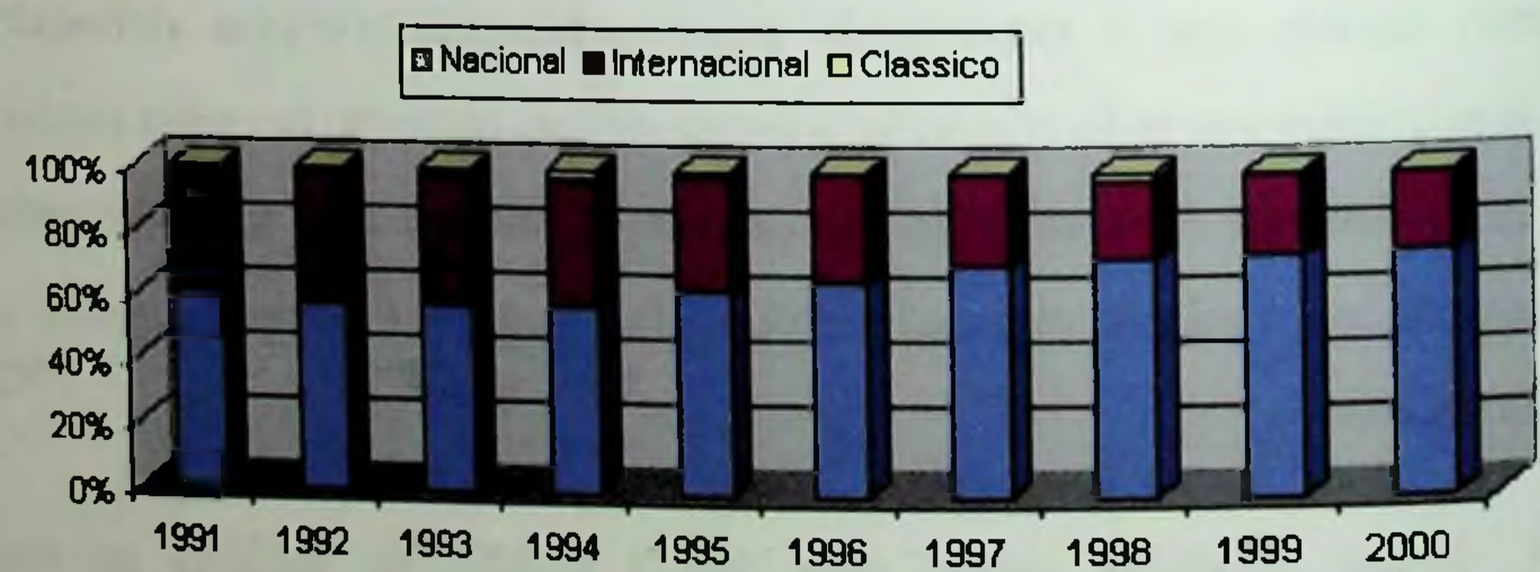


Gráfico 1.01: *Evolução da participação do repertório nacional em relação ao total de unidades vendidas no mercado brasileiro (em %), de 1991 a 2000*
(Fonte: ABPD – Associação Brasileira dos Produtores de Discos).

Este forte traço da cultura nacional é uma característica da indústria fonográfica em todo o mundo. No entanto, mesmo os países europeus marcados por forte nacionalismo não alcançam os níveis brasileiros. Somente estão à frente do Brasil, em venda de repertório local, os Estados Unidos e o Japão (Gráfico 1.02).

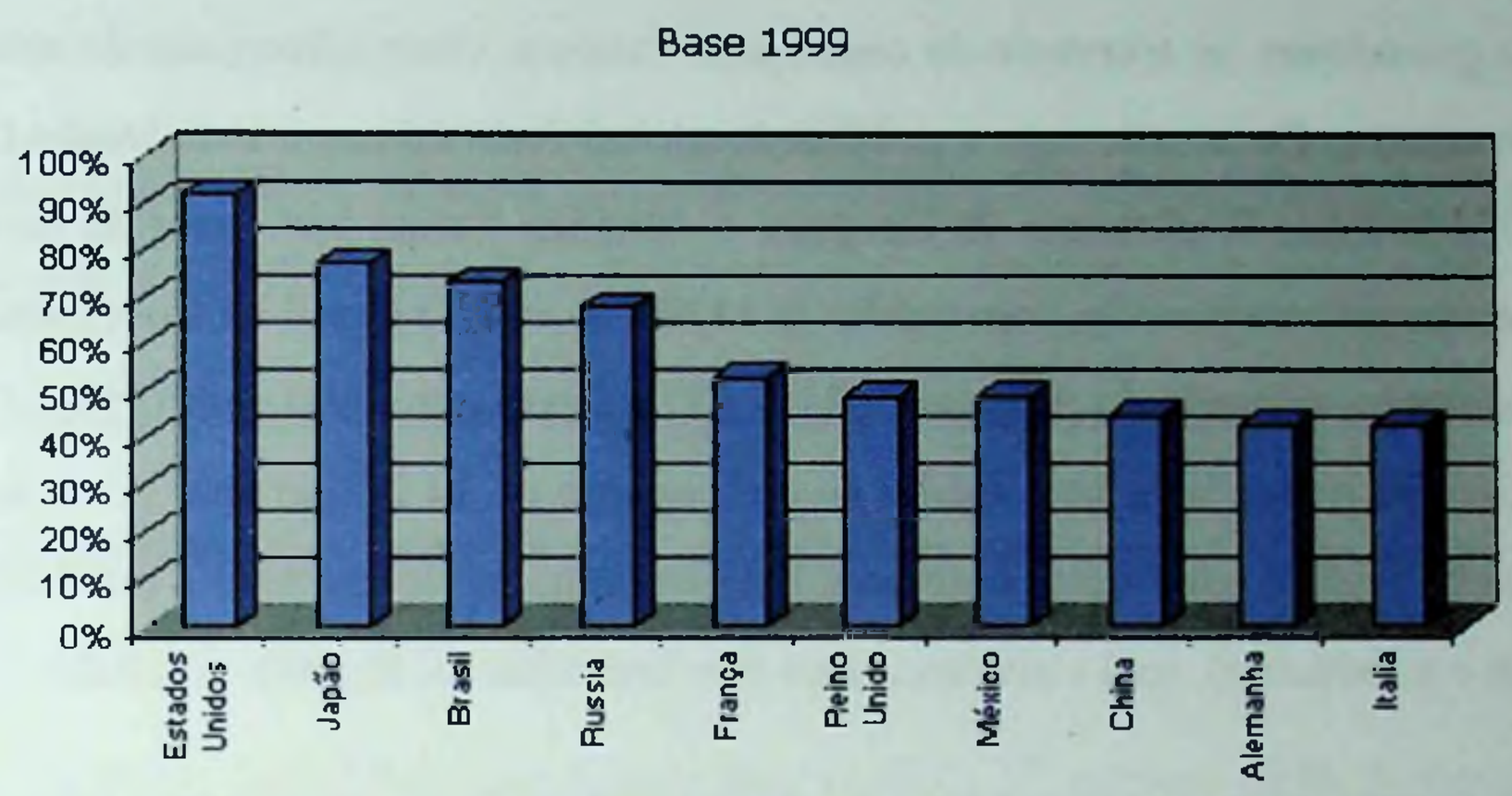


Gráfico 1.02: Comparação da participação do repertório nacional (% em relação ao total de unidades vendidas) nos dez países cuja participação desse repertório em seu mercado fonográfico é mais significativa, ano-base: 1999 (Fonte: ABPD – Associação Brasileira dos Produtores de Discos).

1.4.2. Expectativas do mercado

De acordo com a pesquisa realizada pela ABPD, junto às principais gravadoras do país, a perspectiva de crescimento da indústria fonográfica brasileira, para os anos de 2002 e 2003, é positiva e prevê uma recuperação nas vendas ao final do triênio 2001/2003 (Gráfico 1.03). Para 2001 a estimativa do mercado era de queda da ordem de 12%, devido ao alto nível de pirataria e a desaceleração da economia brasileira. Para 2002 se esperava uma recuperação do mercado, que deverá fechar com crescimento de vendas da ordem de 3,4%. Para 2003 espera-se um crescimento maior da indústria, com aumento da ordem de 5,4% em comparação a 2002.

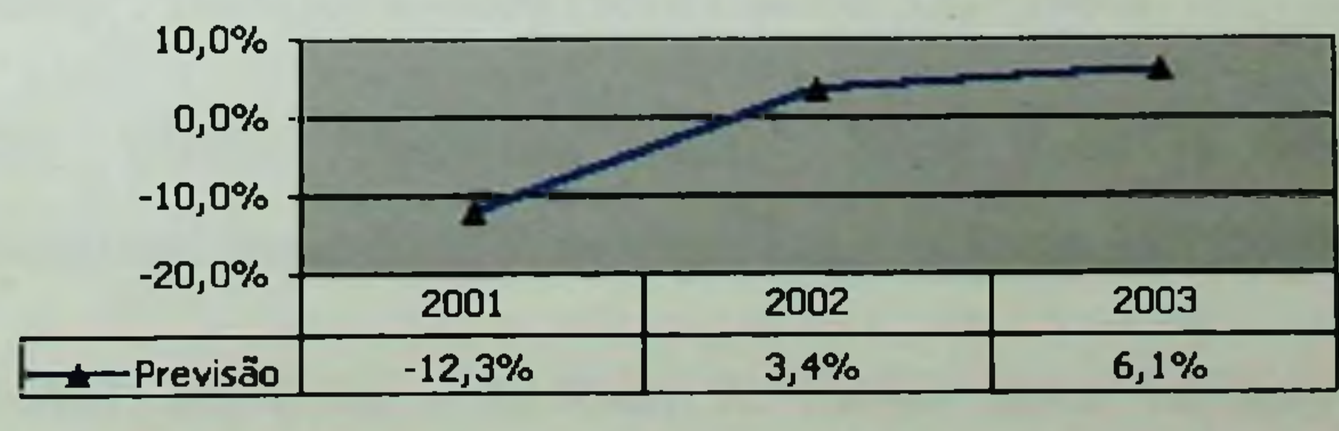


Gráfico 1.03: Projeção da evolução das vendas do mercado fonográfico brasileiro (em %), no triênio 2001/2003 (Fonte: ABPD – Associação Brasileira dos Produtores de Discos).

Além das gravadoras, as empresas de consultoria também vêem o mercado da música de forma promissora. De acordo com a publicação global *Entertainment and Media Outlook 2001-2005*, da Price-Waterhouse & Coopers, a América Latina será a região com mais rápido crescimento no período, com média de 11,8% ao ano. O Brasil será o mercado com melhor resultado, saltando do patamar de US$ 877 milhões em 2000 para US$ 1,7 bilhão em 2005, o que traduz uma taxa média de crescimento de 14,2% ao ano. A recuperação econômica da região, combinada com uma política conjunta de combate à pirataria (entre o Governo e a Indústria), será a alavanca para este crescimento, segundo o estudo.

Ainda de acordo com a consultoria, cujos resultados foram divulgados pela própria ABPD, os próximos cinco anos marcarão a entrada definitiva da música *on-line*, distribuída de forma legal, por intermédio da Internet. Com a redução da oferta de música gratuita e com os problemas relacionados à tecnologia resolvidos, este segmento crescerá significativamente a partir de 2003, representando aproximadamente 16% do total das vendas do mercado norte-americano em 2005, atingindo o montante de três bilhões de dólares.

Diante dessa perspectiva otimista, o mercado reage com investimentos em infraestrutura para atender à demanda crescente por produtos e serviços de melhor qualidade. Com isso, cresce também a expectativa de aumento na demanda por projetos de novos estúdios de gravação de áudio. E, nesse sentido, os arquitetos tendem a ser chamados com mais freqüência para dar soluções de instalação e construção desses espaços, o que irá requerer um maior domínio de sua parte em relação aos seus aspectos acústicos e arquitetônicos.

Referências bibliográficas

1. ALDRED, John. "Manual of sound recording", 2nd edition, Fountain Press Ltd., London, UK (1971).

2. ARDLEY, Neil. "Music". Dorling Kindersley, Ltd. London, UK (1988).

3. BERANEK, Leo Leroy. "Music, acoustics and architecture". John Wiley & Sons, Inc. New York, USA (1962).

4. COOPER, Jeff. "Building a recording studio", 5th edition 1996, Synergy Group Inc., Los Angeles (1976).

5. EVEREST, F. A. & Shea, M. "How to build a small budget recording studio from scratch – 2nd edition (1988)", Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1979).

6. EVEREST, F. Alton. "The master handbook of acoustics – 3rd edition", Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1994).

7. HO, Henry. "Produção no estúdio: desvendando os mistérios da gravação". In: Rock Brigade, nº 193, Ago/02, pp 38-39 (2002).

8. LAROUSSE Grande Enciclopédia. Editora Nova Cultural Ltda. São Paulo, SP (1998).

9. LORD, Peter & Templeton, Duncan. "The architecture of sound: designing places of assembly". The Architectural Press, London, UK (1986).

10. NEWELL, Phillip. "Recording spaces". Focal Press (a division of Reed Educational and Professional Publishing, Ltd.), Woburn, MA (1998).

11. SOUTHALL, B., Vince, P. & Rouse A. "Abbey Road: the story of the world's most famous recording studios". Omnibus Press, London, UK (1997).

12. WHITE, Paul. "The sound on sound book of creative recording II". Sanctuary Publishing Ltd., London, UK (1999).

Segundo Capítulo

Os estúdios e a cidade

2.1. O ESTÚDIO *VERSUS* O TECIDO URBANO

Uma das preocupações do arquiteto, quando se depara com um projeto de construção ou instalação de um estúdio, diz respeito aos seus aspectos acústicos, principalmente no que se refere à questão do ruído – tanto o ruído ambiente, que pode interferir nas atividades do estúdio, quanto o ruído que será produzido internamente, no próprio estúdio, e que pode causar incômodo à vizinhança. E tal preocupação nos remete diretamente à questão da importância do projeto e do planejamento, quer seja ele um estúdio de gravação ou ensaio, profissional ou semiprofissional, de áudio ou vídeo, um *home-studio*, etc.

Segundo COOPER (1976, p.116), "um estúdio bem planejado tem muito mais chances de 'dar certo' do que aquele construído sem projeto ou baseado apenas na intuição de seus proprietários". E, como o primeiro aspecto que envolve a construção de um estúdio diz respeito à sua inserção no tecido urbano, é correto admitir a importância da compreensão, por parte do projetista, da relação entre o edifício do – ou, onde se localiza o – estúdio e a cidade que o envolve.

Por um lado, áreas muito próximas a fontes de ruído constante – como ferrovias, aeroportos, indústrias metalúrgicas, marcenarias, serralherias, parques gráficos, ruas e avenidas sujeitas a tráfego intenso – são particularmente inadequadas para a construção ou instalação de estúdios, devido aos altos investimentos que se farão necessários para isola-los em relação ao ruído provocado por essas fontes. Por outro lado, áreas muito afastadas dos grandes centros, porém densamente povoadas – como os bairros ou condomínios estritamente residenciais – se não significam um problema pelos níveis de ruído ambiente, podem inviabilizar as atividades do estúdio em determinados períodos do dia, justamente em função do incômodo provocado pelo ruído produzido em seu interior, demandando igualmente soluções caras de isolamento acústico.

De acordo com COOPER (1976, p.117), "quando se pode escolher, o estúdio deve ser localizado o mais longe possível das fontes de ruído existentes no local em que se vai construí-lo, ou em seu entorno".

COOPER (1976, p. 117) prossegue: "como regra geral, os ambientes da edificação nos quais o isolamento acústico é menos importante (como recepção, espera, escritório, sanitários e copa), devem ser dispostos de modo que funcionem como uma espécie de 'cinturão acústico' ao redor dos ambientes do estúdio que serão destinados a gravar e reproduzir música. Esta providência tão simples pode reduzir significativamente os gastos com isolamento acústico, pois aproveita o isolamento das paredes do estúdio e dos demais ambientes, com uma grande camada de ar entre elas, ou seja, os próprios ambientes".

As recomendações de COOPER nos parecem bastante plausíveis quando se trata da construção propriamente dita do estúdio, ou seja, quando nos referimos a uma edificação nova, planejada, projetada e construída para funcionar como estúdio.

Na grande maioria das vezes, no entanto, isso não ocorre. A maior parte dos estúdios no Brasil funciona em imóveis adaptados, ou em parte(s) de imóveis utilizados para outros fins, principalmente residenciais. Exemplo disso são os estúdios caseiros (ou *home-studios*), que nada mais são do que espaços – geralmente ambientes – de uma casa ou apartamento adaptados para serem utilizados como estúdio.

Para NEWELL (1998, p.01), "a rigor, não há espaço que absolutamente não possa ser utilizado como estúdio, haja vista o sem-número de quartos-de-empregada, escritórios, garagens e edículas que são adaptados para esse fim. No entanto, tais espaços se prestam a um tipo restrito de trabalho, durante períodos limitados de tempo e acomodam uma quantidade limitada de pessoas". Ou seja, este tipo de estúdio é mais apropriado para uso particular ou ensaio.

Segundo LORD *et al* (1986, p.104), "estúdios comerciais de rádio – AM e FM – localizam-se, em geral, em áreas centrais das cidades, para otimizar a qualidade de suas transmissões".

Quase sempre, os estúdios de rádio apresentam soluções acústicas e arquitetônicas adaptadas, em ambientes de dimensões limitadas, devido ao alto custo de aquisição ou locação dos imóveis nas áreas centrais das cidades.

LORD *et al* (1986, p.104) prossegue: "cinema e vídeo requerem grandes espaços com versatilidade acústica, necessária à criação de diversos ambientes e efeitos em determinadas produções; o pé-direito deve ser suficientemente alto para que os elementos de iluminação, geralmente pendurados no teto, não interfiram no campo da imagem, mesmo nos ângulos de câmera mais abertos".

Além disso, estúdios profissionais de cinema necessitam de grandes áreas livres para tomadas externas. Dessa forma, tais tipos de estúdio são mais comuns em locais afastados dos grandes centros, onde há uma maior oferta de terrenos e áreas livres possíveis de abrigar um edifício com grandes dimensões, bem como onde é possível encontrar grandes galpões industriais que podem ser transformados para esse fim.

De acordo com NEWELL (1998, p.02), "estúdios comerciais de gravação de áudio profissional (tanto aqueles utilizados na produção de CDs, como aqueles utilizados na produção de *jingles* e trilhas) têm de atender à maior gama possível de artistas e suas exigências, principalmente em termos de acústica, instrumentos e equipamentos disponíveis. Localização, facilidade de acesso e área de estacionamento de veículos também são aspectos analisados pelos artistas no momento de escolher o estúdio".

Como veremos no próximo capítulo, os estúdios comerciais de gravação de áudio profissional são os que requerem maiores níveis de isolamento sonoro, o que implica em cuidados especiais na escolha do seu local de construção ou instalação. A proximidade em relação a fontes de ruído de grande intensidade e/ou a locais sujeitos à incidência de vibrações não é recomendável.

Para LORD *et al* (1986, p.104), "os estúdios de televisão preparados para a gravação de shows e espetáculos de música ao vivo requerem grandes espaços para acomodar o palco e uma pequena platéia. Também devem possuir acesso fácil e local para estacionamento de veículos de artistas e espectadores".

Em ambos os casos apontados acima por NEWELL e LORD, a questão da localização do estúdio do ponto de vista da sua relação com a cidade parece ser tão importante quanto o seu desempenho acústico e o seu espaço em si.

No primeiro caso, para atender às exigências de músicos e artistas em sua comodidade. No segundo caso, para poder atrair o público que comporá a audiência de seus programas.

2.2. ASPECTOS DA LEGISLAÇÃO ESPECÍFICA

Como qualquer estabelecimento comercial, o funcionamento de um estúdio profissional está sujeito às limitações da legislação do município onde ele será construído ou instalado. Em boa parte das cidades brasileiras, antes de se iniciar qualquer obra, é preciso obter o alvará de construção ou reforma, conforme o caso. Para isso, é necessário que o imóvel onde se pretende construir ou instalar o estúdio esteja localizado em área adequada para esse fim, e que sejam atendidas às exigências mínimas de habitabilidade, iluminação e ventilação, que podem variar de um município para outro.

Um *home-studio*, por sua vez, se não necessita de autorização do poder público para funcionar, deve se cercar de todos os cuidados para que não venha a se tornar um incômodo para a vizinhança, em decorrência do ruído produzido em seu interior.

2.2.1. A legislação do município de São Paulo

Os municípios de Porto Alegre (RS), Rio de Janeiro (RJ), São Paulo, Campinas e Bauru (SP) possuem legislações específicas para o controle do ruído.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT está revendo a NBR 10.152/87 desde Março de 1999, a fim de normatizar os procedimentos de avaliação do ruído ambiente em recintos de edificações visando o conforto dos usuários (Anexo I).

Segundo o Decreto 17.494/81, modificado pelo Decreto 41.190/02, que regulamentam o uso e ocupação do solo na cidade de São Paulo, estúdios de gravação se enquadram na subcategoria S2.7 (Serviços de estúdios, laboratórios e oficinas técnicas), e têm sua instalação permitida em Z3, Z4, Z5, Z7, Z8-006, Z8-007-02, Z8-007-05, Z8-007-07, Z8-007-08, Z8-007-10, Z8-007-11, Z8-007-12, Z8-007-13, Z8-029, Z8-040-02, Z8-057, Z8-060-02, Z8-068, Z8-070, Z8-CR2, Z8-CR3, Z12 e ZML-1.

Em Z8-002, Z8-030 e Z8-034, sua instalação está sujeita aos termos da lei 8.328/75. Em Z2, Z6, Z8-008, Z8-009, Z8-013, Z8-015, Z8-060-01, Z8-060-03, Z8-CR4, Z8-CR5, Z11 e Z18 a instalação de estúdios está sujeita a controle especial.

Em Z1, Z8-100, Z8-CRI-I, Z8-CRI-II, Z8-CR1, Z8-CR6, Z9, Z10, Z13, Z14, Z15, Z16 e Z17 não é permitida a instalação de estúdios.

A cada zona de uso, correspondem diferentes restrições de uso e ocupação do solo (Anexo II).

Como essa legislação não estabelece os níveis máximos de ruído de fundo admissíveis, por zona de uso, na cidade de São Paulo, eles foram fixados (Tabela 2.01) por intermédio da portaria intersecretarial 01/SEMAB/SAR/SEHAB/SMT/GCM/96[1].

Zonas de uso/período	*07:01h às 19:00h*	*19:01h às 07:00 h*
Z1, Z8-100, Z8-CR1, **Z8-CR5**, Z8-CR6, Z9, Z10, Z13, Z14, Z15, Z17, **Z18**.	55 dB(A)	50 dB(A)
Z2, Z3, Z4, Z5, Z8-CR2, Z8-CR3, Z11, Z12, Z16.	65 dB(A)	60 dB(A)
Z6 e Z7	70 dB(A)	65 dB(A)

Tabela 2.01: *Níveis máximos de ruído em ambientes externos – em dB(A) – por zonas de uso (Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo).*

A mesma portaria estabelece que nas medições realizadas no interior de um ambiente que, em geral, faz parte de uma edificação qualquer, próxima à fonte de ruído, os valores máximos da Tabela 2.01 devem ser corrigidos conforme a Tabela 2.02.

Condições da janela	*Correções em dB(A)*
Janelas abertas	(-)10 dB
Janelas simples fechada	(-)15 dB
Janelas duplas fechadas	(-)20 dB

Tabela 2.02: *Correções a serem aplicadas ao nível máximo permitido de ruídos para efeito de medições em ambientes internos (estes valores devem ser subtraídos da medição efetuada e depois comparadas com os limites permitidos nas zonas) (Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo)*

Tomemos como exemplo um estúdio hipotético, a ser construído num imóvel situado em Z2. Neste caso, os níveis máximos de ruído de fundo admissíveis são 65 dB(A) durante o dia (das 7:01h às 19:00h), e 60dB(A) durante a noite (das 19:01h às 7:00h).

[1] http://www.sampaonline.com.br/sim/sim_poluicao_sonora.htm

Segundo NEWELL (1998, p. 01), "o nível médio de ruído produzido por uma banda de rock tocando num estúdio é da ordem de 120 dB(A), com picos de até 125 dB(A)".

Em estúdios profissionais, não é raro as sessões de gravação se estenderem noite adentro, o que nos obriga a trabalhar sempre com a pior hipótese, ou seja, aquela que requer maior isolamento. Assim, não seria errado concluir que a construção de um estúdio hipotético em Z2 deveria garantir um isolamento sonoro da ordem de 65 dB(A), de modo que o nível de ruído de fundo naquela região fique em torno dos 60 dB(A) à noite (pois 125 – 65 = 60), de acordo com a legislação, a fim de permitir o seu funcionamento a qualquer hora, sem que isso signifique incômodo ou desconforto para a vizinhança.

2.2.2. Fiscalização e controle de ruído na cidade de São Paulo

A questão do ruído urbano ainda não é prioritária na maioria das grandes cidades brasileiras, razão pela qual a sua fiscalização é insuficiente ou, muitas vezes, inexistente. Na cidade de São Paulo, por exemplo, a fiscalização age de duas maneiras para constatar excesso nos níveis de ruído urbano: por meio de vistorias de rotina e/ou por meio de vistorias programadas a partir de reclamações de cidadãos incomodados.

2.2.2.1. Na vistoria de rotina:

Constatado um provável excesso de ruído para além do alinhamento do imóvel, a fiscalização mede o seu nível colocando o aparelho exatamente no limite do alinhamento desse imóvel (onde fica o portão, por exemplo) e utiliza, para comparação, a Tabela 2.01 (acima) para verificar se os níveis estão abaixo daqueles previstos pela legislação municipal. Os critérios para medição de níveis de ruído em ambientes externos são os seguintes:

- As medições devem ser efetuadas a 1,20m acima do solo e, no mínimo, a 1,50m de paredes, edifícios e outras superfícies refletoras.
- A distância do microfone, em relação a qualquer superfície refletora deve ser de, no mínimo, 3,50m.

- Quando as circunstâncias exigirem, as medições podem ser efetuadas em diferentes alturas e próximas a paredes, como preconiza a NBR 10.151.
- O microfone deverá estar provido de protetor de vento.
- Não deverão ser efetuadas avaliações na ocorrência de chuvas.
- Deve ser evitada a interferência de outras fontes nos níveis de ruído da fonte de avaliação.

2.2.2.2. Na vistoria de reclamação:

Nesta situação, a fiscalização entra no imóvel do reclamante e efetua a medição no ponto onde o incômodo é maior, obedecendo às regras abaixo. Dos valores apropriados pelo equipamento, devem ser descontados valores conforme a Tabela 2.02 (acima), que correspondem às respectivas correções, de acordo com o tipo e a situação de abertura dos vãos do imóvel incomodado. Por exemplo: a medição dos níveis de ruído provenientes de uma determinada fonte sonora, feita à noite no interior de um dos dormitórios de um hipotético imóvel reclamante, situado em Z2, com as suas janelas abertas, resultou no aparelho 78dB(A). O nível de ruído corrigido será, portanto, de 68 dB(A).

Esse nível de ruído de 68 dB(A) é que será tomado como base para comparação com os níveis máximos de ruído admissíveis por zonas de uso apresentados na Tabela 2.01. Como o imóvel hipotético situa-se numa Z2, nota-se que ele está sendo agredido por níveis de ruído superiores aos máximos admissíveis (68 dB(A) medidos à noite, contra 60 dB(A) permitidos), o que nos leva a concluir que a fonte sonora está em desacordo com a legislação, e os níveis de ruído são excessivos.

As medições em ambientes internos devem seguir os seguintes procedimentos:

- Altura do microfone: 1,20m a 1,50m do piso.
- Distância mínima das paredes: 1,0m.
- Distância mínima das janelas: 1,50m.

- Devem ser realizadas, no mínimo 03 (três) medições, distantes 0,50m umas das outras.
- As medições devem ser realizadas em condições normais de utilização das janelas e portas do recinto (abertas e/ou fechadas).

2.2.2.3. Penalidades:

As penalidades às quais os infratores da Lei 11.501/94 (alterada pela lei 11.986/96) estão sujeitos, são as seguintes:

> *"(...) Art. 8°. Sem prejuízo das penalidades cominadas pela legislação federal e estadual em vigor, especialmente do disposto no artigo 330 do Código Penal, os infratores dos dispositivos desta Lei estão sujeitos às seguintes penalidades:*
>
> *I - aos estabelecimentos sem Alvará de Funcionamento para Locais de Reunião ou Licença de Localização e Funcionamento, com esses documentos vencidos ou não afixados em local visível, e com emissão de som acima do permitido:*
>
> *a) multa de 300 Unidades Fiscais do Município – UFMs*[2] *na primeira autuação e intimação para, no prazo improrrogável de 60 (sessenta) dias requerer o licenciamento nos termos da legislação própria, observadas as exigências desta Lei;*
>
> *b) interdição de uso até o atendimento da intimação, na segunda autuação;*
>
> *c) fechamento administrativo com a lacração de todas as entradas, na terceira autuação.*

[2] 01 UFM base Maio/2003 = R$ 65,11 (Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo)

II - aos estabelecimentos licenciados, cujas condições de uso estejam em desacordo com o laudo técnico aprovado pela Prefeitura e com emissão de sons acima dos limites legais:

a) multa de 50 UFMs para os locais com capacidade para até 50 (cinqüenta) pessoas, 100 UFMs para locais até 100 (cem) pessoas. 150 UFMs para até 200 (duzentas) pessoas e intimação para, no prazo improrrogável de 10 (dez) dias, adequar-se ao sistema acústico descrito no laudo técnico;

b) interdição ao uso, até o atendimento da intimação, na segunda autuação;

c) fechamento administrativo com lacração de todas as entradas, na terceira autuação.

§ 1° Persistindo a emissão de sons acima do permitido na vigência do prazo da intimação, caracterizará a infração continuada e será aplicada nova multa acrescida de 1/3 (um terço) ao valor da primeira multa emitida para o local.

§ 2° Da pena de multa caberá recurso em única instância à Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente - SVMAI DECONT, e da interdição e do fechamento administrativo, ao Conselho Municipal do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - CADES.

§ 3° Desrespeitada a interdição ou fechamento administrativo, a SVMA solicitará auxílio policial para exigir o cumprimento da penalidade administrativa e providenciará a boletim de ocorrência com base no artigo 330 do Código Penal, nos termos desta Lei".

A Portaria Intersecretarial 01/SEMAB/SAR/SEHAB/SMT/GCM/96 também instituiu o Programa de Silêncio Urbano – PSIU – que é subordinado à Secretaria Municipal de Abastecimento.

2.3. CUIDADOS NA ESCOLHA DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DO ESTÚDIO

Segundo NEWELL (1998, p.02), "muitas pessoas desejam um estúdio para 'ensaio, gravação e o que mais for possível', mas uma coisa é certa: é quase impossível compatibilizar as atividades de ensaio e gravação, por exemplo, numa mesma sala, sem prejuízo de uma delas".

Por isso, superada a questão relativa à adequação do estúdio à zona de uso onde se pretende instalá-lo, é recomendável que se tenha bem claro qual o tipo de estúdio que se quer. Isto porquê o isolamento sonoro de um estúdio de ensaio requer mais cuidados do ponto de vista do ruído produzido em seu interior, para que não signifique um incômodo à vizinhança. O isolamento sonoro de um estúdio de gravação, por sua vez, requer cuidados tanto em função do ruído externo (que pode comprometer a qualidade das gravações), quanto em função do ruído produzido em seu interior (para que igualmente não signifique um incômodo à vizinhança). Nesse sentido, um local aparentemente aceitável para a instalação de um estúdio de ensaio pode ser ruim para a instalação de um estúdio de gravação.

Para COOPER (1976), "a localização e a orientação do estúdio podem ser decisivas em relação à 'quantidade' de isolamento sonoro que será necessária ao seu perfeito funcionamento. Os níveis de ruído de fundo podem variar substancialmente de um ambiente para outro, na mesma edificação, dependendo da sua proximidade em relação a vias de tráfego intenso, máquinas e equipamentos, elevadores e quaisquer outras fontes de ruído. Em geral, quando se pode escolher, o estúdio deve ser localizado o mais longe possível das fontes de ruído existentes no local ou em seu entorno. Em terrenos urbanos, as barreiras acústicas mais eficientes são os altos muros de divisa que, em geral, devem ser tão ou mais altos que a própria edificação para que se obtenha atenuações sonoras da ordem de 5dB a 10dB. E devem ser construídos com materiais pesados, como tijolos maciços, concreto armado ou pedra, sem frestas (Figura 2.01). Árvores, arbustos ou qualquer outro tipo de vegetação, por mais densa que seja, não se prestam à função de isolantes acústicos, devido aos grandes espaços de ar existentes entre os galhos e folhas, por onde as ondas sonoras trafegam livremente".

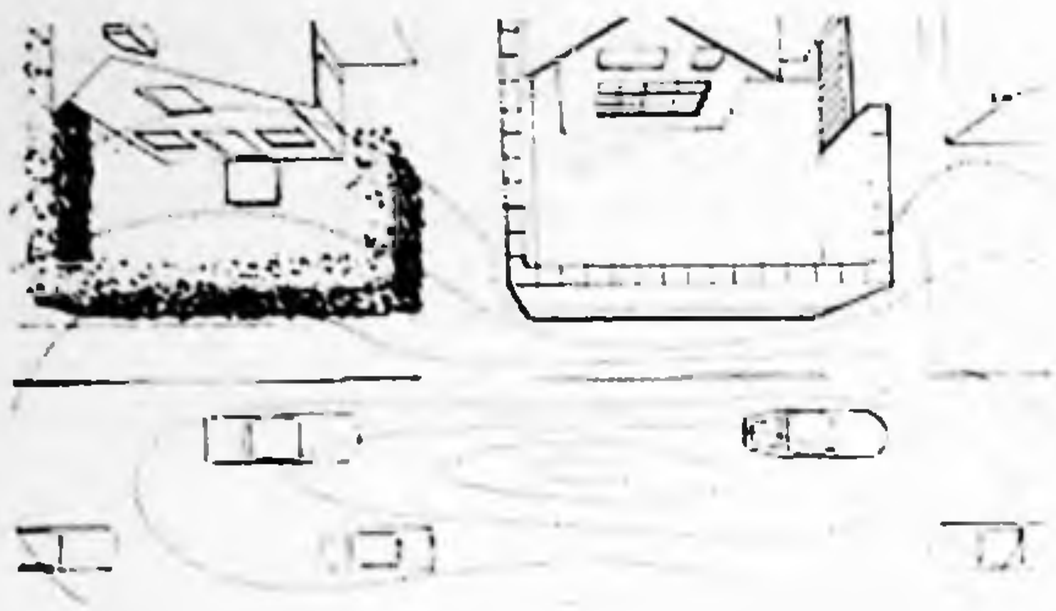


Figura 2.01: *Ilustração comparativa da eficiência na atenuação de ruídos entre uma cerca-viva (formada por arbustos e árvores) e um muro alto (construído com blocos de concreto).*
(Fonte: Cooper, 1976).

De acordo com NEWELL (1998, p.02), "a instalação de estúdios em locais afastados dos grandes centros urbanos não significa menos problemas de isolamento sonoro. O ruído do vento, da chuva, do granizo, dos trovões, de cachorros latindo, e tantos outros ruídos que são característicos do campo, também demandarão um isolamento sonoro considerável, de modo que as gravações não sejam interrompidas. Logicamente, sempre será possível encontrar um local que ofereça boas condições para a instalação de estúdios, como uma sala num edifício rodeada por ambientes que são utilizados como depósito de livros, por exemplo. Neste caso, além de não produzir ruídos, o trabalho no depósito de livros não é prejudicado pelos ruídos produzidos no estúdio. Exemplos como este são raros mas, em todo caso, deve-se levar em conta que, em áreas industriais, a dinâmica dos negócios pode fazer com que uma situação, inicialmente considerada favorável à instalação do estúdio, se torne altamente desfavorável de uma hora para outra. É perfeitamente possível que, um ano depois de iniciadas as atividades do estúdio, a editora precise de mais espaço para seu estoque, e resolva utilizar o espaço ao redor do estúdio para instalar um pequeno parque gráfico, por exemplo, com impressoras, prensas, guilhotinas, e uma série de máquinas que produzem altos níveis de ruídos e vibrações, que não foram previstos quando da instalação do estúdio. Ou, por outro lado, também podemos imaginar que a editora queira transformar o espaço, que antes era ocupado por seu estoque, em um *show-room* de seus produtos, com salas de leitura, cujos usuários certamente seriam incomodados pelo ruído produzido no estúdio, uma vez que a situação inicial, quando da instalação do estúdio, era outra".

As considerações de COOPER e NEWELL procuram demonstrar a importância da escolha correta do local de instalação de um estúdio. A opção de instalar um estúdio próximo a um depósito de livros, é muito mais prudente do que a opção de instalá-lo próximo a uma biblioteca, por exemplo, que teria muito mais possibilidades de gerar conflitos entre suas atividades e as atividades do estúdio, do que o depósito de livros.

NEWELL (1998, p.03) prossegue afirmando que "existem alguns locais aparentemente óbvios que devem ser evitados para a instalação de estúdios. Imóveis próximos a aeroportos ou situados em áreas localizadas sob a rota de aproximação das aeronaves, imóveis próximos a linhas de trem ou metrô, e imóveis situados em vias de tráfego intenso e pesado – com a passagem constante de caminhões e ônibus – são fortes candidatos a problemas de isolamento de sons de baixa freqüência, devido à dificuldade e ao alto custo das obras necessárias à sua atenuação até os níveis considerados recomendáveis em estúdios de gravação".

Por outro lado, locais próximos a antenas de transmissão de rádio e TV, delegacias de polícia e batalhões do corpo de bombeiros também devem ser evitados, menos devido ao ruído constante das sirenes destes últimos mas, principalmente, devido ao excesso de aparelhos de comunicação de alta potência que se utilizam de radiofreqüências, capazes de provocar interferências significativas nos equipamentos comumente utilizados em estúdios. Portanto, é recomendável que, antes de se optar por este ou aquele imóvel, se faça um rápido exame de sua vizinhança. Isso pode significar uma grande economia no orçamento da obra e evitar problemas quando o estúdio estiver em funcionamento.

Como cada caso representa um exercício de projeto que leva em conta as necessidades acústicas do estúdio em termos do isolamento sonoro e do tratamento acústico de seus ambientes, a variedade de usos aos quais eles serão submetidos, o espaço disponível, as necessidades individuais e as preferências estéticas do(s) cliente(s) e, por fim, o orçamento disponível, a escolha do imóvel mais apropriado também é um aspecto destacado por COOPER (1976), que relaciona as dúvidas mais freqüentes dos futuros proprietários:

- Construir, alugar ou comprar um imóvel pronto?

Segundo COOPER (1976, p.119), "a resposta é função do tamanho do orçamento que se tem. Se for possível escolher um bom terreno e, lá, construir o estúdio, os resultados tendem a ser muito mais próximos do ideal do que a adaptação de um imóvel construído para outro fim. Mas, como quase sempre, isto não é possível, se as opções forem alugar ou comprar um imóvel já construído, é recomendável observar alguns detalhes importantes, como a posição do edifício no terreno, os materiais utilizados na construção, o tamanho dos ambientes e, no caso particular da locação, o período de vigência do contrato, de modo que o proprietário do estúdio tenha condições de amortizar seu investimento na reforma do imóvel".

A opção pela construção é, via de regra, a melhor, pois aos partirmos de uma área livre, é possível ter mais domínio sobre uma série de parâmetros construtivos que serão fundamentais no desempenho acústico do estúdio. Entre outras coisas, é possível trabalhar com recuos em relação a fontes de ruído, ou localizar estrategicamente os ambientes com maior necessidade de isolamento sonoro, por exemplo, de modo a minimizar os gastos com sistemas de atenuação de ruído, nem sempre eficientes.

- Casa ou apartamento?

Esta questão surge a partir da exclusão da hipótese de se construir uma edificação para ser utilizada especificamente como estúdio.

Para COOPER (1976, p.119), "não importa se a opção será alugar ou comprar. Apartamentos são particularmente inadequados para a instalação de estúdios, devido à dificuldade no isolamento de ruídos e vibrações, que são facilmente transmitidos às outras unidades pela estrutura do edifício. Por isso, entre a casa e o apartamento, fiquemos com a casa e, de preferência, que não seja geminada. Vale a pena procurar uma casa mais antiga, com ambientes mais amplos e pé-direito maior, se possível construída com tijolos maciços e que seja recuada em relação à rua. Assim, será mais fácil solucionar problemas referentes ao isolamento acústico, gastando menos e evitando dores-de-cabeça com a vizinhança".

- Porão, sótão, garagem ou quarto de empregada?

Estas opções partem do princípio de que se vai instalar o estúdio num dos ambientes de uma determinada edificação, em geral, destinada a uso residencial. Nestes casos, estamos tratando da instalação de estúdios caseiros (ou *home-studios*).

De acordo com COOPER (1976), "se o orçamento for realmente pequeno, e o que se pretende é instalar o estúdio em apenas um determinado ambiente (de uma casa, por exemplo), é importante se ter claro o seguinte: o estúdio caseiro é mais apropriado para uso particular ou ensaio, pois se presta a um tipo restrito de trabalho, durante períodos limitados de tempo e acomoda uma quantidade limitada de pessoas".

Assim, além dos aspectos relativos ao estúdio em si (dimensões do ambiente em função das atividades previstas) e à sua instalação (isolamento de ruídos e tratamento acústico da sala), a escolha entre porão, sótão, garagem ou quarto de empregada também deve levar em conta aspectos funcionais do imóvel como um todo (por exemplo, ambientes com acesso independente da edificação principal).

Referências bibliográficas

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.151-87. Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade.

2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.152-87. Níveis de ruído para conforto acústico.

3. CONAMA – Conselho Nacional do Meio-Ambiente. Resoluções nº 1 e nº 2, de 08/03/90. Assunto: poluição sonora ambiental.

4. COOPER, Jeff. "Building a recording studio", 5th edition 1996, Synergy Group Inc., Los Angeles (1976).

5. EVEREST, F. A. & Shea, M. "How to build a small budget recording studio from scratch – 2nd edition (1988)", Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1979).

6. EVEREST, F. Alton. "The master handbook of acoustics – 3rd edition", Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1994).

7. LORD, Peter & Templeton, Duncan. "The architecture of sound: designing places of assembly". The Architectural Press, London, UK (1986).

8. NEWELL, Phillip. "Recording spaces". Focal Press (a division of Reed Educational and Professional Publishing, Ltd.), Woburn, MA (1998).

9. PMB – Prefeitura do Município de Bauru (SP). Lei 2.423/82.

10. PMC – Prefeitura do Município de Campinas (SP). Lei 2.516, de 16/06/61.

11. PMC – Prefeitura do Município de Campinas (SP). Decreto 5.441, de 30/06/78.

12. PMPA – Prefeitura do Município de Porto Alegre (RS). Lei complementar nº 65, de 22/12/81.

13. PMPA – Prefeitura do Município de Porto Alegre (RS). Decreto 8.185, de 07/03/83.

14. PMRJ – Prefeitura do Município do Rio de Janeiro (RJ). Lei 646, de 05/11/84.

15. PMRJ – Prefeitura do Município do Rio de Janeiro (RJ). Decreto 5.412, de 24/10/85.

16. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Lei 8.106, de 30/08/74.

17. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 11.567, de 30/10/74.

18. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 17.494/81.

19. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Lei 11.501, de 11/04/94.

20. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 34.569, de 06/10/94.

21. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 34.741, de 09/12/94.

22. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Lei 11.780, de 30/05/95.

23. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Lei 11.986, de 16/01/96.

24. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 35.928, de 06/03/96.

25. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 41.190/02.

26. WHITE, Paul. "The sound on sound book of creative recording II". Sanctuary Publishing Ltd., London, UK (1999).

Terceiro Capítulo

Estúdios e salas de gravação de áudio

3.1. ASPECTOS GERAIS DAS NECESSIDADES DE ISOLAMENTO E TRATAMENTO ACÚSTICO DOS AMBIENTES DO ESTÚDIO DE GRAVAÇÃO

Para garantir o controle do processo completo de gravação de um CD, um estúdio profissional de áudio deve possuir, no mínimo, três ambientes específicos para atender a cada uma das etapas desse processo: uma sala de gravação, uma sala técnica e uma sala de masterização.

A sala de gravação (Imagem 3.01) é o ambiente onde os músicos cantam e/ou tocam seus instrumentos, cujos sons são captados por intermédio de microfones e registrados em fita magnética ou em meio digital.

Imagem 3.01: *Sala de gravação dos Estúdios Air, em Londres, UK (Foto: Divulgação).*

A sala técnica (Imagem 3.02), isolada acusticamente em relação à sala de gravação (porém unida a ela por intermédio de um visor), é o ambiente onde o engenheiro de áudio controla e comanda os equipamentos de gravação enquanto os músicos cantam e/ou tocam e, posteriormente, faz a mixagem dos sons gravados.

A sala de masterização (Imagem 3.03), separada e isolada acusticamente em relação às outras duas, é o ambiente onde o engenheiro de áudio edita, ordena, equaliza os volumes e determina a duração das músicas que comporão o CD, e prepara a matriz digital para a sua reprodução em escala industrial.

Segundo COOPER (1976, p.28), "durante a fase de captação de sons, por exemplo, a acústica da sala pode definir o resultado final do trabalho, pois colabora para que instrumentos e vozes soem claramente isolados e distintos, ou resultem numa massa sonora confusa e mal definida. A acústica da sala de gravação do estúdio também pode criar uma ambiência natural ao som ou conferir-lhe um certo grau de artificialidade".

Imagem 3.02: *Sala técnica de estúdio de gravação de áudio (Fonte: FM Studio Design, USA)*

De acordo com WALKER (1995), a sala técnica deve reunir condições para a precisa avaliação técnica e estética da qualidade sonora de uma gravação, uma vez que, as decisões ali tomadas, durante a mixagem, definirão a forma e a qualidade do material gravado dali em diante.

Imagem 3.03: *Suíte de masterização (Fonte: FM Studio Design, USA).*

É preciso, portanto, conhecer e compreender todos os fenômenos acústicos que estão envolvidos num determinado ambiente, para que se possa tirar partido de sua existência ou, simplesmente, controlá-los de modo a se conseguir bons resultados nas gravações que ali se realizam.

Para WHITE (1999), é importante ficar bem clara a diferença entre **isolamento** e **tratamento** acústico. Isolamento acústico envolve níveis de ruído e trata da capacidade de um determinado ambiente em permitir – ou não – a transmissão de ruídos do meio externo para o seu interior, e vice-versa. Tratamento acústico envolve diversos fenômenos acústicos que ocorrem no interior desse ambiente, em função de suas dimensões, de sua forma, dos materiais de revestimento de suas superfícies internas, de sua ocupação com pessoas e coisas, e independem do meio externo.

EVEREST (1994) destaca que as principais necessidades acústicas dos ambientes de um estúdio dizem respeito ao seu nível de ruído de fundo (e, portanto, ao seu isolamento de ruídos e vibrações), ao seu tempo de reverberação (e, portanto, às soluções de absorção sonora adotadas no projeto), e à sua capacidade de reflexão e difusão sonora de forma adequada. Conseqüentemente, as características acústicas dos ambientes de um estúdio podem significar a diferença entre uma boa e uma má gravação, pois essas características afetam diretamente cada etapa do processo, da captação dos instrumentos e vozes, passando pela mixagem, até a masterização.

3.1.1. A sala de gravação

De acordo com COOPER (1976, p.116), "a sala de gravação deve ser projetada levando-se em conta o tipo predominante de música que se pretende gravar no estúdio. No projeto de um estúdio para trabalhar basicamente com música pop e rock, **isolação**[1] é o critério mais importante. Se o estúdio for destinado a gravar orquestras, instrumentos sem amplificação, música de câmara, cordas ou metais, então a **ambiência**[2] da sala é o principal fator a ser levado em conta".

---

[1] N. do A.: Neste caso, a palavra "isolação" *(isolation)* tem significado distinto da palavra "isolamento" *(soundproofing)*, anteriormente utilizada em 3.1.1, pois trata da capacidade de determinadas salas em permitir que nelas se grave, em canais separados, vários instrumentos musicais sendo tocados ao mesmo tempo, com um mínimo de "vazamento" de som entre eles, ou seja, o som de cada instrumento é captado por um microfone e direcionado para um canal específico da fita, com pouquíssimas interferências dos sons dos demais instrumentos que estão sendo tocados concomitantemente, facilitando o trabalho de mixagem.

[2] COOPER (1976, p. 178): "(...) ambiência *(ambience)* é a sensação subjetiva relacionada ao som residual num ambiente utilizado para tocar ou gravar música. O termo ambiência, em música clássica, é comumente utilizado para se referir à reverberação de um determinado ambiente, ou seja, às características de decaimento do som numa sala de concertos, por exemplo".

Entretanto, pode-se querer as duas coisas e, neste caso, o projeto da sala de gravação deve garantir a sua **versatilidade** (Imagem 3.04).

SCHWIND (1997) defende a mesma tese, ao afirmar que o critério do projeto de ambientes com necessidades acústicas críticas, como as salas de gravação de estúdios, deve se basear na maior porcentagem estimada da função específica de uso daquele ambiente.

Para NEWELL (1998, p.30), "a sala de gravação de um estúdio é um instrumento por si só, dadas as possibilidades que um determinado ambiente possui de alterar as características dos sons produzidos nele".

Imagem 3.04: *Sala de gravação dos estúdios Circo-Beat, em Buenos Aires, Argentina, com painéis móveis nas paredes, para permitir uma maior versatilidade do ambiente (Projeto: WSDG – Walthers-Storyk Design Group, Inc., USA).*

WHITE (1999, p.144) discorda de Cooper e Schwind. Segundo ele, "as características acústicas da sala de gravação são, muito mais, uma decorrência dos 'modismos' do mercado fonográfico-musical, do que do tipo predominante de música que se pretende gravar no estúdio, tendo em vista os diversos tipos de ambientes que são utilizados para se gravar música: salas vivas, com revestimento em pedra ou madeira; salas com características acústicas variáveis; salas neutras; salas com áreas altamente reverberantes e áreas altamente absorventes, num mesmo ambiente; e, ocasionalmente, salas altamente absorventes".

Uma outra recomendação importante para o projeto de salas de gravação, segundo COOPER (1976), diz respeito aos seus aspectos estéticos pois, via de regra, os usuários vão passar horas ali dentro e, se o espaço for realmente agradável, a tensão entre eles será muito menor, fazendo com que o humor, a performance e o entrosamento entre os músicos melhore sensivelmente. Daí a necessidade, de acordo com o próprio Cooper, de se dedicar tempo e atenção especiais ao detalhamento do projeto de arquitetura de interiores, iluminação e mobiliário da sala de gravação, de modo a garantir um resultado estético agradável que propicie essa interação positiva entre os músicos e os demais ocupantes.

3.1.2. A sala técnica

Para WALKER (1995), a sala técnica – em si, e em conjunto com seus equipamentos – se constitui no primeiro meio de avaliação da qualidade de reprodução do som gravado (Imagem 3.05).

Imagem 3.05: *Sala técnica dos estúdios Dark Horse, em Nashville, TN, USA, com móveis e objetos que tornam o ambiente similar à sala de uma casa comum (Fonte: http://www.darkhorserecording.com).*

O propósito da sala técnica (Imagem 3.05) é garantir um ambiente acusticamente isolado em relação aos demais e ao meio externo, no qual, durante a captação dos sons de instrumentos e vozes, o engenheiro de gravação opera equipamentos, avalia a qualidade do material que está sendo gravado e comunica-se visualmente com os músicos que estão na sala de gravação.

Durante a mixagem, o trabalho do técnico consiste basicamente em balancear níveis sonoros, decidir sobre a distribuição dos sons nos canais disponíveis[3], acrescentar reverberação artificial[4] e outros efeitos ao som de determinados instrumentos ou vozes.

RETTINGER (1977) descreveu uma série de critérios para projeto de salas técnicas, em uma época em que a tecnologia de gravação digital – hoje muito comum – era inexistente. Esse trabalho tratava especificamente da forma das salas, nível de ruído, tempo de reverberação, resposta em freqüência e tratamento das superfícies localizadas atrás do ponto de audição, além de trazer algumas informações técnicas sobre alto-falantes e mesas de gravação. Também propunha uma relação entre o volume de cada ambiente e o seu tempo de reverberação, a partir de análises de desempenho acústico de salas técnicas de estúdios de gravação pesquisadas por ele, e de conclusões subjetivas a respeito delas. Outra questão relevante, abordada por Rettinger, era a maximização dos níveis sonoros reproduzidos na sala e, nesse sentido, propunha o uso de superfícies altamente refletoras ao redor dos alto-falantes, numa época em que a potência dos amplificadores de áudio de boa qualidade não ia além de 200W.

De acordo com COOPER (1976, p.148), "as propriedades acústicas da sala técnica não podem interferir na percepção do som gravado. A resposta em freqüência e o tempo de reverberação devem ser cuidadosamente calculados, e não podem variar de maneira acentuada, de um ponto a outro da sala, pois o técnico precisa se mover para acessar os equipamentos sem, no entanto, perder a referência sonora do que ele está ouvindo".

Para NEWELL (1998, p.130), "a sensação do engenheiro de áudio trabalhando numa sala técnica acusticamente mal-resolvida, ou sem a neutralidade esperada, pode ser comparada à sensação de um cego ao volante de um automóvel, devido à absoluta impossibilidade de se ter o controle da situação".

---

[3] N.do A.: Na gravação multicanal, cada instrumento ou voz é gravado em pistas distintas, ao mesmo tempo ou separadamente, a fim de que, durante a mixagem, seja possível controlar os seus parâmetros sonoros individualmente, bem como direcionar o som de cada instrumento ou voz para um – ou mais – dos canais disponíveis (dois canais para as reproduções em stereo e seis canais para as reproduções em surround 5.1).

[4] N.do A.: Durante a mixagem, o som captado em ambientes com tempo de reverberação muito baixo pode ser acrescido de reverberação artificial, por meio do processamento de um equipamento eletrônico chamado *reverb*.

Segundo EVEREST (1994, p.369), "a gama de freqüências a ser acomodada no interior da sala técnica deve ser igual ao espectro audível do ser humano (20Hz a 20kHz), o que significa uma extensão de sons equivalentes a dez oitavas, com comprimentos de onda que variam de 17,3m (som mais grave) a 1,5cm (som mais agudo). Como a freqüência modal mais baixa de uma sala é diretamente associada à sua maior dimensão – em geral a sua diagonal – isto deve ser levado em conta no momento do projeto do ambiente".

No dia-a-dia dos estúdios, é muito comum que alguns instrumentos sejam gravados em linha[5] e, por isso, o espaço da sala técnica de um estúdio profissional de gravação de áudio também deve estar preparado para acomodar os músicos nessa atividade, além de ser suficiente para receber produtores, arranjadores e eventuais convidados de maneira confortável, sem que atrapalhem as atividades do engenheiro de gravação (COOPER, 1976).

3.1.3. A sala de masterização

O objetivo da sala de masterização (Imagem 3.06) é garantir um ambiente relativamente bem isolado em relação aos demais e ao meio externo, dotado de tratamento interno que garanta sua neutralidade acústica, no qual o técnico de masterização, de posse das faixas já mixadas, as ordena conforme elas serão reproduzidas no CD, define sua duração e o intervalo entre elas, equilibra seus níveis sonoros, confere o balanceamento dos canais, adiciona efeitos como reverberação artificial – se for o caso – e prepara a master[6], que será enviada para reprodução em escala industrial. A grande maioria dos estúdios de gravação no Brasil ainda não possui uma sala de masterização, uma vez que existem alguns que oferecem somente esse tipo de serviço. Mas, como este trabalho pretende apresentar as características de um estúdio profissional completo, trataremos igualmente do assunto.

---

[5] N.do A.: Gravar um instrumento "em linha" significa conectá-lo, por meio de um cabo, diretamente à mesa de gravação, localizada na sala técnica, sem que seu som seja amplificado e/ou reproduzido no ambiente da sala de gravação. Tal recurso só é possível aos instrumentos eletroeletrônicos (guitarras e contrabaixos elétricos, teclados, sintetizadores e órgãos eletrônicos), que não possuem caixa de ressonância, e visa garantir a absoluta não interferência do ambiente no som desse(s) instrumento(s). No momento da gravação, os músicos têm a referência sonora do instrumento que está sendo gravado em linha, apenas pelos fones de ouvido.

[6] N.doA.: A "master" é um arquivo digital – geralmente um CD de alta qualidade – que servirá de matriz para sua reprodução em escala industrial.

De acordo com EVEREST (1994, p.335), "as características acústicas do espaço são partes vitais do processo de gravação e reprodução de música. Em ambos os casos, há uma fonte sonora – que pode ser o som produzido por instrumentos musicais, no caso do processo de gravação, ou o som proveniente das caixas acústicas de um equipamento, no caso do processo de reprodução – e algum tipo de receptor – que pode ser um microfone, no caso do processo de gravação, ou o ouvido humano, no caso do processo de reprodução – com um elo acústico entre eles. Gravações em CD ou fitas cassete trazem consigo as características acústicas do ambiente em que foram gravadas. Se a fonte sonora for uma orquestra e a gravação for feita num teatro ou sala de concerto, a reverberação desse ambiente faz parte da música, por exemplo: se o tempo de reverberação da sala for igual a 2s, isso deve ficar evidente nos momentos em que a música cessa logo após um movimento forte".

Imagem 3.06: *Sala de masterização (Fonte: FM Studio Design, USA).*

EVEREST (1994) demonstra, acima, a necessidade de absoluta neutralidade sonora da sala de masterização, de modo que o técnico seja capaz de ouvir o som gravado rigorosamente como ele foi concebido durante a mixagem.

Por isso, a exemplo da sala técnica, a sala de masterização deve ser projetada para que suas características acústicas não adicionem reverberação ou qualquer tipo de coloração ao som gravado, nem interfiram na percepção da imagem multicanal por parte do técnico.

E, por se tratar da última etapa do processo de produção de um CD, antes de ser dado o início à sua reprodução em escala industrial, costumam estar presentes às sessões de masterização, além dos artistas principais, seus produtores, arranjadores, e eventuais convidados (Imagem 3.07).

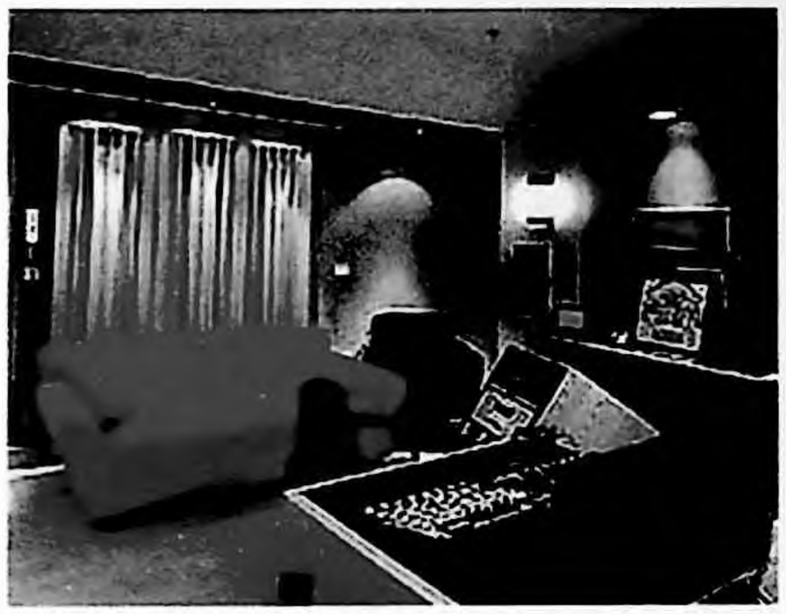


Imagem 3.07: *Sala de masterização com espaço e mobiliário adequados para acomodar músicos e produtores durante as sessões (Fonte: FM Studio Design, USA).*

Portanto o espaço da sala de masterização também deve estar preparado para acomodar essas pessoas, sem que atrapalhem as atividades do técnico ou engenheiro de masterização.

3.2. ISOLAMENTO DE RUÍDOS

O isolamento de ruídos deve ser a primeira preocupação a ser considerada no projeto de um estúdio, pois se o ambiente onde se fará a gravação possuir um nível de ruído muito elevado, a gravação também o possuirá.

Ruídos podem ser produzidos a partir de uma gama infinita de fontes. Veículos em trânsito, máquinas em indústrias e oficinas, aparelhos de ar-condicionado em funcionamento, por exemplo, podem produzir num ambiente aquilo que chamamos de **ruído de fundo** ou ruído ambiente. A sirene de uma ambulância, a passagem de aviões, helicópteros ou trens, são exemplos de **ruídos ocasionais**, que se destacam do ruído de fundo pela sua peculiaridade, sua elevada intensidade sonora, e seu caráter passageiro.

Segundo COOPER (1976, p.29), "em uma avenida de grande movimento, com tráfego de automóveis, ônibus e caminhões, o ruído de fundo pode chegar a 90 dB(A). Numa casa de campo, afastada de estradas e da cidade, o ruído de fundo fica abaixo de 40 dB(A). Não seria de todo errado, portanto, imaginar que a instalação de um estúdio numa casa de campo exigiria menor preocupação em relação ao seu isolamento acústico, do que num imóvel localizado em uma avenida de grande movimento". O problema, no entanto, reside nos ruídos ocasionais que, neste caso, seriam os ruídos produzidos por animais e pelos fenômenos da natureza, como os ventos fortes e os trovões, por exemplo.

O ouvido humano, por sua vez, tem uma excelente percepção aos sons cujas freqüências estão por volta de 3.500 Hz, que piora um pouco para os sons cujas freqüências são mais altas, e que piora muito na medida que se caminha em direção às freqüências mais baixas. Outra característica do ouvido humano diz respeito à sua capacidade seletiva e à sua sensação de silêncio relativo. Ao sairmos de um show de rock, mesmo que não tenhamos ficado numa das primeiras filas, o ruído das ruas e avenidas nos parecerá infinitamente inferior ao que ele realmente é. Aos poucos, no entanto, o ouvido vai-se acostumando ao novo contexto, e voltamos a perceber a real intensidade dos ruídos.

Por isso, explica COOPER (1976), um equívoco muito comum das pessoas em geral é considerar um ambiente silencioso. Na grande maioria dos casos, a partir de medições feitas com o auxílio de equipamentos, isso não se confirma, pois nosso ouvido tem uma propensão natural para abstrair o ruído de fundo moderado. Este fenômeno funciona como uma proteção natural devido à infinidade de sons e ruídos aos quais somos submetidos diariamente.

Como num estúdio de gravação os sons são captados por microfones, cujo desempenho absoluto em nada se parece com o desempenho relativo do ouvido humano, o cuidado com o isolamento de ruídos é muito importante, pois aqueles sons abstraídos pelo ouvido humano são facilmente captados pelo microfone, e imediatamente transferidos para a gravação. Daí a preocupação, quando do projeto de um estúdio, não só com o ruído de fundo mas, também, com os ruídos ocasionais.

3.2.1. Determinação do nível de ruído e do isolamento sonoro necessário

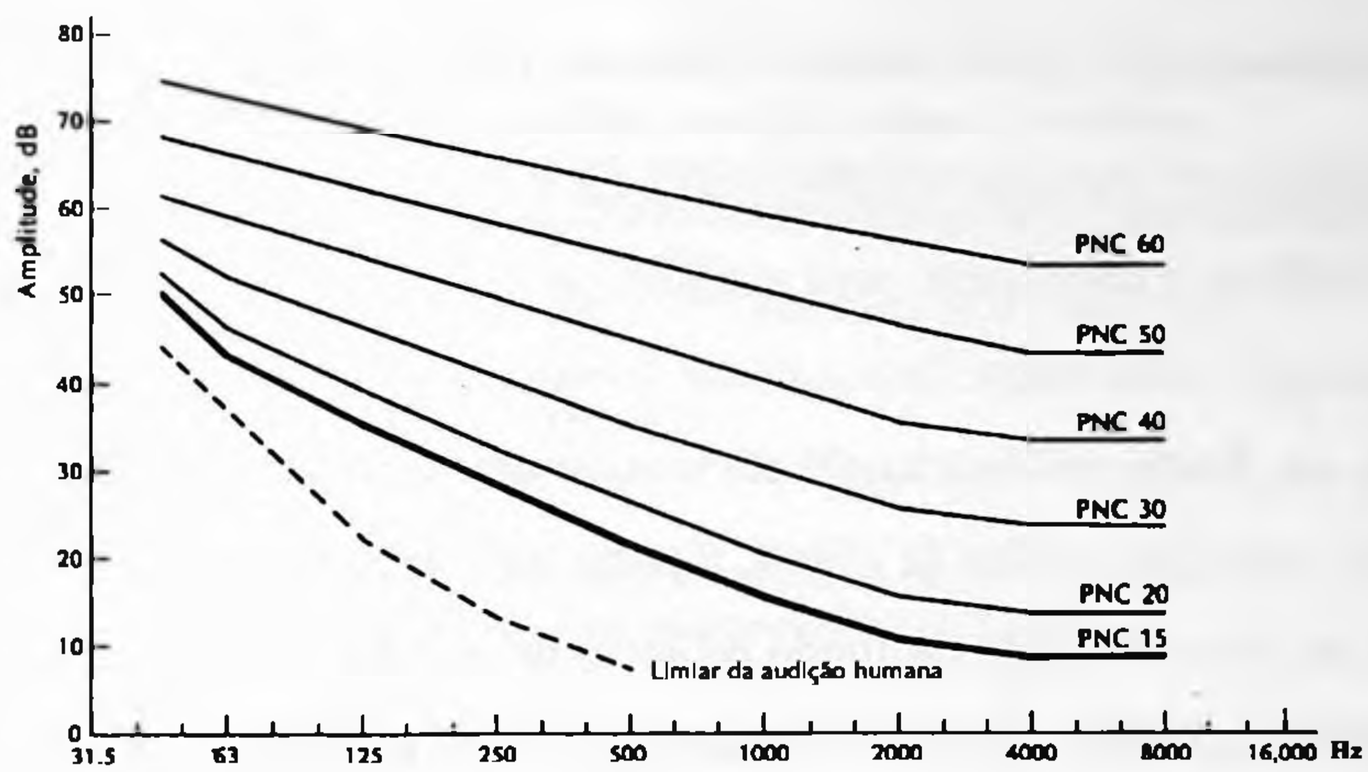
A primeira providência (e, por sinal, a mais importante), antes mesmo de se dar início ao projeto, é caracterizar e dimensionar o ruído de fundo do local de construção ou instalação do estúdio, e a incidência – ou não – de ruídos ocasionais. E para isso, segundo COOPER (1976), testes expeditos de verificação de níveis de ruído não são suficientes. São necessárias diversas medições estatísticas feitas em períodos representativos, ao longo de um ou mais dias – pois o ruído de fundo varia conforme o horário e o dia da semana – fazendo-se uso de um decibelímetro. Os resultados devem ser obtidos por bandas de freqüência de oitavas, dentro do espectro audível do ser humano, e reproduzidos num gráfico.

O objetivo do isolamento sonoro é reduzir os valores (por oitavas) dos níveis de ruído de fundo do local em que se pretende construir ou instalar o estúdio, até os valores considerados adequados para o interior do estúdio. Para tanto, deve-se destacar, no mesmo gráfico, uma segunda curva que corresponda aos níveis de ruído interno considerados aceitáveis. As diferenças, em dB, correspondem aos valores do isolamento sonoro necessário por banda de freqüência.

3.2.1.1. A proposta de Beranek

BERANEK *et al* (1971) propôs níveis de ruído máximos para diversos tipos de ambientes, por bandas de oitavas (Gráfico 3.01). O isolamento sonoro de um ambiente é obtido da seguinte forma: a curva que representa o ruído de fundo deve ser reproduzida sobre um conjunto de curvas definidas por BERANEK *et al* (1971). A curva desse ábaco que for tangente à curva que representa o ruído define o chamado "critério de ruído PNC".

Gráfico 3.01: Preferred Noise Criteria (Fonte: Beranek, Blazier & Figwer, 1971).



De acordo com COOPER (1976), para determinação do isolamento sonoro dos ambientes do estúdio em relação aos ruídos ocasionais, o procedimento é o seguinte: o decibelímetro é regulado para registrar os níveis máximos de ruído, que devem ser tomados em diversos momentos do dia e da noite. Os resultados, por banda de freqüência, devem ser anotados no mesmo gráfico que já contém a curva dos níveis de ruído de fundo e a curva PNC que se pretende para o ambiente. Os níveis mais elevados, por oitava, devem ser então comparados aos níveis pretendidos para cada banda de freqüência. A diferença entre as duas curvas, em dB, representa o isolamento sonoro necessário ao ambiente. Por exemplo: se a diferença entre as duas curvas é de 52 dB em 63 Hz, 61 dB em 500 Hz e 60 dB em 8.000 Hz, a construção do estúdio deve garantir, no mínimo, esses níveis de isolamento sonoro nessas freqüências, e o mesmo se aplica às demais bandas (Gráfico 3.02).

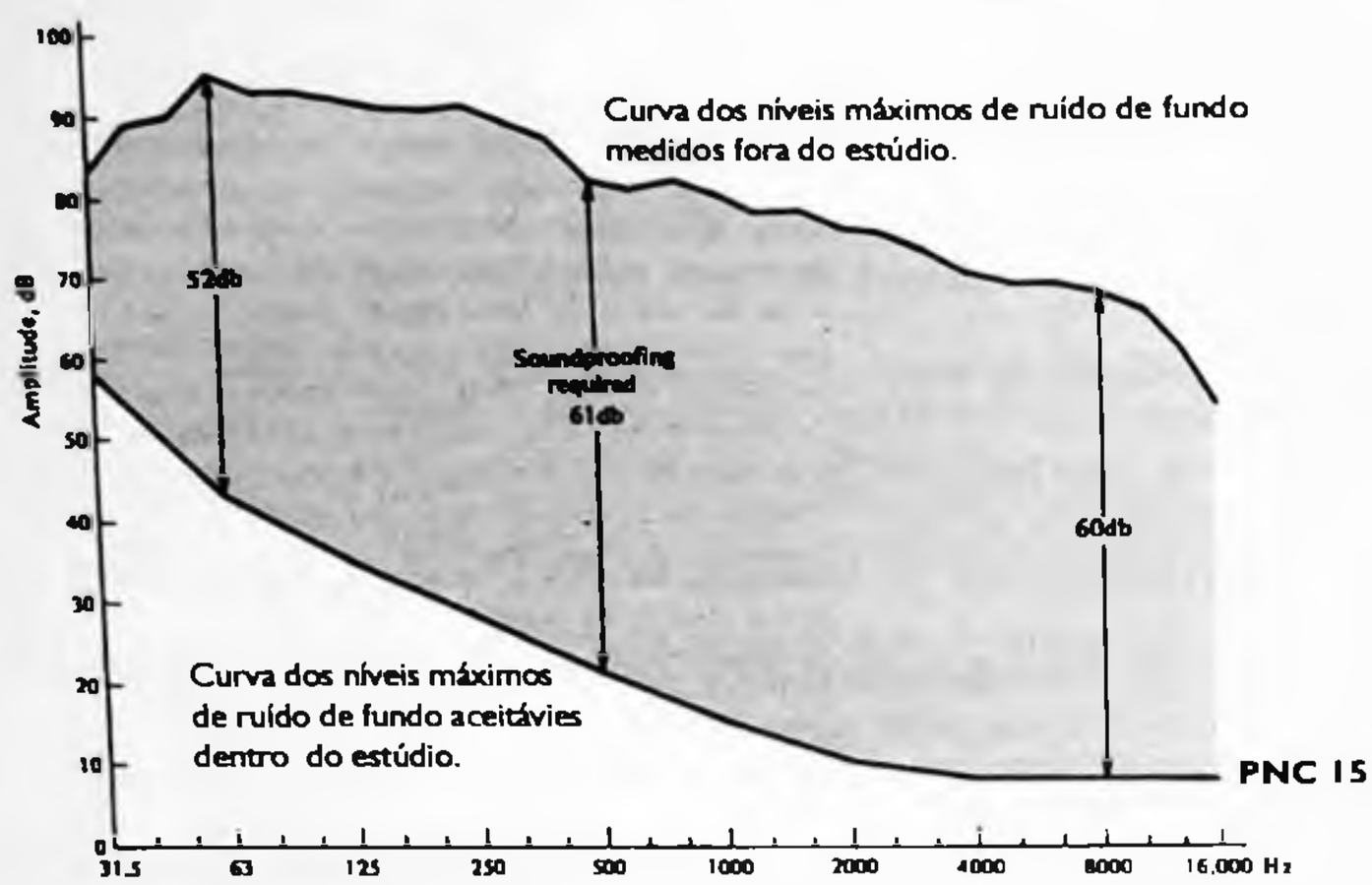


Gráfico 3.02: *Exemplo de gráfico para determinar o isolamento sonoro de um estúdio em relação aos níveis máximos de ruído obtidos no local de sua instalação*
(Fonte: Cooper, 1976)

O isolamento também é importante para garantir que o som que se produzirá no estúdio não se propague pela vizinhança. Isso é muito comum quando se trata da construção de um estúdio em um bairro residencial. Neste caso, a determinação do isolamento sonoro também deve ser feita por bandas de oitava, a partir da comparação gráfica de uma curva correspondente ao nível de ruído de fundo do local de instalação, e outra correspondente aos níveis médios estatísticos do tipo de música que será predominantemente gravada no estúdio. Os níveis de ruído interno devem ser isolados de tal modo que resultem, pelo menos, 10 dB inferiores aos correspondentes níveis de ruído de fundo, por oitava (Gráfico 3.03).

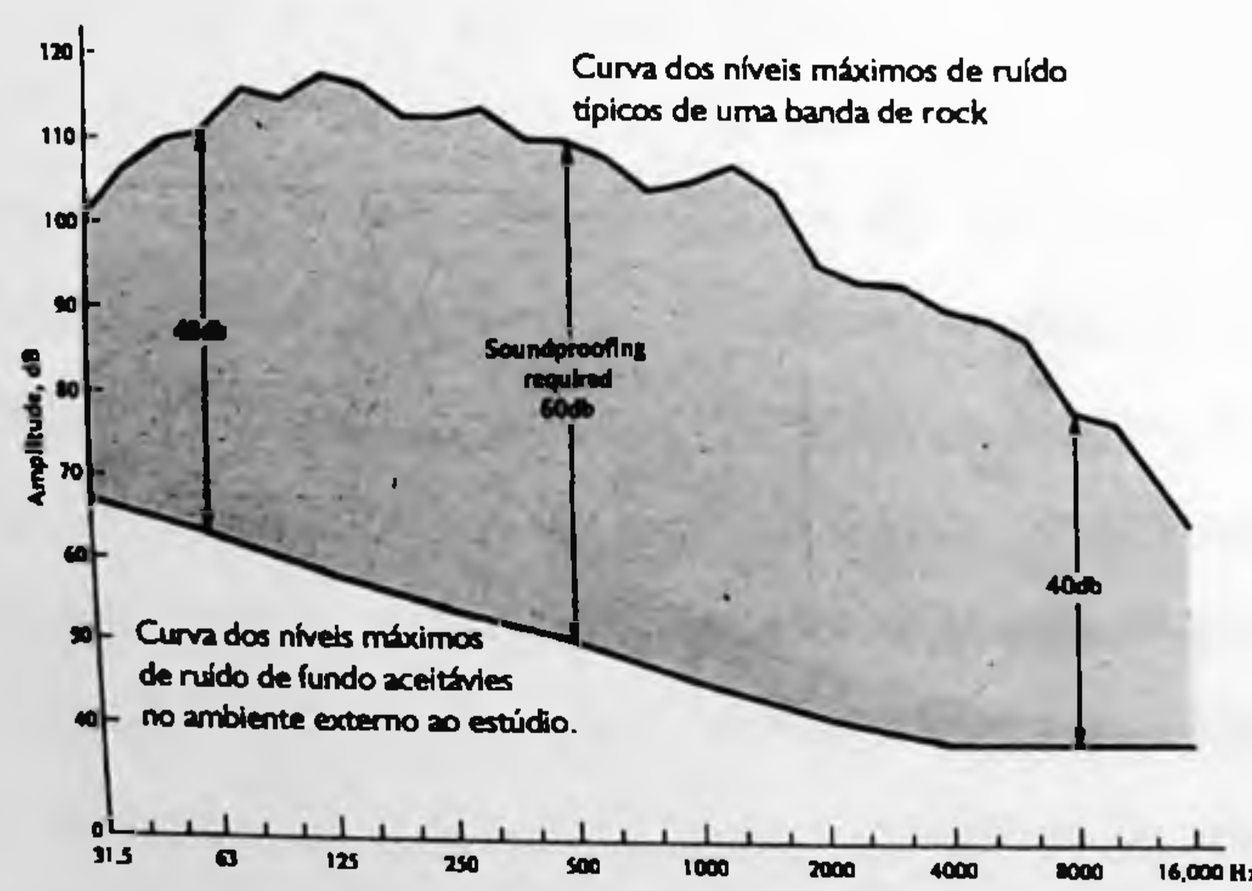


Gráfico 3.03: *Exemplo de gráfico para determinar o isolamento sonoro de um estúdio em relação a níveis máximos hipotéticos de ruído de fundo aceitáveis num ambiente externo qualquer*
(Fonte: Cooper, 1976)

De acordo com COOPER (1976, p.34), "para se determinar o correto isolamento sonoro dos ambientes de um estúdio, deve-se fazer os dois cálculos (ruído de fora para dentro e som de dentro para fora) para, então, comparar os resultados e assumir as maiores diferenças como sendo os parâmetros mínimos a serem levados em conta no projeto".

A proposta de BERANEK *et al* (1971) para "classificação dos recintos segundo critérios de tolerância crescente aos níveis de ruído-de-fundo (estáveis), considerados em faixas de valores admissíveis em termos do uso a que se destinam" (Anexo III), contemplava poucos tipos de estúdios e previa duas situações distintas de uso, relacionadas à distância entre o(s) microfone(s) e a(s) fonte(s) sonora(s) (Tabela 3.01).

TIPO DE RECINTO E EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS ENVOLVIDAS	*PNC*	*dB(A)*
Estúdios de rádio ou televisão; estúdios de gravação Exigência de condições favoráveis ao uso de microfones em posições afastadas das fontes	< ou = 20	< ou = 30
Estúdios de rádio ou televisão; estúdios de gravação Exigência de condições favoráveis ao uso de microfones apenas em posições próximas às fontes	< ou = 25	< ou = 34

Tabela 3.01: *Tipo de recinto e exigências acústicas envolvidas*
(Fonte: Beranek, Blazier & Figwer, 1971).

Segundo COOPER (1976), o nível máximo de ruído de fundo para um estúdio de gravação profissional é aquele descrito na curva *PNC 15,* ou seja, 15 dB de nível de ruído de fundo, em 1.000 Hz. BERANEK *et al* (1971) recomendava as curvas *PNC 20* ou *PNC 25*, de acordo com a forma de utilização dos microfones. Essa diferença de pontos-de-vista entre COOPER e BERANEK *et al*, com um intervalo de 5 anos entre eles, é discutida por COHEN *et al* (1992), que afirma ser cada vez mais difícil e dispendioso obter níveis de ruído tão baixos, uma vez que são cada vez mais raros os estúdios construídos em condições ideais, ou seja, em edifícios acusticamente isolados, situados em áreas mais afastadas, longe de vias expressas e da rota de aviões.

Atualmente, é bastante comum encontrarmos estúdios localizados em edifícios de uso público ou institucional, bem como em edifícios que são adaptados para serem utilizados como estúdio ou, ainda, como parte de edifícios complexos, que abrigam diversas atividades além do próprio estúdio. Como os recursos da gravação digital, combinados com uma maior sensibilidade dos microfones, vêm sistematicamente reduzindo os níveis de ruído admissíveis em estúdios, o seu isolamento é cada vez mais caro e difícil.

Para COHEN *et al* (1992), a questão principal é saber "até que ponto níveis de ruído tão reduzidos são realmente necessários". No processo de determinação de critérios de ruído de fundo em ambientes destinados à gravação, proposto por COHEN *et al* (1992), a audibilidade do ruído é determinada pelo limiar da audição, pelo conceito de bandas críticas e pelo efeito do mascaramento de determinados ruídos devido àqueles que são inerentes aos diversos equipamentos eletromecânicos envolvidos em toda a cadeia do processo de gravação e reprodução: da captação dos sons no estúdio à audição do CD em casa.

3.2.1.2. A proposta de Cohen

O estudo desenvolvido por COHEN *et al* (1992) tinha o intuito de predeterminar a audibilidade de ruído em diversos estúdios de gravação analisados naquele trabalho, uma vez que – segundo os autores – os métodos conhecidos, por bandas de oitava (NC[7], PNC[8], NCB[9], RC[10]), não se mostravam suficientemente precisos ao estimar a necessidade de níveis de ruído tão baixos.

Isso porque, segundo COHEN *et al* (1992), "para se conseguir níveis de ruído tão baixos em estúdios, são necessárias diversas providências técnicas e construtivas, a um custo excessivamente elevado, sem levar em conta que o conjunto de equipamentos envolvidos em todo o processo de gravação e reprodução também produz algum tipo de ruído, praticamente impossível de ser atenuado"

Em outras palavras, a tese defendida por COHEN *et al* baseava-se na seguinte questão: de que adiantaria atingir níveis de ruído tão reduzidos em estúdios, se os equipamentos eletromecânicos utilizados durante a gravação e a reprodução do material gravado acrescentariam "algum" ruído ao produto final?

---

[7] N. do A .: Noise Criteria (Beranek, 1960)

[8] N. do A .: Preferred Noise Criteria (Beranek, 1971)

[9] N. do A .: Balanced Noise Criteria (Beranek, 1989)

[10] N. do A .: Room Criteria (Blazier, 1981)

Ou melhor: já que o ruído decorrente do funcionamento dos equipamentos eletromecânicos utilizados durante a gravação e a reprodução não é passível de atenuação, não seria esse o nível máximo de ruído admissível em estúdios?

Em seguida, esse trabalho foi revisto pelos autores considerando os resultados por terços de oitava. As principais conclusões, no entanto, não foram muito além do que já se sabia:

- Os ambientes do estúdio (ambientes onde são feitas a captação e a mixagem do som) e os ambientes de audição (ambientes onde, normalmente, se ouve música) não limitaram a percepção do ruído de fundo das gravações;

- Os sistemas de gravação, os microfones, e os equipamentos de reprodução em geral, mostraram uma contribuição de menos de 4 dB, no intervalo compreendido entre 1.2 kHz e 5 kHz.

Para COHEN *et al* (1992), "a construção de um ambiente absolutamente 'livre de ruídos' implica em investimentos excessivamente elevados, que não se justificam em edifícios de uso múltiplo. Entretanto, se o principal objetivo do edifício for, justamente, o estúdio, essa possibilidade deve ser levada em conta".

Nesse mesmo trabalho, COHEN *et al* (1992) também afirma que "a 'sonoridade' da sala de gravação – devida ao seu tratamento interno e, portanto, decorrente de seu tempo de reverberação – é mais importante para determinar a qualidade de uma gravação musical, do que o seu nível de ruído de fundo. E mais: é a qualidade da execução musical, no momento da gravação, que determina o seu sucesso".

Portanto, conclui COHEN *et al* (1992), "a busca por níveis de ruído excessivamente baixos só se justifica se o objetivo do projeto for exclusivamente a construção do estúdio, e os recursos financeiros permitirem soluções de isolamento sonoro tão eficientes quanto dispendiosas".

3.2.1.3. Determinação do nível estatístico de ruído de fundo externo

Em situações menos críticas – como no caso de um estúdio que será construído predominantemente para ensaios, por exemplo – nem sempre é necessário que o cálculo seja feito por bandas de oitavas.

Em geral, conhecer o nível máximo de ruído de fundo, em dB(A) permitido no local onde se pretende instalar o estúdio, já é suficiente para que se possa determinar o isolamento sonoro necessário. Caso o local não esteja sujeito a uma legislação específica, é conveniente que se meça o seu "nível de pressão sonora equivalente" *(L_{eq})*, de modo que, após a construção ou instalação do estúdio, esse nível não seja alterado de maneira significativa.

Um bom medidor de nível sonoro (decibelímetro) normalmente calcula o nível estatístico do ruído – em dB(A) – num determinado intervalo de tempo. Porém, mesmo com um decibelímetro mais simples, também é possível determiná-lo. Como esse ruído varia a cada instante, devido à própria variabilidade das emissões das fontes sonoras que o compõem, é possível calcular seu nível médio estatístico por intermédio da aplicação da seguinte fórmula:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum \left(anti \ \log \frac{L_i}{10} . n_i \right) \right]$$

Onde:

- L_{eq} é a designação normalizada do nível de pressão sonora equivalente;
- n é o número total de leituras;
- L_i é cada um dos níveis medidos;
- n_i é o número de leituras do nível L_i.

Recomenda-se que as leituras sejam feitas a cada 10s, em períodos que podem variar de 30 minutos a 1 hora cada um, em diversos horários do dia e da noite. Os resultados verificados passam a servir como níveis de referência.

Em seguida, os níveis de pressão sonora equivalentes, costumeiramente produzidos no interior do estúdio, também em dB(A), devem igualmente ser anotados e comparados aos níveis de referência. Uma orquestra sinfônica, segundo BERANEK (1962) produz níveis sonoros de até 100 dB(A). De acordo com NEWELL (1998), uma bateria e um contrabaixo elétrico, tocando juntos, produzem níveis de ruído de até 120 dB(A).

COOPER (1976) recomenda que se trabalhe com os níveis máximos de ruído produzidos por uma banda de rock ou *heavy-metal*, que podem alcançar picos de até 130dB(A).

3.2.2. Isolamento sonoro da sala de gravação

Dentre os ambientes que compõem o estúdio, a sala de gravação é aquele cuja preocupação com o nível de ruído se mostra mais crítica. E isso acontece porque é justamente no momento da captação dos sons que se deve tomar mais cuidado com as possíveis interferências que, se uma vez registradas juntamente com os sons de instrumentos e vozes, comprometem a qualidade do material que será posteriormente utilizado na mixagem.

Para COOPER (1976, p.31), essa preocupação procede, uma vez que "os microfones são muito mais sensíveis ao ruído ambiente do que o sistema auditivo humano, por uma simples razão: são monaurais[11]. Assim, qualquer som ou ruído capaz de provocar uma pressão positiva no diafragma do microfone, implicará na geração de um impulso elétrico correspondente, a partir do microfone para o sistema de gravação. O ouvido humano, por sua vez, possui um sistema binaural[12] (formado por nossos dois ouvidos), que permite ao cérebro perceber pequenos intervalos de tempo e diferenças de fase entre os sons". Como resultado, prossegue Cooper, "o cérebro 'escolhe o que ele quer ouvir', e deixa os demais sons e o ruído de fundo em segundo plano. Os microfones não possuem essa habilidade e, por isso, são capazes de registrar o ruído de fundo com muito mais eficiência que o ouvido humano. E, como os 'ouvintes' colocados na sala de gravação, durante a fase de captação dos sons de instrumentos e vozes são justamente os microfones, a determinação precisa do

[11] N.doA.: Sistemas monaurais são aqueles capazes de captar e/ou reproduzir sons e ruídos por meio de um único canal.

[12] N.doA.: Sistemas binaurais são aqueles capazes de captar e/ou reproduzir sons e ruídos por meio de dois canais.

nível de ruído esperado – e, portanto, do isolamento sonoro necessário em relação ao meio externo e aos demais ambientes – é fundamental para o seu projeto, e deve se constituir na primeira preocupação do projetista".

Se o ruído provém de fontes externas não passíveis de controle, como o tráfego de veículos ou a passagem de aviões, por exemplo, a solução para o problema será recorrer às técnicas de isolamento sonoro para atenuação desses ruídos.

Segundo COOPER (1976, p.152), "níveis de isolamento sonoro da ordem de 50 dB somente são possíveis mediante o uso de soluções construtivas específicas como forros e paredes duplas, dotadas de um espaço de ar entre elas, ou preenchido com algum material altamente absorvente (como lã-de-vidro, por exemplo), pisos flutuantes, portas e janelas com altos índices de redução sonora. Além disso, o visor que separa a sala técnica da sala de gravação deve ser construído com, no mínimo, duas folhas de vidro com espessuras diferentes (8 e 12mm, por exemplo), não paralelos entre si, a fim de garantir o isolamento sonoro entre esses ambientes, e evitar a formação de ondas estacionárias entre os vidros".

3.2.3. Isolamento sonoro da sala técnica

A necessidade de isolamento sonoro da sala técnica se dá na medida em que é preciso garantir uma certa liberdade de trabalho aos seus ocupantes, independentemente das atividades que estão sendo desenvolvidas nos ambientes adjacentes a ela, na sala de gravação, inclusive.

De acordo com COOPER (1976, p.152), mantendo-se um nível de isolamento sonoro da ordem de 50 dB (sendo 60 dB acima de 500 Hz e 40 dB abaixo de 100 Hz), pode-se afirmar que a sala técnica funcionará de maneira autônoma em relação à sala de gravação e aos demais ambientes do estúdio. Isto é importante, pois permite que, entre a gravação de uma música e outra, enquanto o técnico e o produtor ouvem e avaliam o material que acabou de ser gravado, os músicos podem ensaiar e se preparar para a próxima música, o que representa uma economia de tempo bastante significativa.

O isolamento da sala técnica também permite que, durante a captação dos sons, seus ocupantes possam monitorar o material que está sendo gravado em níveis elevados, sem que essa massa sonora retorne ao interior da sala de gravação e realimente os microfones.

Para CIPRIANO (2001), "o nível de pressão sonora para ruído de fundo contínuo na sala técnica, medido na posição de escuta do operador, não deve exceder NR 15, sendo recomendável que esteja em torno de NR 10 (Tabela 3.02)".

NR	*31,5Hz*	*63Hz*	*125Hz*	*250Hz*	*500Hz*	*1kHz*	*2kHz*	*4kHz*	*8kHz*
10	62	43	31	21	15	10	7	4	2
15	66	47	35	26	19	15	12	9	7

***Tabela 3.02**: Noise Rating – NR (Fonte: Kosten & Van Os, 1962)*

Além disso, prossegue CIPRIANO (2001), "o ruído de fundo não pode ser de natureza impulsiva, cíclica ou tonal – ou seja, não deve ser resultante de pancadas, não deve variar de intensidade com ritmo definido, nem conter freqüências sonoras identificáveis – pois, dessa forma, interferiria diretamente na percepção do engenheiro de gravação".

3.2.4. Isolamento sonoro da sala de masterização

A masterização é a última oportunidade do processo de gravação que os técnicos e produtores têm para avaliar e, eventualmente, melhorar a qualidade do material que comporá o CD. Por isso, é importante que o ambiente onde se faz essa última avaliação seja isento de interferências sonoras externas que possam comprometer a percepção dos ocupantes da sala e, com isso, dificultar suas decisões estéticas.

A exemplo da sala técnica, a sala de masterização deve ser projetada de modo a garantir um nível de isolamento sonoro da ordem de 50 dB (sendo 60 dB acima de 500 Hz e 40 dB abaixo de 100 Hz), para que seja possível ao técnico e demais presentes na sala perceber as nuances de cada música. O ruído de fundo também não pode ser de natureza impulsiva, cíclica ou tonal pois, dessa forma, interferiria diretamente na percepção do material gravado por parte do técnico de masterização.

3.2.5. Materiais de construção e seu desempenho no contexto do isolamento sonoro dos ambientes dos estúdios de gravação

Todos os materiais de construção possuem certas propriedades acústicas, pois cada um deles, a sua maneira, interfere na propagação das ondas sonoras neles incidentes, refletindo, absorvendo ou transmitindo energia. Isso inclui desde os mais elementares materiais (como tijolos e concreto, por exemplo) até aqueles chamados de "acústicos", quase sempre por razões comerciais, mas nem sempre devido ao seu desempenho.

O objetivo aqui, no entanto, não será rever as propriedades acústicas desses materiais em detalhes (que já foram objeto de diversos trabalhos acadêmicos e publicações especializadas), tampouco abranger a totalidade de materiais disponíveis no mercado brasileiro. Ao contrário, o que se pretende é proporcionar um panorama das propriedades acústicas de isolamento sonoro dos materiais mais comuns, suficiente para contribuir nas decisões de projeto.

No Anexo IV, encontra-se uma tabela com a descrição das propriedades acústicas de isolamento e absorção sonora de diversos materiais de construção, bem como de outros materiais e produtos comumente utilizados em projetos de ambientes com necessidades acústicas críticas, como os estúdios de gravação.

3.2.5.1. Tijolos de barro

Devido à sua massa considerável (2.100kg/m^3), por serem maciços, os tijolos de barro são considerados isolantes sonoros bastante eficientes. Nos ambientes de estúdios de gravação, altos índices de isolamento podem ser obtidos por meio da construção de duas paredes de tijolos maciços paralelas entre si, porém sem contato entre elas. As juntas devem ser completamente preenchidas, para que não restem frestas. Se as superfícies externas forem completamente rebocadas, o desempenho melhora ainda mais.

A absorção sonora de uma parede de tijolos é, portanto, desprezível, devido à sua pouca porosidade e à sua alta rigidez, o que faz do material um bom refletor em relação a praticamente todas as freqüências que compõem o espectro audível.

3.2.5.2. Concreto armado

Com uma massa um pouco superior à do tijolo (2.300kg/m^3), o concreto armado é um dos melhores isolantes sonoros. O concreto leve é menos eficiente, devido à menor massa. Como qualquer material rígido, o concreto recebe e transmite com uma certa facilidade os sons decorrentes de impacto. Sua absorção sonora, no entanto, é quase nula, o que faz dele um eficiente refletor em relação a praticamente todas as freqüências que compõem o espectro audível.

3.2.5.3. Pedra

Por serem materiais igualmente duros e pesados, as pedras em geral se mostram como bons isolantes, desde que assentadas sem frestas entre elas, e resultando numa parede espessa. No entanto, se utilizadas como material de revestimento (de piso, por exemplo), as pedras não cumprem o papel de isolantes.

Mármore, granito e outras pedras polidas estão entre os materiais com maior índice de reflexão sonora. Já as pedras em seu estado bruto, com irregularidades e porosidade, são capazes de apresentar índices de absorção sonora consideráveis para o tipo de material, principalmente nas freqüências mais altas.

De acordo com NEWELL (1998, p.75), "a partir da segunda metade dos anos 70, e durante os anos 80, era muito comum encontrarmos salas de gravação em estúdios com uma – ou mais – de suas paredes revestidas de pedra, para garantir uma certa ambiência ao som ali gravado" (Imagem 3.08).

Imagem 3.08: *Sala de gravação com paredes parcialmente revestidas de pedra (Fonte: Manhattan Beach Studio, USA).*

Alguns estúdios ainda fazem questão de possuir uma segunda sala de gravação altamente reverberante, e muitos deles revestem todas as paredes desse ambiente de pedra, resultando em salas chamadas de *stone rooms*.

3.2.5.4. Blocos de concreto

A atenuação sonora decorrente do uso de blocos de concreto depende basicamente de seu peso específico e da vedação entre as peças. Os blocos regulares disponíveis no mercado costumam ser adequados a situações que não requeiram isolamento sonoro crítico.

Preenchidos com *grout* ou areia, os blocos de concreto comuns têm seu desempenho significativamente melhorado, aproximando-se dos tijolos maciços e do concreto armado.

Na construção de estúdios de gravação, a utilização de duas paredes paralelas de blocos de concreto preenchidos com *grout* ou areia, sem contato entre elas, proporciona elevados índices de isolamento.

Por terem a superfície porosa, os blocos de concreto comuns se mostram relativamente eficientes na absorção de altas freqüências, exceto quando pintados ou rebocados. Revestidos com reboco, massa fina ou gesso, tornam-se eficientes refletores em quase todas as freqüências.

3.2.5.5. Tijolos cerâmicos

Assim como os blocos de concreto, a atenuação sonora decorrente do uso de tijolos cerâmicos depende basicamente de seu peso específico e da qualidade da vedação das frestas entre as peças. Os tijolos cerâmicos regulares (chamados de "baianão" e "baianinho"), disponíveis no mercado, mostram-se eficientes a situações que não requeiram altos índices de isolamento sonoro.

Por terem suas paredes menos espessas que os blocos de concreto, os tijolos cerâmicos devem receber argamassa de revestimento em ambos os lados da parede, para ter seu desempenho melhorado.

3.2.5.6. Vidro comum

Apesar de sua massa considerável (2.500kg/m^3), o vidro não se comporta como um isolante sonoro eficiente pois, na maioria das vezes, ele é utilizado em lâminas de pouca espessura (4, 6 ou 8mm). Resultados melhores são obtidos quando se utiliza caixilhos com duas lâminas de vidro, geralmente de espessuras diferentes.

Quase totalmente refletor nas altas freqüências, o vidro pode entrar em ressonância e se constituir num elemento de absorção de baixas freqüências.

3.2.5.7. Vidro laminado

O vidro laminado constitui-se de um sanduíche de duas – ou mais – lâminas de vidro, intercaladas por um filme transparente e maleável instalado entre elas. Além das melhores condições de segurança que o vidro laminado apresenta em relação ao vidro comum, a sua capacidade de atenuação sonora pode ser até 30% maior em determinadas freqüências que a de um vidro comum de mesma espessura.

3.2.5.8. Gesso acartonado

Os painéis de gesso acartonado, muito comuns na maioria das construções norte-americanas, têm sido cada vez mais utilizados pela indústria da construção civil brasileira, principalmente como forro ou divisória. Seu preço acessível e sua significativa resistência ao fogo fizeram com que os painéis de gesso substituíssem outros materiais comumente empregados na subdivisão de ambientes, como as divisórias de madeira, por exemplo.

Apesar de não ser um material tão pesado (aproximadamente 850kg/m^3), o gesso acartonado é capaz de propiciar uma atenuação sonora razoável. No entanto, esse desempenho depende, em boa parte, de seu detalhamento construtivo.

Na construção de paredes divisórias, por exemplo, a solução mais simples consiste na fixação de painéis de 125mm (1/2 polegada) de espessura em ambos os lados de uma estrutura leve de chapa dobrada galvanizada, previamente fixada no piso e no teto do ambiente.

Para a construção de estúdios, no entanto, os melhores resultados são obtidos com a utilização de estruturas independentes para fixação dos painéis (para que ela não seja capaz de transmitir o som de um ambiente para o outro), a montagem de dois painéis (um sobre o outro) de cada lado da parede, e o preenchimento do espaço interno com algum material bastante absorvente, como lã-de-vidro ou lã-de-rocha, por exemplo (Figura 3.01).

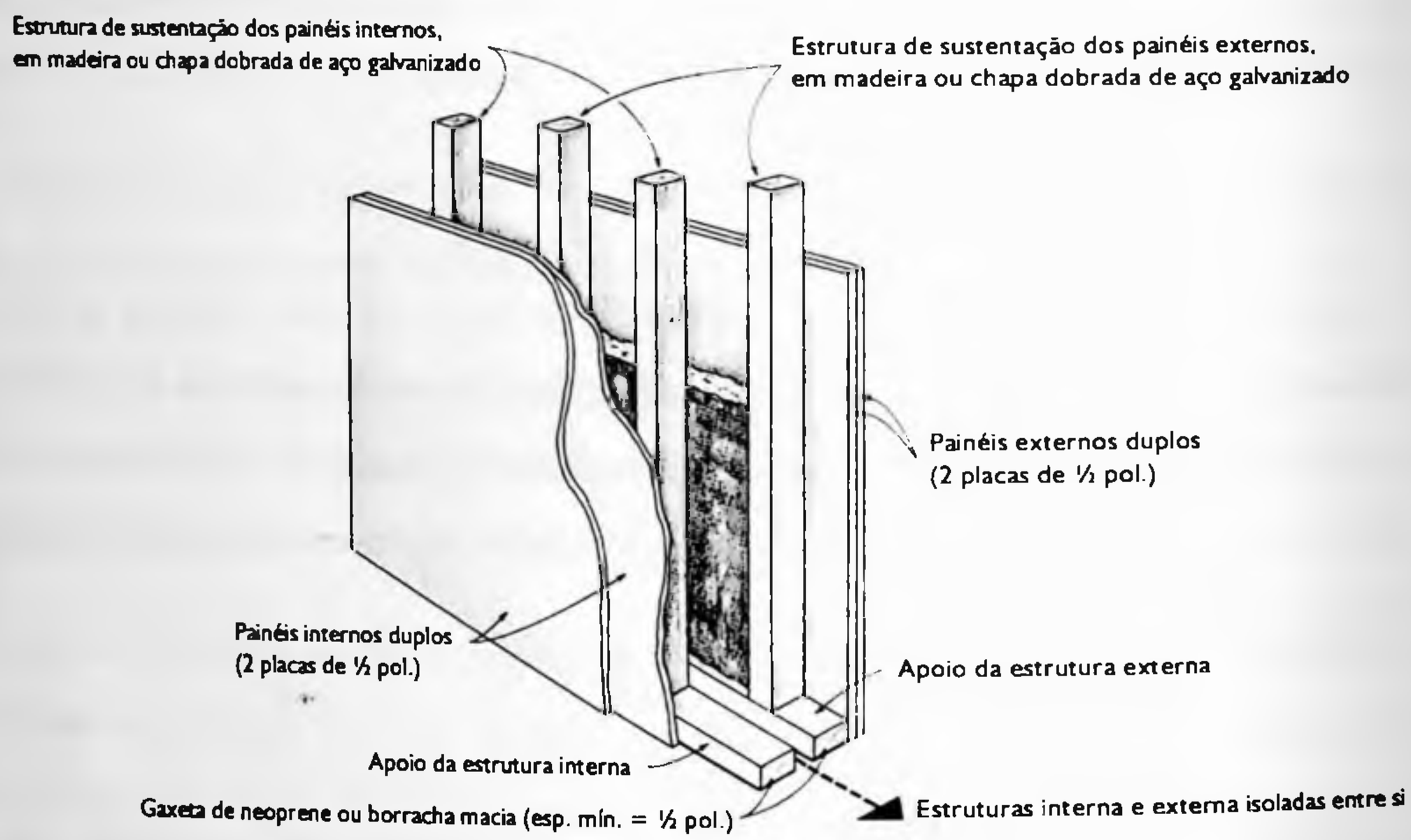


Figura 3.01: *Divisória de gesso acartonado com estruturas independentes, painéis duplos e preenchimento do espaço entre elas com material absorvente, como lã de vidro ou lã de rocha (Fonte: Cooper, 1976).*

Por serem de manuseio relativamente fácil, os painéis de gesso se prestam ainda à moldagem de superfícies inclinadas dentro de determinados ambientes, para melhorar a distribuição das suas reflexões sonoras.

3.2.5.9. Aglomerado de madeira

Composto de fibras, resina e cola, o aglomerado de madeira possui massa um pouco superior à do compensado (aproximadamente 800kg/m^3), quase igual à do gesso acartonado. O sistema de fixação e montagem das peças, a mão-de-obra barata, e a facilidade de manutenção das divisórias de gesso, no entanto, colocam o aglomerado de madeira em franca desvantagem.

3.2.5.10. Compensado de madeira

Devido a sua massa reduzida (aproximadamente 600kg/m^3), o compensado de madeira não é um bom isolante sonoro. Combinado com outros materiais, porém, o compensado de madeira se mostra eficiente na construção de absorvedores de baixas freqüências, e na reflexão de médias e altas freqüências (Imagem 3.09).

Imagem 3.09: *Sala de gravação com paredes revestidas em compensado de madeira, e placas refletoras, no mesmo material, penduradas no teto (Fonte: Manhattan Beach Studio, USA).*

3.2.5.11. Lambris de madeira (tipo macho-e-fêmea)

Muito comuns em estúdios de gravação, os lambris de madeira, geralmente de pouca espessura (e, portanto, pouca massa), utilizados no revestimento de paredes, são praticamente desprezíveis em termos de isolamento sonoro. (Imagem 3.10).

Imagem 3.10: *Sala de gravação do estúdio do SESC Vila Mariana, em São Paulo, SP, com as paredes revestidas em lambris de madeira sobre estrutura de caibros previamente fixada à parede divisória, e com os espaços entre ela e os lambris preenchidos com lã de vidro comprimida (Projeto do autor).*

Os materiais que compõem as paredes por trás dos lambris (em blocos de concreto ou tijolos cerâmicos revestidos, por exemplo) é que, na verdade, serão os responsáveis pela atenuação do ruído.

Na construção de estúdios, a fixação dos lambris às paredes constitui-se num detalhe importante. Se os lambris forem fixados a uma distância de alguns centímetros da parede, sobre uma estrutura independente, por exemplo, o resultado pode ser desastroso para um ambiente destinado à prática, gravação ou audição de música. Isso porque a fina membrana formada pelas réguas de madeira funcionará como um absorvedor de baixas freqüências, podendo desbalancear a sala.

A melhor solução, neste caso, é fixar os lambris diretamente sobre a parede divisória, sem qualquer espaço de ar entre eles, ou sobre uma estrutura de caibros previamente fixada à parede divisória, e preencher os espaços entre ela e os lambris com lã de vidro (ou lã de rocha) comprimida.

3.2.5.12. Assoalho de madeira

Igualmente comuns em estúdios, os assoalhos de madeira, geralmente de 20mm de espessura, são pouco eficientes em termos de isolamento sonoro (Imagem 3.11).

Imagem 3.11: *Sala de gravação dos estúdios Glenwood Place, Burbank, CA, USA, com assoalho de madeira em tábuas corridas de marfim (Foto: Divulgação).*

A exemplo das paredes, os materiais que compõem a laje de piso entre dois pavimentos contíguos é que, na verdade, serão os responsáveis pela atenuação do ruído entre eles.

A fixação do assoalho é um detalhe igualmente importante, pois se as tábuas forem fixadas a uma distância de alguns centímetros da laje de piso, o resultado pode ser a absorção desbalanceada dos sons de baixas freqüências. Também neste caso, a melhor solução é fixar o assoalho diretamente sobre a laje desempenada, sem qualquer espaço de ar entre eles.

3.2.5.13. Revestimentos cerâmicos

Apesar de sua massa considerável (2.200kg/m^3), os revestimentos cerâmicos não se constituem em isolantes sonoros eficientes pois, na maioria das vezes, eles são utilizados em lâminas de pouca espessura (4, 6 ou 8mm), aplicados diretamente sobre uma superfície rígida e muito mais espessa (uma parede ou uma laje, por exemplo).

Devido ao seu acabamento liso e polido, os revestimentos cerâmicos de piso e paredes são excelentes refletores de toas as freqüências do espectro audível. Não são materiais comumente utilizados em estúdios de gravação.

3.2.5.14. Revestimentos vinílicos e emborrachados

Os revestimentos vinílicos (tipo *paviflex*) e emborrachados (tipo *plurigoma*) possuem uma capacidade de atenuação desprezível, se comparada à atenuação sonora proporcionada pelo seu substrato (uma laje de concreto, por exemplo).

No entanto, os materiais mais moles e flexíveis (o *plurigoma*, por exemplo), se mostram razoavelmente eficientes na atenuação de ruídos de alta freqüência por impacto (como aqueles provenientes do atrito entre os saltos dos sapatos e o piso).

Sua absorção sonora é, praticamente, desprezível. Os pisos vinílicos, colados sobre um contrapiso desempenado, são excelentes refletores tanto quanto o concreto ou os revestimentos cerâmicos.

Segundo LORD *et al* (1986, p.15), "durante os anos 50 e 60, os Estúdios Abbey Road, em Londres, possuíam revestimento vinílico nos pisos, (...) substituído por carpete a partir dos anos 70".

3.2.5.15. Carpete

Como isolante sonoro, o desempenho do carpete é praticamente nulo, quer seja ele colado diretamente sobre o contrapiso desempenado, quer seja ele aplicado sobre uma base de feltro.

O carpete, no entanto, é um bom absorvente de altas freqüências. De fato, o carpete constitui-se, hoje, na única solução de revestimento de piso com características de absorção sonora.

Os modelos mais espessos, e aqueles aplicados sobre uma manta de feltro, são altamente eficientes na atenuação de ruídos de alta freqüência por impacto, como aqueles provenientes do atrito entre os saltos dos sapatos e o piso.

Em salas de gravação, por exemplo, o piso de carpete pode ser uma solução para diferenciar áreas mais "mortas" de áreas mais "vivas". Em salas técnicas, o piso de carpete pode ser uma solução interessante para evitar o excesso de reflexões do piso na direção do técnico.

3.2.5.16. Espumas perfiladas

As espumas perfiladas (em geral, de poliuretano) prestam-se muito pouco ao isolamento sonoro. Entretanto, têm-se mostrado altamente eficientes na absorção dos sons e ruídos de médias e altas freqüências (Imagem 3.12).

Imagem 3.12: *Sala de gravação do Estúdio Raptor (na cidade de Fargo, North Dakota, USA), totalmente revestida com placas de espuma perfilada (Foto: Divulgação).*

Fornecidas em peças de diversos tamanhos, cores, desenhos e espessuras, as espumas costumam ser coladas diretamente sobre superfícies rígidas de paredes e tetos. Devido à sua facilidade de instalação, as espumas perfiladas costumam ser muito utilizadas em estúdios de pequeno e médio porte.

3.2.5.17. Lãs (de vidro ou de rocha)

As lãs (de vidro ou de rocha), devido à sua porosidade decorrente dos espaços de ar entre suas fibras, prestam-se muito pouco ao isolamento sonoro. Porém são altamente eficientes na absorção dos sons e ruídos de médias e altas freqüências.

Sua aplicação é bastante ampla, pois o preço acessível e a significativa resistência ao fogo fizeram com substituíssem outros materiais comumente empregados no tratamento de ambientes por absorção sonora, como os feltros e os tecidos pesados, por exemplo.

Na maioria dos casos, a espessura e a densidade do material costumam ser os parâmetros mais importantes.

3.2.5.18. Fibra de celulose

As fibras de celulose, geralmente aplicadas por meio de jateamento, não se constituem num bom isolante, devido à sua pequena massa e à quantidade de ar entre suas fibras.

Comumente utilizadas no revestimento de estruturas metálicas aparentes, devido à sua resistência ao fogo, as fibras de celulose jateadas são mais eficientes na absorção sonora, principalmente das altas freqüências.

3.3. REVERBERAÇÃO E ABSORÇÃO

Reverberação é o declínio gradual do som num ambiente, após a(s) fonte(s) sonora(s) parar(em) de produzí-lo(s). Este fenômeno afeta diretamente as características de todos os sons produzidos e reproduzidos no ambiente e, por conseguinte, as características de qualquer gravação feita nesse ambiente. O controle da reverberação em ambientes é feito por meio da aplicação de materiais absorventes e de sistemas de absorção sonora.

Num estúdio de gravação, é recomendável que possamos controlar a reverberação do ambiente, ajustando-a a cada situação diferente, a partir das características das vozes, dos instrumentos e do tipo de música que se vai gravar. Um estúdio muito reverberante produz um som embaralhado, sem uma boa definição de vozes e instrumentos. Já um estúdio pouco reverberante deixa o som "seco" e sem vida.

3.3.1. Reverberação

De acordo com COOPER (1976, p.37), "ao deixar a fonte sonora, o som se propaga pelo meio (o ar) em ondas esféricas tridimensionais. Algumas destas ondas são percebidas diretamente por nosso ouvido (ou pelo microfone, no caso do estúdio), e compõem o que chamamos de som direto. As demais ondas – a maioria, diga-se – ao atingirem as paredes, o piso, o teto e os móveis, são refletidas de volta para o ambiente. Algumas são, novamente, percebidas por nosso ouvido, mas a maioria, de novo, atinge outras superfícies e o processo se repete, o que constitui o chamado som reverberante. Assim como perdem energia durante seus trajetos, as ondas sonoras também ficam mais fracas a cada choque com as superfícies do ambiente, até se tornarem inaudíveis. Todas essas reflexões chegam continuamente ao nosso ouvido (ou ao microfone, no caso da sala de gravação), em intervalos de tempo tão pequenos que é impossível percebê-las como ondas sonoras isoladas". Entretanto, é possível perceber um declínio gradual do som no ambiente, que pode chegar a alguns segundos, após a interrupção da emissão de sons a partir da fonte. O tempo para que o nível de um som diminua de 60 dB, a partir do instante de sua emissão, num determinado ambiente, é chamado de **tempo de reverberação** (Figura 3.04).

O tempo de reverberação de um ambiente é função de dois fatores preponderantes: o volume do ambiente (em metros cúbicos) e a quantidade de absorção desse ambiente (em metros quadrados). Em grandes ambientes, as ondas sonoras têm de percorrer longos trajetos até encontrarem uma superfície para se chocarem e serem refletidas. Isto explica porquê o tempo de reverberação é maior nos grandes ambientes. Para COOPER (1976), em grandes templos e igrejas, o tempo de reverberação pode chegar, com facilidade, a 5 ou 6 segundos. Na sala de estar de uma residência comum, no entanto, ele não passa de 1 segundo. Se, num dado ambiente, as suas superfícies forem revestidas com materiais muito absorventes (como carpetes, cortinas, espumas, etc.), grande parte da energia das ondas sonoras não é refletida de volta para o ambiente. Por isso, os ambientes revestidos com muito material absorvente têm um tempo de reverberação muito baixo.

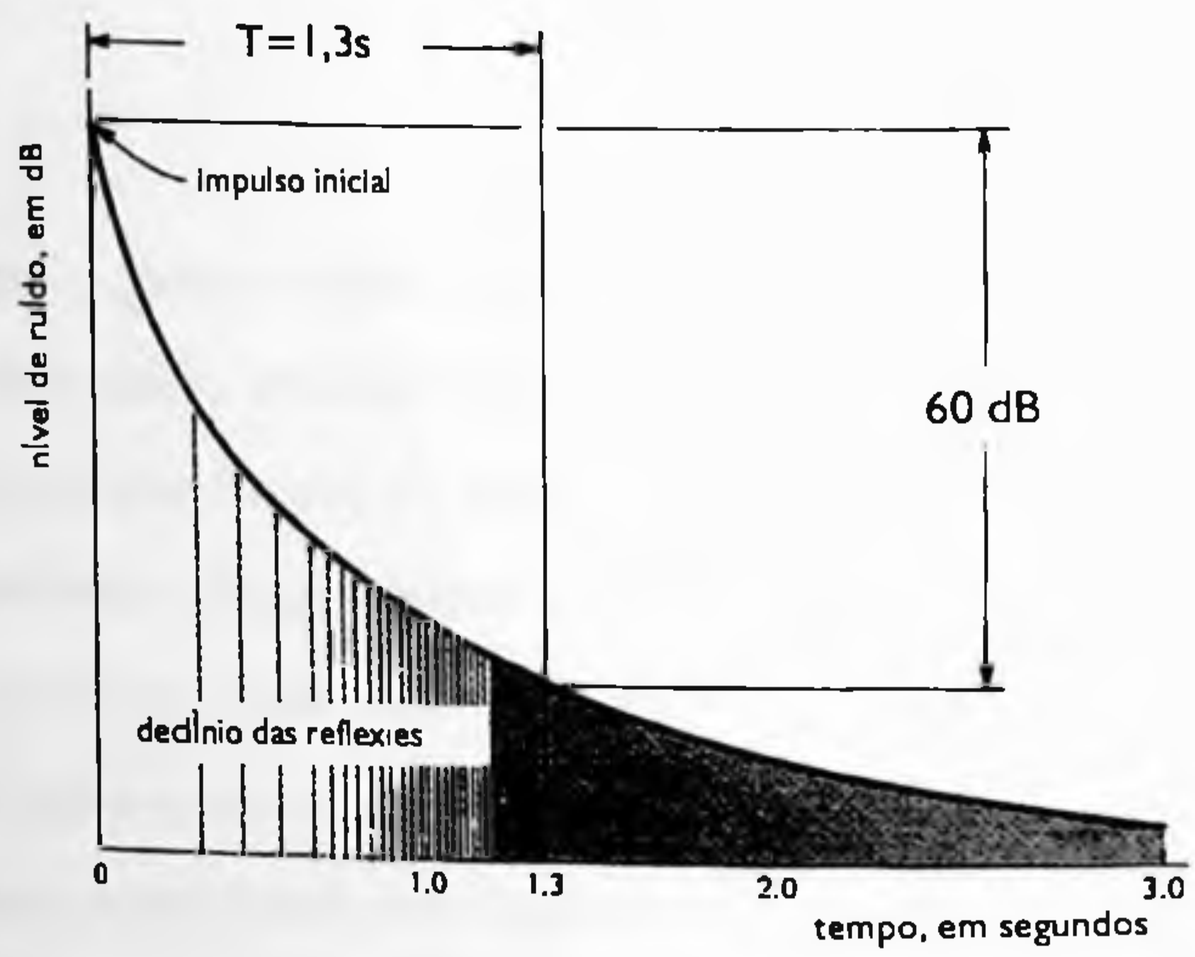


Gráfico 3.04: *Representação gráfica do tempo de reverberação de um ambiente hipotético, igual a 1,3s (Fonte: Cooper, 1976).*

Segundo EVEREST (1994, p.107), "durante muito tempo, a reverberação foi considerada como a característica acústica mais importante dos ambientes destinados à música ou à palavra falada. Nos dias de hoje, no entanto, com o avanço das pesquisas nessa área, a reverberação é apenas um dos diversos parâmetros para se definir a qualidade acústica de um determinado ambiente". Mesmo assim, é muito importante que, no ato do projeto, se possa estimar qual o resultado acústico da sala em se tratando do tempo de reverberação.

3.3.1.1. Cálculo do tempo de reverberação

SABINE (1927) pesquisou e formulou a primeira equação matemática para a previsão do tempo de reverberação de um ambiente, que é conhecida como fórmula de Sabine:

$$T = \frac{0{,}161\,V}{A}$$

Onde:

T é o tempo de reverberação, em segundos;

V é o volume interno da sala, em metros cúbicos;

A é a quantidade de absorção total do ambiente (em metros quadrados) que, por sua vez, é dada pela fórmula:

$$A = \sum (S.\alpha)$$

Sendo:

S a área, em metros quadrados, de um determinado material de revestimento interno do ambiente;

K o coeficiente de absorção sonora desse material.

Como a fórmula de Sabine se aplica melhor a ambientes altamente reverberantes, e não leva em conta a geometria da sala (só o seu volume) e a presença de pessoas, objetos e móveis que, certamente, interferem na reflexão das ondas sonoras, o resultado obtido é apenas uma aproximação.

A partir da fórmula de Sabine, EYRING (1930) desenvolveu a seguinte equação, que se mostrou mais adequada ao cálculo do tempo de reverberação em ambientes onde a média dos coeficientes de absorção sonora dos materiais de revestimento das suas superfícies internas poderia ser maior, em torno de 0,35:

$$T = \frac{0{,}07\,V}{-\,S\,.\log\left(1-\overline{\alpha}\right)}$$

Onde:

T é o tempo de reverberação, em segundos;

V é o volume interno da sala, em metros cúbicos;

S é a área total das superfícies internas do ambiente, em metros quadrados;

$\overline{\alpha}$ é a média dos coeficientes de absorção sonora (NRC) dos materiais que compõem as superfícies internas do ambiente.

FITZROY (1959), por sua vez, propõe o cálculo do tempo de reverberação a partir da fórmula de Sabine e das características dos materiais aplicados segundo três eixos (x, y e z) de um dado ambiente, assim:

$$T = \frac{S_x}{S}\cdot\frac{0{,}161\,V}{S\overline{\alpha}_x} + \frac{S_y}{S}\cdot\frac{0{,}161\,V}{S\overline{\alpha}_y} + \frac{S_z}{S}\cdot\frac{0{,}161\,V}{S\overline{\alpha}_z}$$

Onde:

T é o tempo de reverberação, em segundos;

V é o volume interno da sala, em metros cúbicos;

S é a área total das superfícies internas do ambiente, em metros quadrados;

S_n é a área total das superfícies internas do ambiente, por eixo (x, y e z), em metros quadrados;

$\overline{\alpha}_n$ é a média dos coeficientes de absorção sonora (NRC) dos materiais que compõem as superfícies internas do ambiente, por eixo (x, y e z).

MILLINGTON (1932) e SETTE (1933) propuseram alguns ajustes aos trabalhos de Sabine e Eyring. KUTTRUFF (1976) fez o mesmo em relação à fórmula de Fitzroy.

ARAU (1988) e TOHYAMA *et al* (1995) também estudaram o assunto e propuseram fórmulas diferentes para o cálculo do tempo de reverberação.

NEUBAUER (2000), comparou os resultados dos cálculos dos tempos de reverberação (em 500 Hz, e sem considerar o efeito do ar nos grandes volumes) de ambientes com volumes diferentes e média dos coeficientes de absorção (NRC) entre 0,22 e 0,23, a partir das fórmulas de Sabine, Eyring, Fitzroy, Millington-Sette, Fitzroy-Kuttruff, Arau e Tohyama *et al*. O resultado desse trabalho (Gráfico 3.05) é bastante interessante, pois revela que as fórmulas de Fitzroy, Tohyama e Arau estimam, sempre, valores maiores para o tempo de reverberação desses ambientes, do que os obtidos a partir da fórmula de Sabine. Por outro lado, as fórmulas de Eyring, Millington-Sette e Fitzroy-Kuttruff sempre revelam valores menores em relação àqueles obtidos a partir da fórmula de Sabine.

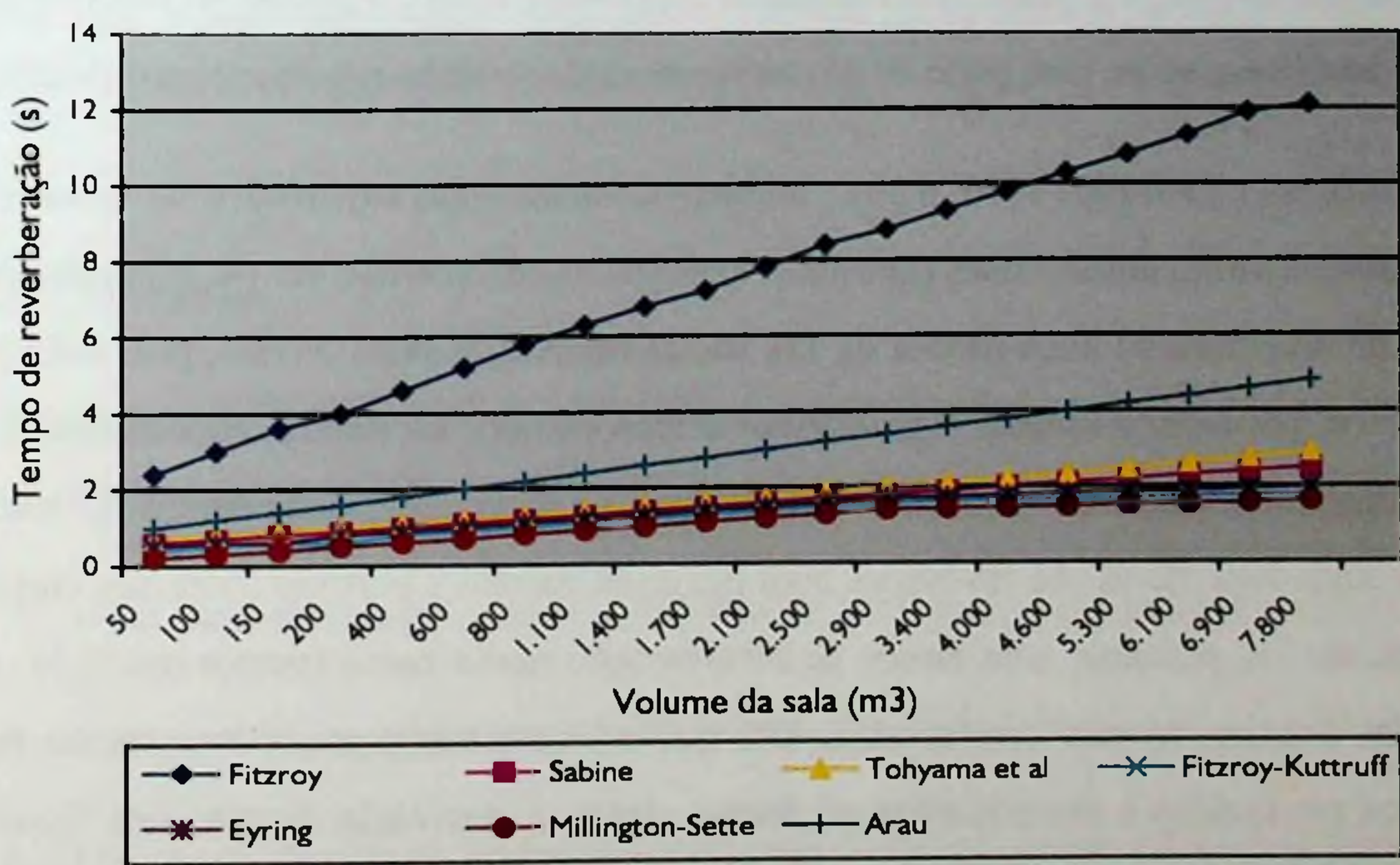


Gráfico 3.05: *Tempos de reverberação calculados para ambientes hipotéticos com volumes diferentes, a partir das fórmulas de Sabine, Fitzroy, Millington-Sette, Fitzroy-Kuttruff, Tohyama et al, Arau, e Eyring (Fonte: Neubauer, 2000).*

Por fim, também é importante notar que os resultados obtidos a partir das fórmulas de Sabine, Eyring, Millington-Sette, Fitzroy-Kuttruff e Tohyama *et al* são muito próximos entre si. As maiores diferenças estão nos resultados obtidos a partir das fórmulas de Fitzroy e Arau.

A partir do trabalho de NEUBAUER (2000), é possível concluir que o cálculo do tempo de reverberação de um determinado ambiente será sempre estimado. Seu resultado e, portanto, suas implicações no projeto acústico, decorrerão da fórmula adotada nesse cálculo. Também é possível concluir que o valor obtido por intermédio da fórmula de Sabine constitui-se numa estimativa satisfatória, na maioria dos casos.

O tempo de reverberação de um espaço já construído também pode ser medido *in loco*, com o auxílio de equipamentos. Existem diversos métodos de medição do tempo de reverberação, mas todos eles envolvem uma fonte sonora (geralmente um gerador de sinal), um sistema de filtros (para que se possa medir em várias freqüências), um microfone e um equipamento para registrar com precisão a redução da intensidade sonora no ambiente (um *plotter* gráfico ou digital, por exemplo). São feitas diversas medições, em vários pontos da sala, e a média dos resultados representa, então, o tempo de reverberação daquele ambiente, ou de uma parte de um ambiente onde se tenha um interesse específico.

De acordo com COOPER (1976, p.39), "ambientes vazios cujas superfícies são revestidas com materiais muito duros e lisos (ladrilhos, azulejos, massa corrida, etc.) e, portanto, com tempos de reverberação altos (acima de 1s), são chamados de salas 'vivas', pois reforçam os sons – e, portanto, a música – produzidos e reproduzidos ali dentro, especialmente as baixas freqüências, fazendo com que a música soe com mais intensidade dentro da sala. Já as salas cujas superfícies são revestidas com materiais macios e porosos (cortinas, carpete, espumas, etc.) e, portanto, com tempo de reverberação muito baixo (menor que 0,5s) são chamadas de salas 'mortas' (ou 'secas'), visto que reforçam muito pouco – ou, quase nada – os sons produzidos e reproduzidos ali dentro, dando a impressão de um som 'fraco' e sem vida. Conseqüentemente, prossegue Cooper, eventuais inconsistências no timbre e na afinação de vozes e instrumentos tornam-se muito mais perceptíveis ao nosso ouvido, fazendo com que esses estúdios sejam pouco populares entre os músicos".

Como o tempo de reverberação de um ambiente é função de seu volume e da quantidade de material absorvente que reveste as superfícies internas desse ambiente, o controle do seu tempo de reverberação pode ser feito por intermédio do acréscimo ou da redução de materiais com altos coeficientes de **absorção** sonora.

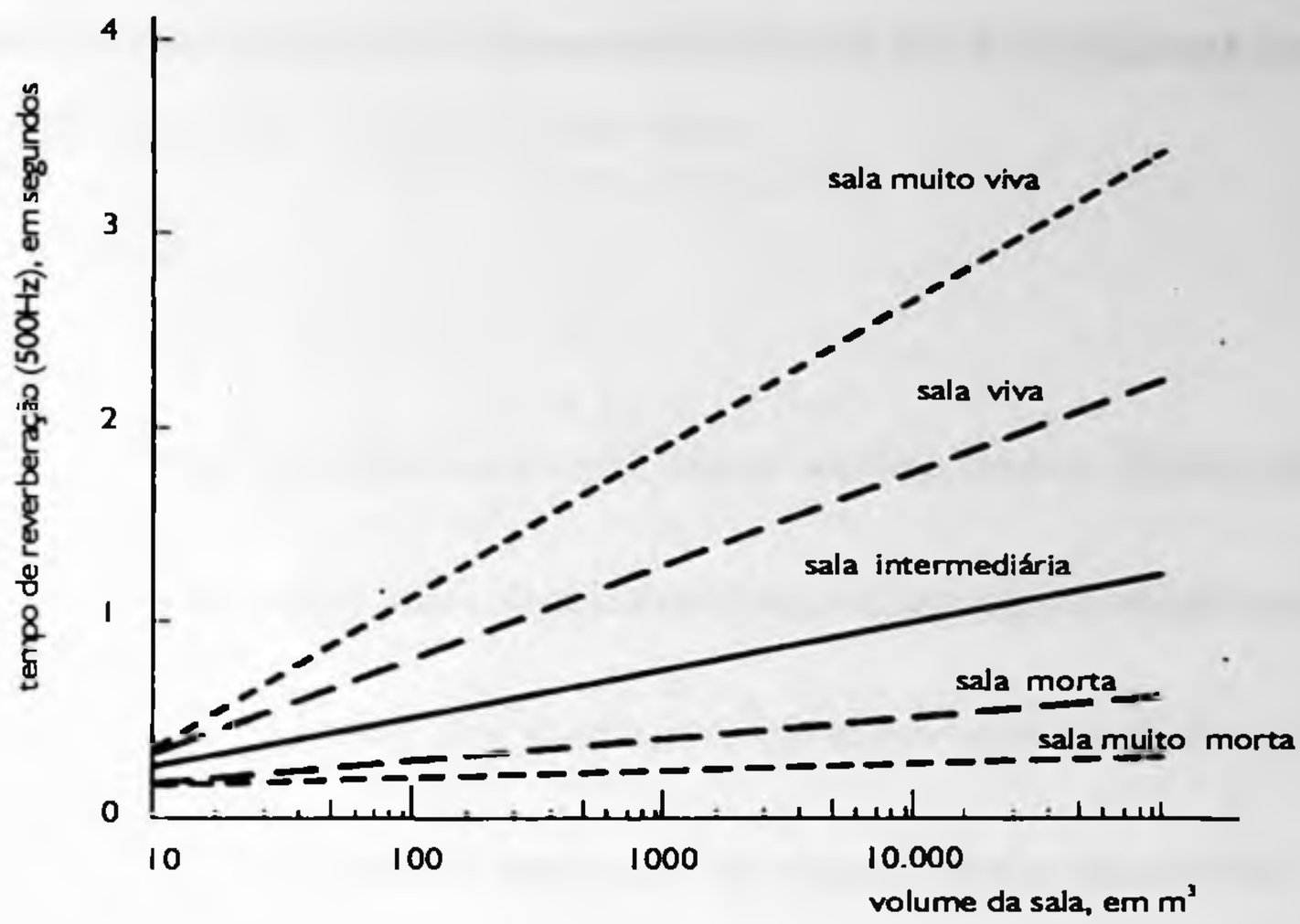


Gráfico 3.06: Interpretação gráfica comparativa dos tempos de reverberação de salas "vivas" e salas "mortas", em função do volume interno (Fonte: Cooper, 1976).

3.3.2. Absorção

De acordo com COOPER (1976, p.43), quando uma onda sonora incide sobre a superfície de um determinado material, ocorrem três fenômenos:

- Uma parte da energia sonora é **refletida** de volta para o ambiente de origem;
- Uma parte da energia sonora é **absorvida** pelo material; e
- Uma parte da energia sonora consegue atravessar o material e é **transmitida** para o outro lado.

A uma dada distância, a partir da fonte, a onda sonora possui uma **intensidade *(I)*** característica, que é definida como o fluxo de potência acústica (medida em *watts*) sobre uma área (medida em metros quadrados) e, sempre, calculada em watts por metro quadrado (W/m^2).

Assim, podemos representar os três fenômenos acima por meio da seguinte fórmula:

$$I = I_r + I_d + I_t$$

Onde:

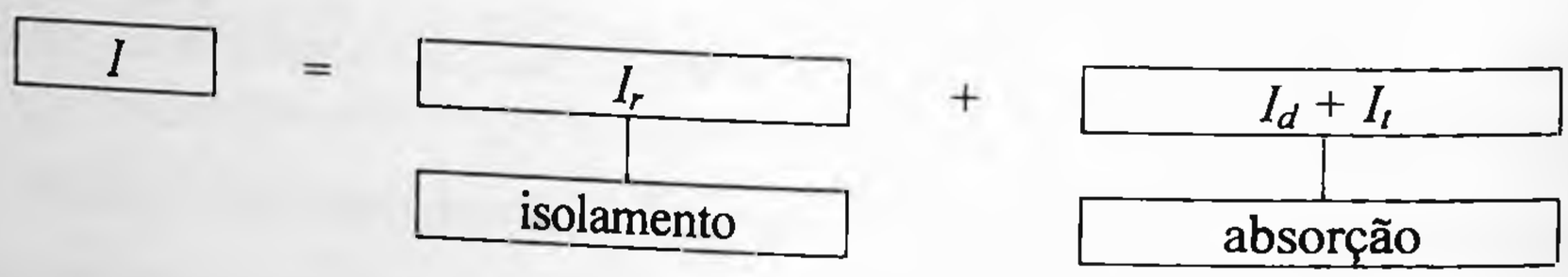
I é a intensidade sonora total que incide sobre o material (em w/m^2)

I_r é a parcela da energia sonora que é refletida de volta para o ambiente

I_d é a parcela da energia sonora que é dissipada pelo material;

I_t é a parcela da energia sonora que atravessa o material e é transmitida para o outro lado.

Portanto, a parcela da energia sonora refletida de volta para o ambiente é aquela que vai alimentar a reverberação; a parcela da energia sonora dissipada pelo material é, via de regra, transformada em calor; e, finalmente, a parcela da energia sonora que não é refletida nem dissipada pelo material, transpassa-o e corresponde ao que "se pode ouvir" (ou não) do outro lado. Com isso, é possível compreender a diferença entre as duas principais características acústicas de um material qualquer: a sua capacidade de **isolamento** e a sua capacidade de **absorção**. Vejamos:



Determinado material é considerado um **bom isolante** quando a parcela da energia sonora refletida por ele, de volta para o ambiente, é muito próxima da energia incidente, ou seja, muito pouco, ou quase nada, é absorvido ou transmitido para o outro lado. São materiais pesados, densos, como concreto, chumbo, aço, alvenaria de tijolos maciços, por exemplo. Conseqüentemente, determinado material é considerado um **bom absorvente** quando a parcela da energia sonora refletida por ele, de volta para o ambiente, é muito pequena em relação à energia incidente, ou seja, boa parte da energia é absorvida e/ou transmitida para o outro lado. São materiais porosos, como as espumas, os feltros, os carpetes, as lãs de vidro e de rocha, por exemplo.

Portanto, como regra geral, podemos afirmar que os materiais considerados bons absorventes são péssimos isolantes, e vice-versa.

Ora, se:

$$I = I_r + I_d + I_t$$

Então:

$$\frac{I}{I} = \frac{I_r + I_d + I_t}{I}$$

E, ainda:

$$1 = \frac{I_r}{I} + \frac{I_d + I_t}{I}$$

Por isso, o resultado da fração entre a parcela da energia sonora que não é refletida de volta para o ambiente *(I_d + I_t)* dividida pela energia sonora total incidente *(I)*, por banda de freqüência, é chamado de **coeficiente de absorção sonora (K)**, e varia de 0 a 1.

De acordo com COOPER (1976, p.43), "quando se diz que um determinado material possui coeficiente de absorção sonora igual a 0,83 numa dada freqüência, significa que aquele material deixa de refletir 83% de toda a energia sonora incidente sobre ele, naquela freqüência. Ou seja, parte desses 83% é dissipada pelo material, e parte é transmitida para o outro lado".

Ainda segundo COOPER (1976, p.44), "o coeficiente de absorção sonora depende de uma série de características internas do material (massa, porosidade, módulo de elasticidade, espessura) e, também, de fatores externos (freqüência da onda sonora incidente, ângulo de incidência, maneira pela qual o absorvente foi montado)".

A absorção sonora de um determinado ambiente pode ser controlada por meio do acréscimo – ou da retirada – de materiais e/ou dispositivos com características específicas de desempenho em determinadas freqüências ou bandas de freqüências.

3.3.2.1. Materiais porosos

Para COOPER (1976, p.44), "quase sem exceção, os materiais com coeficientes de absorção sonora elevados, como as espumas, as cortinas, os carpetes, os feltros, as lãs de vidro e de rocha, são materiais porosos. Com alguns centímetros de espessura – às vezes nem isso – esse materiais são bastante eficientes na absorção das altas freqüências. Isto se deve ao fato de que os sons de altas freqüências têm pequenos comprimentos de onda (da ordem de alguns centímetros ou milímetros) e, assim, o movimento de vai-e-vem das moléculas de ar é atenuado pelo atrito com as fibras dos materiais porosos. Esse atrito converte parte da energia sonora em calor, e uma outra parte da energia atravessa o material".

Os fabricantes desses materiais, principalmente os de lã-de-vidro, espumas e lã-de-rocha, costumam informar os coeficientes de absorção sonora de seus produtos. Por outro lado, quase todos os livros de acústica trazem uma tabela com os coeficientes de absorção sonora de uma grande variedade de materiais e elementos construtivos, o que é bastante útil aos arquitetos e projetistas de estúdios (Anexo V).

Segundo EVEREST (1994, p.158), "nos primeiros estúdios, construídos a partir da metade da segunda década do século XX, o tratamento acústico se resumia ao uso excessivo de carpetes e cortinas, o que acentuava um grave defeito da maioria dos absorvedores porosos: a sua absoluta ineficiência na absorção das baixas freqüências. As placas de fibras de celulose, com uma das superfícies perfuradas, foram o padrão de tratamento acústico adotado na grande maioria dos estúdios até o final dos anos 60, mas traziam consigo o mesmo problema dos demais absorvedores porosos em relação às ondas estacionárias de baixa freqüência".

Como as baixas freqüências, com grandes comprimentos de onda (acima de 1,25m), não são compatíveis com espaços de ar tão minúsculos e, por isso, não são absorvidas, isso nos leva a recorrer a outros dispositivos de absorção sonora destinados a controlar essa gama específica de freqüências.

3.3.2.2. Placas vibrantes

Um exemplo de dispositivo de absorção de sons de baixas freqüências são as placas vibrantes, também chamadas de membranas absorventes que, de acordo com COOPER (1976, p.45), "consistem de uma membrana – uma chapa de compensado de 5 ou 6mm de espessura, por exemplo – montada sobre um colchão de ar de alguns centímetros (Figura 3.02). O sistema funciona da seguinte maneira: as ondas sonoras incidem sobre a superfície da membrana, levando-a a vibrar. O painel entra em ressonância numa freqüência que é determinada por sua espessura, por sua rigidez e pelo tamanho do espaço de ar atrás dele. Essa ressonância acaba por anular as demais ondas sonoras de mesma freqüência que atingem o painel nos momentos seguintes. Assim, tais freqüências são absorvidas, enquanto as demais (médias e altas) são refletidas".

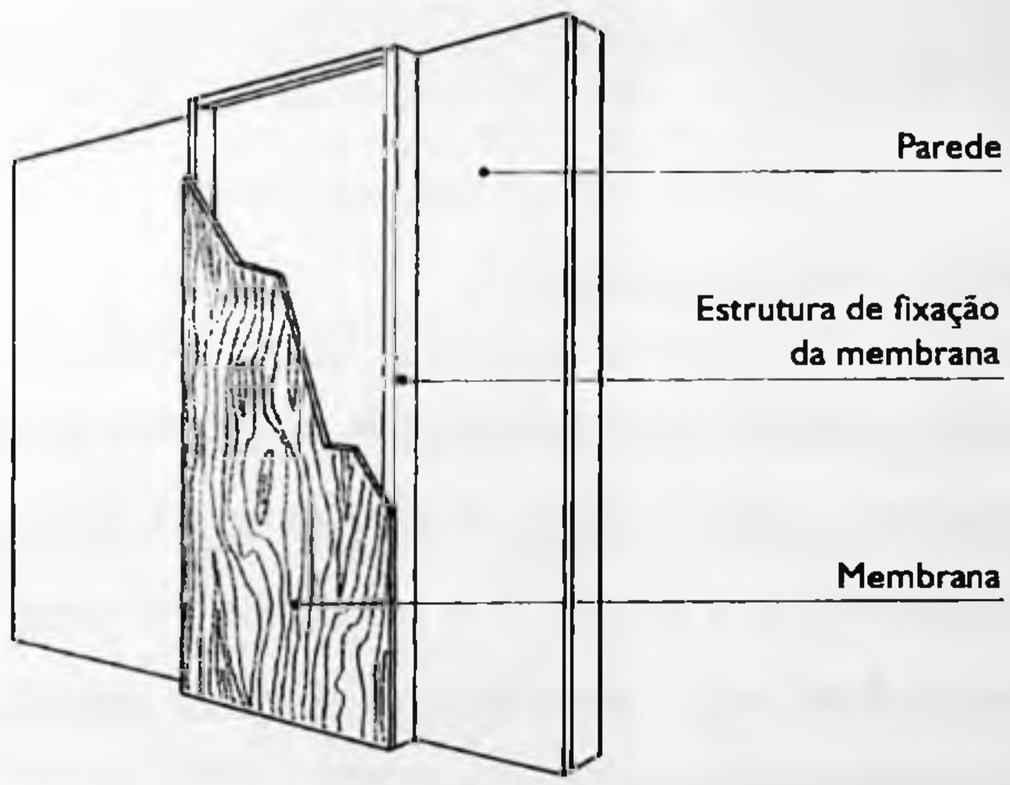


Figura 3.02: *Construção de placa vibrante (Fonte: Cooper, 1976).*

Para EVEREST (1994, p.172), "algumas das melhores salas destinadas à apresentação de música de câmara devem sua excelência acústica a um eficiente sistema de absorção de baixas freqüências, decorrente da larga utilização de painéis, principalmente no revestimento das paredes. Compensado de madeira ou lambris do tipo macho-e-fêmea fazem as vezes da membrana que, ao vibrar, contribui para a absorção das baixas freqüências. Assoalhos de madeira (do tipo macho-e-fêmea) no piso, e painéis de gesso acartonado (do tipo *dry-wall*) em paredes e forros, agem da mesma forma em relação às baixas freqüências. Por isso, tais tipos de materiais devem ser incluídos no projeto acústico da sala, quer seja ela grande ou pequena".

Segundo COOPER (1976, p.45), "as placas vibrantes – ou membranas absorventes – também são chamadas de *basstraps*, devido à sua atuação junto às baixas freqüências".

O cálculo da freqüência de ressonância das membranas absorventes, de acordo com COOPER (1976) e EVEREST (1994), é feito com o auxílio da fórmula:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{i.d.e}}$$

Onde:

f_0 é a freqüência de ressonância da placa vibrante, em Hertz;

i é a distância entre a membrana e a parede atrás dela, em metros;

d é a densidade do material utilizado na confecção da membrana, em quilos por metro cúbico;

e é a espessura da membrana em metros.

COOPER (1976, p.124) demonstra que a extensão de freqüências efetivamente absorvidas por uma determinada placa vibrante pode ser ampliada por intermédio da quebra de paralelismo entre a membrana e a parede, e o acréscimo de uma camada de material absorvente (lã de vidro ou lã de rocha, por exemplo) de baixa densidade, colocado entre a membrana e a superfície rígida atrás dela (Figura 3.03).

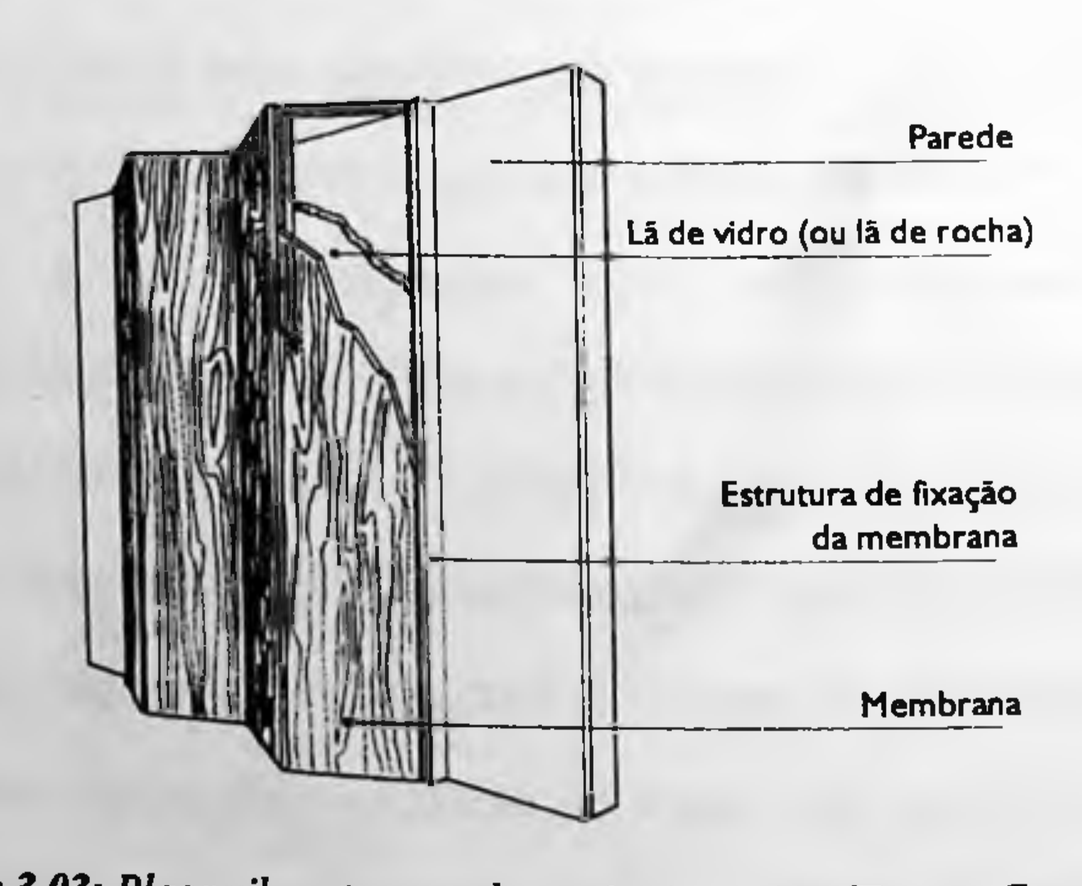


Figura 3.03: *Placa vibrante com abrangência maior (Fonte: Cooper, 1976).*

3.3.2.3. Absorvedores policilíndricos

Os absorvedores policilíndricos (Imagem 3.13) são uma variação das placas vibrantes, com uma vantagem sobre elas: permitem a obtenção de um bom campo difuso na sala, ao mesmo tempo em que a tornam mais "viva" e "brilhante", o que seria mais difícil de se conseguir lançando mão apenas de superfícies planas não paralelas entre si.

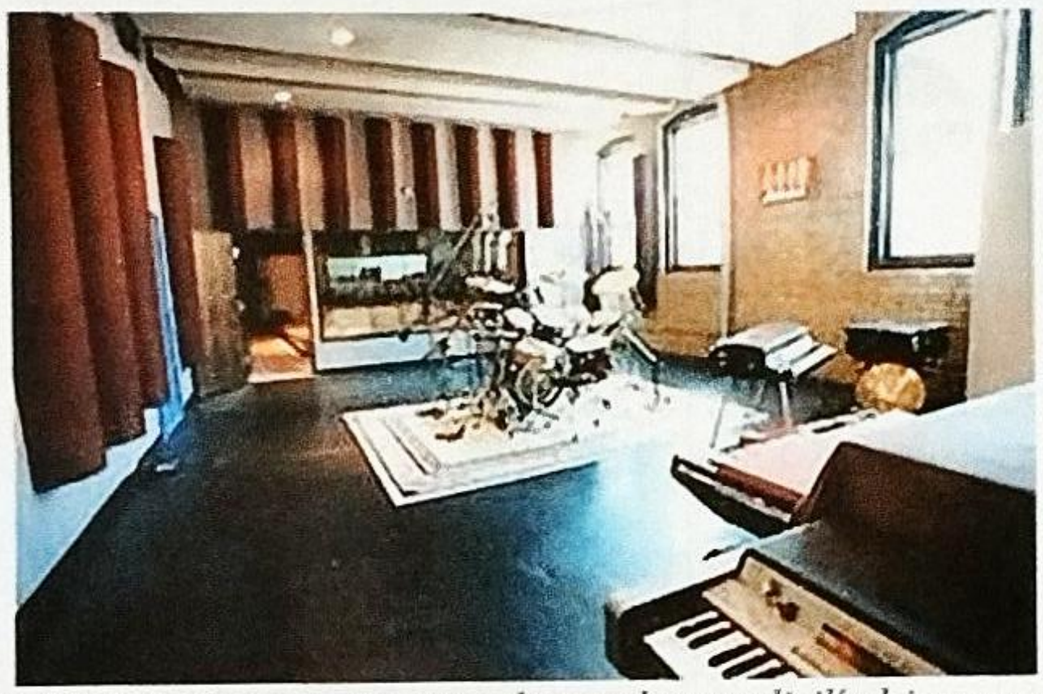


Imagem 3.13: *Sala de gravação com absorvedores policilíndricos nas paredes (Fonte: http://www.a440studios.com).*

Sua construção é similar à das placas vibrantes, porém com a membrana curva. Segundo EVEREST (1994, p.175), "um dos problemas em utilizar esses dispositivos reside justamente na escassez de informações a respeito de seus coeficientes de absorção sonora".

MANKOWSKY (1971) estudou o assunto e descreveu que, quanto maior o raio e a área exposta do cilindro, melhor a absorção dos sons de baixa freqüência; e que a diferença de tamanho entre os dispositivos não implicava em diferenças significativas na absorção sonora das freqüências acima de 500 Hz.

Outro dado importante descrito por MANKOWSKY (1971) refere-se ao efeito de se preencher a cavidade desses absorvedores com materiais porosos (lã de vidro ou lã de rocha, por exemplo), o que melhora sensivelmente o desempenho do dispositivo em relação às baixas freqüências. EVEREST (1994, p. 177) compara o desempenho de absorvedores policilíndricos de quatro diferentes tamanhos (Figura 3.04).

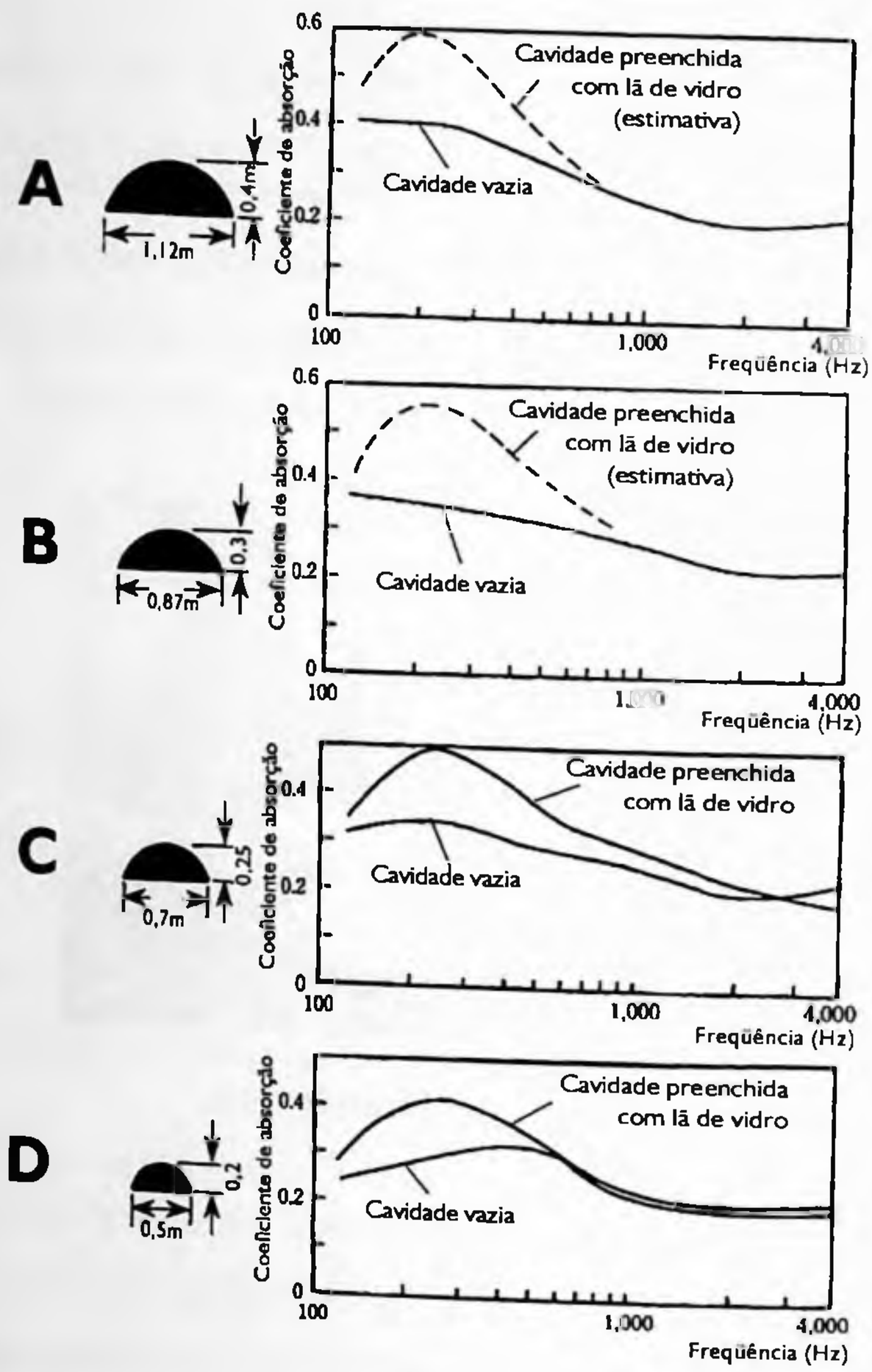


Figura 3.04: Comparação gráfica do desempenho em relação à absorção sonora de absorvedores policilíndricos de quatro diferentes tamanhos... (Fonte: Everest, 1994)

3.3.2.4. Ressoadores do tipo helmholtz

Um outro exemplo de dispositivo para absorção sonora são os ressoadores do tipo *helmholtz*, que consistem num espaço de ar fechado, com uma pequena abertura (ou gargalo) para o exterior, como um garrafão de vinho (Figura 3.05). Como se sabe, um garrafão – ou, mesmo, uma garrafa qualquer – produz um determinado som quando sopramos dentro dele(a), pelo gargalo. Conforme vamos enchendo o garrafão – ou a garrafa – com água, o volume de ar interno diminui e, conseqüentemente, o som que se ouve ao soprá-lo torna-se mais agudo.

Este fenômeno ocorre pelo fato de que cada dispositivo possui uma freqüência natural de ressonância, determinada pelo volume de ar interno e pelo tamanho do gargalo.

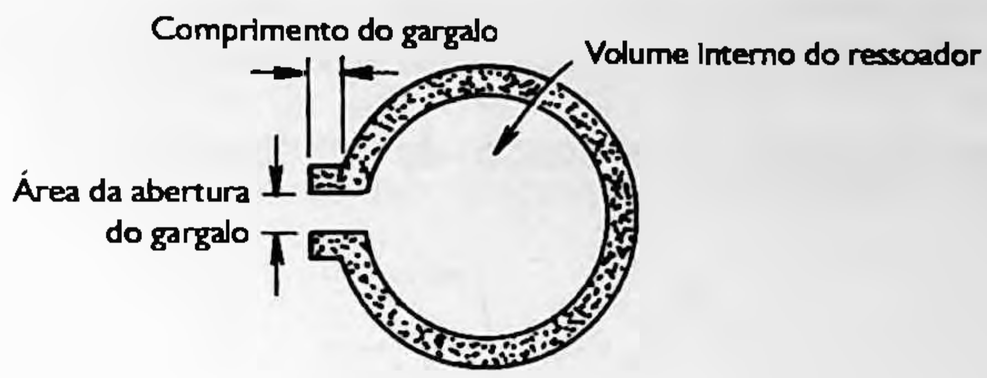


Figura 3.05: *Esquema de um absorvedor do tipo "Helmholtz" (Fonte: Cooper, 1976).*

Segundo COOPER (1976, p.46), os absorvedores do tipo *helmholtz* funcionam da seguinte maneira: "quando uma onda sonora, com uma freqüência igual ou muito próxima à do dispositivo, incide sobre a abertura, o ar contido no gargalo é levado a vibrar. Como o volume de ar no interior do dispositivo é muito grande, ele resiste à compressão do pequeno volume de ar do gargalo, 'empurrando-o' de volta para fora, no sentido contrário às ondas que estão se aproximando naquele momento, que são então absorvidas por cancelamento de fases".

Evidentemente que, ao invés de se utilizar garrafas ou garrafões, normalmente se constrói tais dispositivos em alvenaria, concreto ou madeira, adequando-os aos demais padrões de acabamento adotados no projeto do estúdio.

De acordo com WHITE (1999, p.157), "é possível simular o efeito de dezenas de garrafas trabalhando juntas por intermédio da fixação de um painel perfurado sobre um espaço de ar, que pode ainda ser preenchido com material poroso (como lã de vidro ou lã de rocha, por exemplo), aumentando a sua eficiência".

Para COOPER (1976, p.46), "absorvedores do tipo *helmholtz* são concebidos para absorção de freqüências bastante específicas e, por isso, sua principal utilização em estúdios é justamente para corrigir ondas estacionárias e ressonâncias muito críticas, principalmente nas médias e baixas freqüências".

EVEREST (1994, p.181) complementa COOPER (1976), ao afirmar que "os absorvedores do tipo *helmholtz* permitem que o som seja absorvido não só nas suas freqüências de ressonância mas, também, em uma gama de freqüências próximas, acima e abaixo delas".

A freqüência de ressonância dos absorvedores do tipo *helmholtz* construídos com chapas perfuradas é obtida por intermédio da aplicação da seguinte fórmula:

$$f_o = 5\sqrt{\frac{p}{(i).(t)}}$$

Onde:

f_o é a freqüência de ressonância do dispositivo, em Hertz;

p é a porcentagem de perfuração do painel (área total perfurada, dividida pela área total do painel, multiplicado por 100), em %;

i é a profundidade do espaço de ar, atrás do painel perfurado, em metros;

t é o comprimento efetivo de cada cavidade (furo), em metros[13].

A porcentagem de perfuração dos painéis é dada pelas fórmulas abaixo (Figura 3.06:

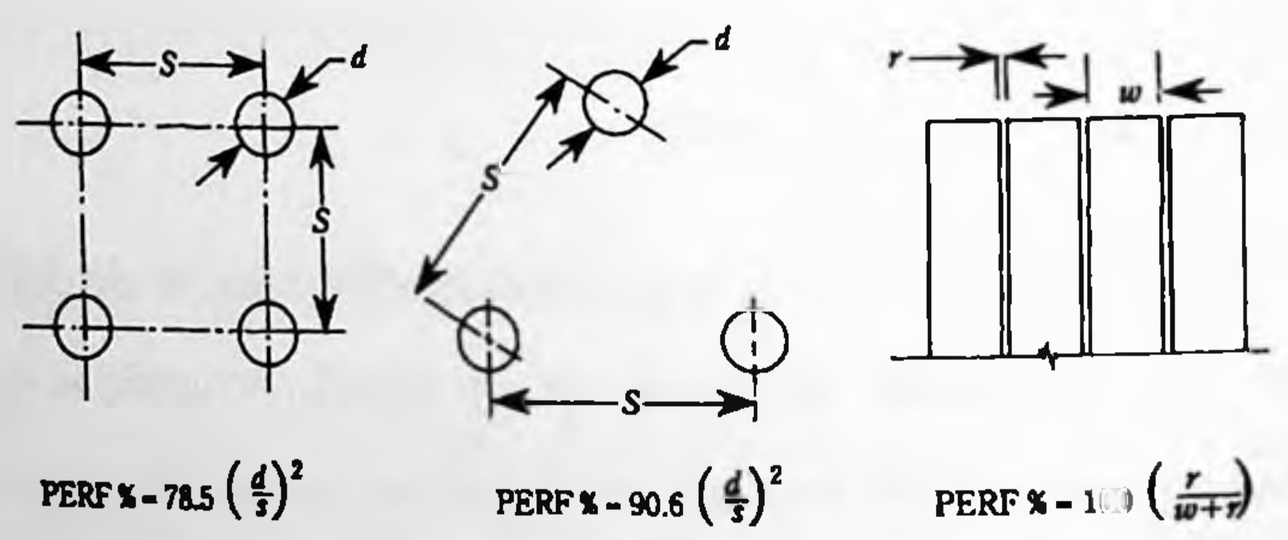


Figura 3.06: *Fórmulas para o cálculo da porcentagem de perfuração para absorvedores "Helmholtz" (Fonte: Everest, 1994).*

[13] EVEREST (1994) e WHITE (1999) explicam que o comprimento efetivo das cavidades é obtido a partir da seguinte fórmula: $t = [(0{,}0254.e) + 0{,}8].D$, onde "$t$" é o comprimento efetivo das cavidades do painel (em metros), "e" é a espessura do painel (em metros), e "D" é o diâmetro dos furos (também em metros).

De acordo com EVEREST (1994, p.184), "há uma certa confusão na literatura disponível em relação ao cálculo de *p*, a porcentagem de perfuração do painel. Alguns autores utilizam a proporção decimal entre a área perfurada e a área do painel, ao invés da porcentagem entre a área perfurada e a área do painel, introduzindo um 'duvidoso' fator 100. Entretanto, a porcentagem de perfuração do painel pode ser facilmente obtida conhecendo-se o diâmetro dos furos, sua disposição no painel e a distância entre seus centros".

3.3.2.5. Absorvedores do tipo broadband

Broadband absobers – ou absorvedores do tipo *broadband* – são um outro exemplo de dispositivo de absorção sonora. Este método utiliza uma série de *baffles* para obstruir o trajeto das ondas sonoras que se pretende absorver. *Baffles* são painéis compostos de materiais porosos (espuma, lã de vidro ou lã de rocha) que, em geral, são aplicados nas duas faces de um elemento rígido qualquer (pode ser uma chapa de fibrocimento, uma placa de aglomerado ou de compensado, etc.). Esses painéis são, então, pendurados paralelos e/ou perpendiculares entre si, no forro ou na laje do ambiente que está sendo tratado. Quando uma onda sonora incide sobre um painel, parte da energia sonora é absorvida pelo material poroso e parte é refletida, atingindo o painel imediatamente próximo. Este processo repete-se continuamente, por um certo número de vezes, dissipando a energia sonora da onda.

De acordo com COOPER (1976, p.47), "para que o sistema funcione de maneira correta, os *baffles* devem ser montados obedecendo a uma distância exata entre eles, determinada matematicamente, e que varia de caso a caso. Em geral, o espaçamento entre os *baffles* deve ser suficiente para que as ondas sonoras das freqüências que se pretende absorver (e, também, de freqüências mais altas) sejam capazes de entrar no espaço entre eles. Como a eficiência do sistema, em baixas freqüências, está diretamente ligada às dimensões dos *baffles* em si e à forma como eles estão dispostos no ambiente, sua configuração pode ser ajustada ou 'afinada' para uma determinada freqüência de corte".

A comparação do desempenho dos principais tipos de dispositivos de absorção feita por COOPER (1976, p.48) demonstra de maneira clara as características de cada um deles (Figura 3.07).

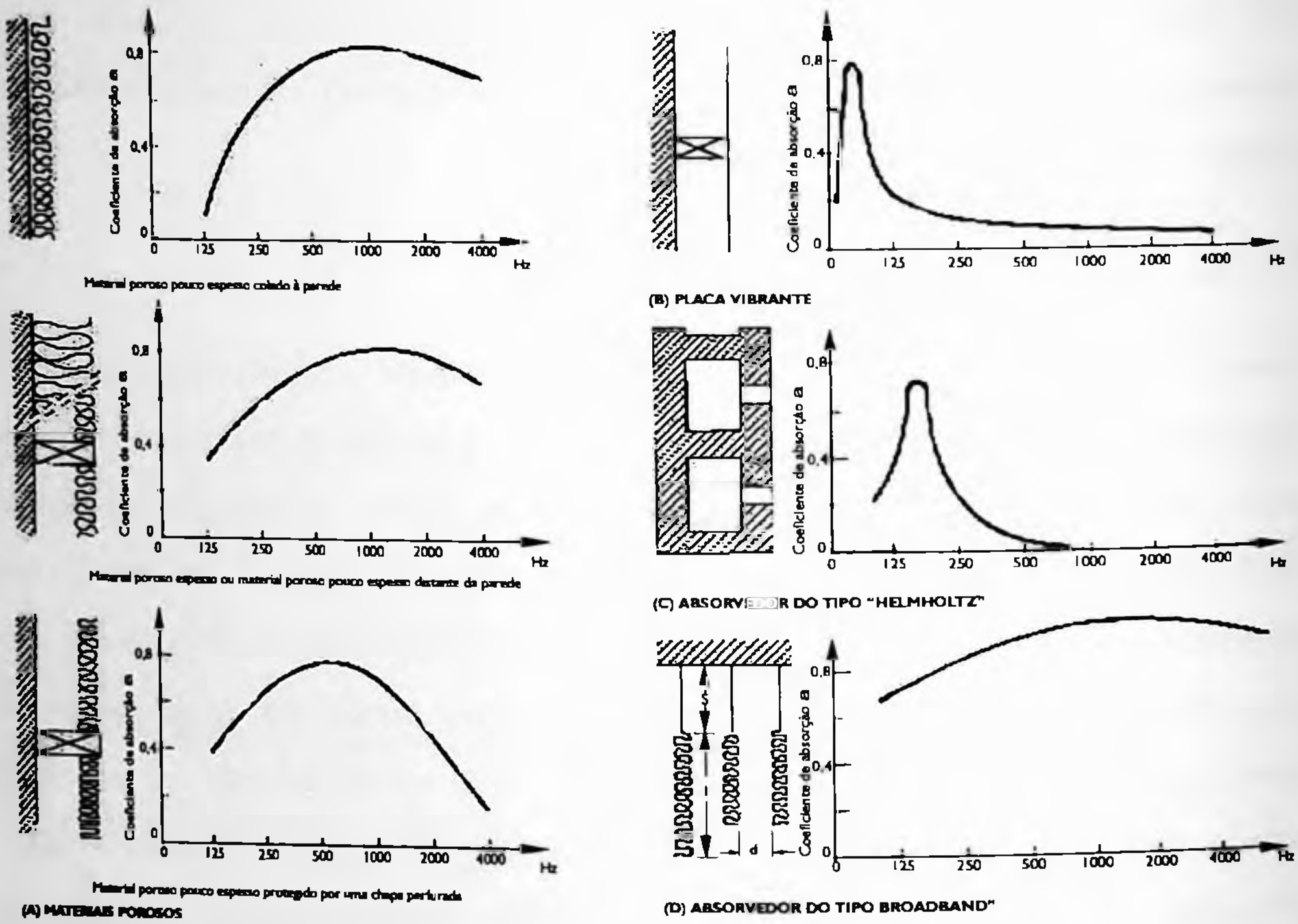


Figura 3.07: Comparação gráfica dos coeficientes de absorção sonora (K) dos principais materiais e dispositivos de absorção (Fonte: Cooper, 1976).

3.3.3. Reverberação e absorção na sala de gravação

De acordo com COOPER (1976, p. 40), "muitos músicos gostam de ouvir a si mesmos enquanto tocam, e o reforço de intensidade do som decorrente da reverberação da sala os faz preferirem tocar em ambientes mais 'vivos'. A reverberação também tende a atenuar eventuais inconsistências no timbre e na afinação de vozes e instrumentos, tornando a performance mais consistente. Talvez isso explique porque cantar no chuveiro é tão popular no mundo todo. As superfícies lisas e duras de ladrilhos e azulejos refletem a voz e enfatizam as baixas freqüências, ao mesmo tempo em que atenuam as variações de timbre e afinação, dando a ilusão de profundidade, potência e controle da voz do intérprete".

O fato de que a reverberação de um determinado ambiente pode ajudar as vozes e instrumentos a soarem mais consistentes deveria significar que as salas de gravação em geral fossem ambientes bem reverberantes. No entanto, na prática, isso não acontece.

Segundo EVEREST (1994, p.124), "numa sala onde se grava predominantemente música pop e rock, por exemplo, durante a gravação, os instrumentos são isolados uns dos outros e direcionados para canais separados da fita, a fim de serem balanceados e mixados num segundo momento. O excesso de reverberação, neste caso, tornaria a **isolação** entre os instrumentos praticamente impossível, pois a massa sonora decorrente das inúmeras reflexões das ondas produzidas pelos diversos instrumentos e amplificadores dentro da sala seria facilmente captada pelos microfones que estariam lá, cada um deles, para capturar o som de uma determinada voz ou instrumento. E este efeito é particularmente pronunciado nas baixas freqüências, cujos comprimentos de onda são maiores e, portanto, mais complicados de serem absorvidos. Em casos extremos, essa interferência do som geral na gravação de cada instrumento, também chamada de **vazamento**, compromete todo o conceito de gravação multicanal pois, na mixagem, quando o nível de um determinado instrumento precisar ser elevado ou reduzido, o mesmo se dará com toda a massa sonora dos demais instrumentos capturada naquele canal. Por isso, em salas de gravação desse tipo, tempos de reverberação muito elevados não são recomendados".

Para COOPER (1976, p.43), "o tempo de reverberação de uma sala de gravação depende fundamentalmente do tipo predominante de música a ser tocada ou gravada ali. Numa grande sala, onde se grava música clássica, por exemplo, uma certa quantidade de reverberação não é apenas tolerada, mas desejada. É essa reverberação, da ordem de alguns segundos, que dará à orquestra um 'som de conjunto', atenuando eventuais inconsistências entre os instrumentos e entre os naipes. Numa sala de gravação destinada a gravar rock e pop, os níveis sonoros são bastante elevados devido ao uso de amplificadores. Além disso, o espaço é menor, a isolação é crítica, e vazamentos de som devem ser evitados ao máximo. Por isso, o tempo de reverberação deve ser baixo (algo entre 0,3s e 0,6s)".

WHITE (1999, p.164), por sua vez, afirma que "uma sala destinada a gravar música clássica deve possuir tempo de reverberação entre 0,6s e 1,2s. Uma sala destinada à locução e à gravação da palavra falada deve possuir um tempo de reverberação menor, entre 0,15s e 0,3s".

Dessa forma, numa sala de uso múltiplo, para gravar diversos tipos de música, é fundamental que os dispositivos utilizados em seu tratamento acústico permitam ajustar o tempo de reverberação a cada necessidade específica.

Hoje em dia, com os significativos avanços da eletrônica e da tecnologia digital, existem diversas opções de equipamentos que permitem adicionar, de maneira controlada, "quantidades" de reverberação a uma determinada gravação, depois do som já ter sido capturado, ou seja, durante a mixagem. Isto quer dizer que, se uma determinada "quantidade" de reverberação é desejada, a voz ou o instrumento podem ser gravados sem nenhuma reverberação e, num segundo momento, a "quantidade" correta é adicionada eletronicamente. Uma vez que qualquer reverberação, presente numa determinada gravação, não pode mais ser removida, é muito mais seguro, do ponto de vista técnico, gravar as vozes e instrumentos quase sem nenhuma reverberação, para depois adicionar a "quantidade" necessária, durante a mixagem.

De acordo com COOPER (1976, p.41), "uma última razão pela qual o excesso de reverberação não é bem-vindo, na maioria das salas de gravação, deve-se ao fato de que grande parte dos ambientes onde se ouve ou se reproduz música (na sala de estar, no quarto, no clube, no salão de festas) adiciona um pouco de sua própria reverberação ao som gravado. Portanto, toda gravação ouvida por intermédio de um sistema de alto-falantes parecerá um pouco mais reverberante do que ela realmente é. Este efeito pode ser mais bem sentido em gravações feitas em estúdios com pouquíssima reverberação e depois reproduzidas em grandes ambientes, com suas superfícies revestidas em material refletivo. Como a maioria dos ambientes – de uma casa, por exemplo – possui tempo de reverberação inferior a 1s (devido ao volume reduzido desses ambientes), o fenômeno é muito difícil de ser percebido no dia-a-dia das pessoas, exceto quando se compara o som de uma mesma gravação ouvido por intermédio de um sistema de alto-falantes e por intermédio de um sistema de fones-de-ouvido".

Nos fones, o som parece mais claro, definido e com suas vozes mais distintas que nos alto-falantes.

Todos estes argumentos parecem sugerir que as salas de gravação devem apresentar baixíssimos tempos de reverberação. Entretanto, se o tempo de reverberação de uma determinada sala for muito baixo, as gravações feitas ali apresentarão um som 'apagado', 'seco' e 'sem vida'. Com isso, muito provavelmente, artistas, músicos e produtores não se sentirão confortáveis trabalhando lá. Como regra geral, conclui COOPER (1976, p.42), "a reverberação nas salas de gravação multicanal deve ser reduzida principalmente nas baixas freqüências – maior responsável pelos problemas de vazamento de som entre os canais – e controlada em médias e altas, adequando-a ao tipo de música que se vai gravar".

Segundo EVEREST (1994, p.126), "o objetivo em salas destinadas à locução e à gravação da palavra falada é garantir que o seu tempo de reverberação não apresente diferenças, ao longo de todo o espectro audível. No caso dos sons de médias e altas freqüências, isso se consegue por meio da dosagem correta de materiais absorventes no revestimento das superfícies internas da sala. Entretanto, isso é mais difícil de se obter em se tratando de baixas freqüências, onde a situação se complica devido à necessidade de se construir e instalar os dispositivos de absorção sonora, em geral de grandes dimensões".

SPRING *et al* (1970) observou que julgamentos subjetivos pareciam indicar uma tolerância maior aos tempos de reverberação dos sons de baixas freqüências, do que em relação aos sons de médias e altas. Investigando o assunto, por intermédio de testes e pesquisas controladas, concluiu que essa tolerância era bastante significativa, principalmente no caso da palavra falada (Gráfico 3.07). Os testes foram feitos em um estúdio com tempo de reverberação médio de 0,4s, medindo 8,0 x 6,0 x 4,0m, a partir de valores de referência em 1 kHz, e os resultados mostraram uma tolerância em relação ao acréscimo de até 80% no tempo de reverberação em 63 Hz, e de até 20% no tempo de reverberação em 125 Hz.

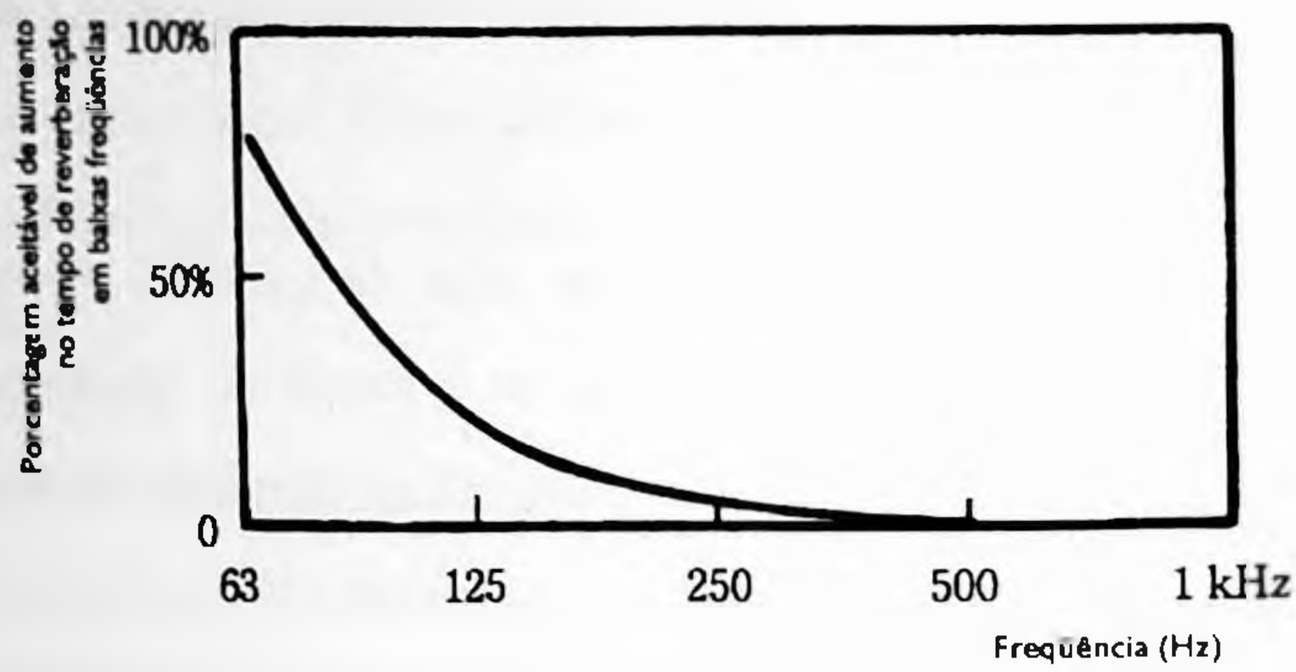


Gráfico 3.07: *Percentuais aceitáveis de aumento no tempo de reverberação em estúdios de locução, a partir de uma avaliação subjetiva em testes controlados por pesquisadores da BBC, de Londres (Fonte: Everest, 1994).*

A partir desse estudo, EVEREST (1994, p.127) afirma que "o aumento no tempo de reverberação de baixas freqüências, em se tratando de música, também é normalmente bem aceito, por garantir uma certa 'sonoridade' à música, principalmente em salas de concerto. Presumivelmente, algum acréscimo no tempo de reverberação de baixas freqüências, em salas de destinadas à gravação de música clássica, também é tolerável".

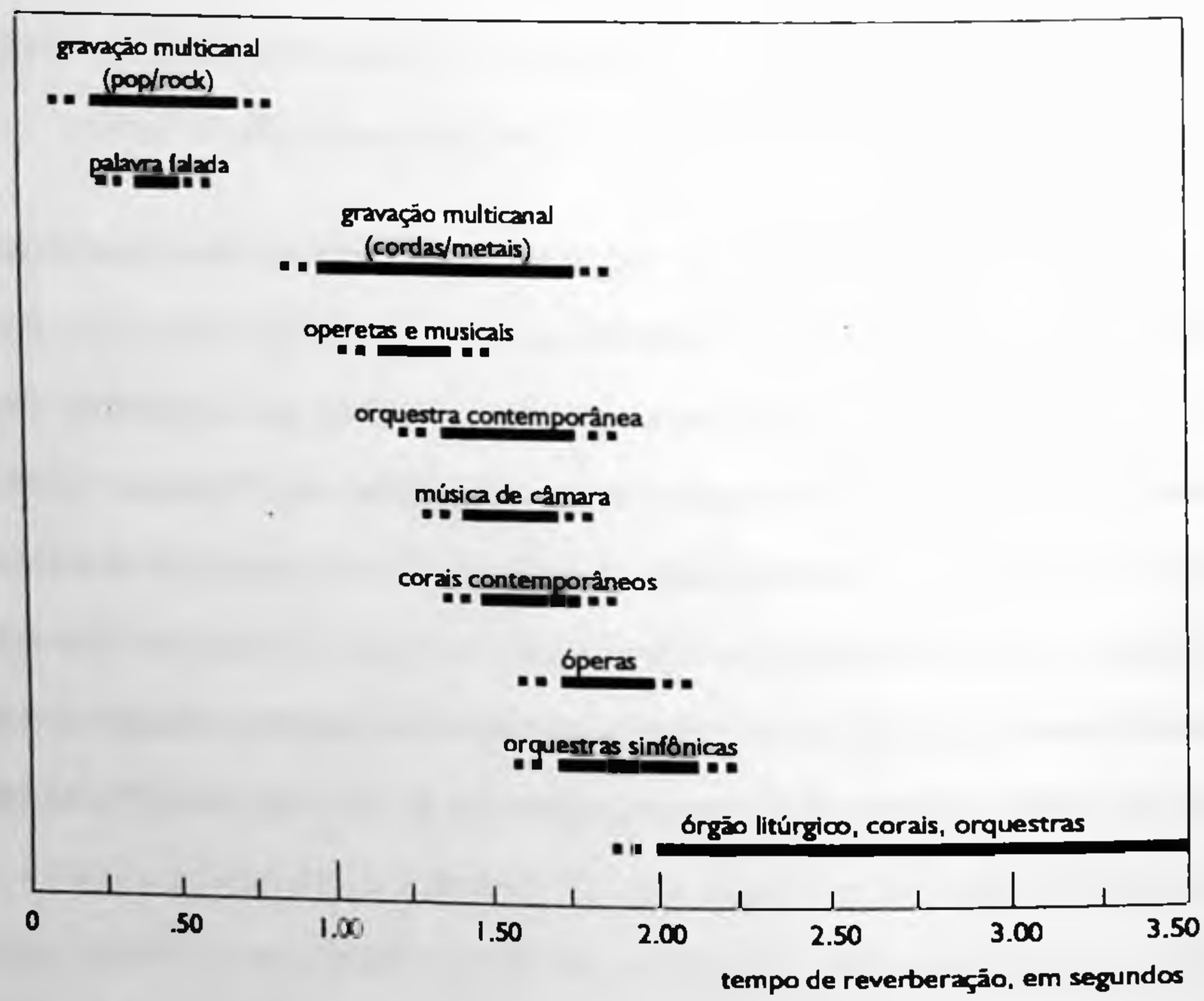


Gráfico 3.08: *Tempos de reverberação recomendáveis para gravações e apresentações de música (Fonte: Cooper, 1976).*

Essa afirmação de EVEREST (1994) reforça a opinião dos demais autores, de que é necessário que o ambiente "participe" do resultado sonoro do material gravado, quando se trata de música sem amplificação, como é o caso de música clássica. Já nas salas destinadas a gravar música pop e rock, com instrumentos amplificados e a grande maioria das melodias interpretadas por vocais, recomenda-se uma maior neutralidade do ambiente, decorrente de tempos de reverberação mais baixos (Gráfico 3.08).

3.3.4. Reverberação e absorção na sala técnica

Para WHITE (1999), as propriedades acústicas da sala técnica não devem interferir ou alterar o som natural da gravação. Sua resposta em freqüências deve ser quase plana, e seu tempo de reverberação deve ser cuidadosamente previsto, pois as condições de audição não podem se alterar drasticamente de um ponto para outro na sala.

De acordo com COOPER (1976, p.151), "as primeiras salas técnicas construídas eram suficientes para acomodar apenas o engenheiro de som e seus equipamentos. Não havia qualquer preocupação em relação aos efeitos das propriedades acústicas da sala sobre a percepção de seus ocupantes, tampouco em relação aos seus aspectos estéticos e de conforto. Se comparada aos padrões atuais, a qualidade dos sistemas de reprodução de áudio daquela época poderia ser considerada amadora. Provavelmente, é por isso que as propriedades acústicas da sala técnica não tinham um efeito decisivo no produto final. E, ainda, a qualidade da maioria dos sistemas domésticos de reprodução seria incapaz de detectar as nuances de que estamos falando. Entretanto, o rápido desenvolvimento da tecnologia digital mudou totalmente esse panorama. As pesquisas em relação aos sistemas de reprodução avançaram tanto que, hoje em dia, é possível que até mesmo um profissional experiente não seja capaz de distinguir o som gravado da performance original. E a qualidade dos equipamentos domésticos também melhorou muito, fazendo com que o consumidor ficasse cada vez mais exigente em relação à qualidade do material gravado. As gravadoras e os grandes astros da música pop movimentam bilhões de dólares todos os anos, em busca da perfeição tecnológica, tentando superar uns aos outros. E, dessa forma, o papel do estúdio de gravação (em geral) e da sala técnica (em particular), dentro do processo de desenvolvimento de produtos de áudio (como os Cds e DVDs), passou a ser decisivo como nunca se havia imaginado antes".

A reverberação é um dos fenômenos acústicos que, se não corretamente controlados, pode comprometer a qualidade acústica da sala técnica. Segundo RETTINGER (1977), a aplicação direta da fórmula de FITZROY (1959) para o cálculo do tempo de reverberação de salas técnicas não é recomendável uma vez que, dadas as características desse ambiente, parece razoável substituir os termos derivados da fórmula de SABINE (1927) por aqueles propostos por EYRING (1932), resultando na seguinte equação:

$$T = \frac{S_x}{S} \cdot \frac{0{,}07\,V}{-S.\log\left(1-\overline{\alpha}_x\right)} + \frac{S_y}{S} \cdot \frac{0{,}07\,V}{-S.\log\left(1-\overline{\alpha}_y\right)} + \frac{S_z}{S} \cdot \frac{0{,}07\,V}{-S.\log\left(1-\overline{\alpha}_z\right)}$$

Onde:

T é o tempo de reverberação, em segundos;

V é o volume interno da sala, em metros cúbicos;

S é a área total das superfícies internas do ambiente, em metros quadrados;

S_n é a área total das superfícies internas do ambiente, por eixo (x, y e z), em metros quadrados;

$\overline{\alpha}_n$ é a média dos coeficientes de absorção sonora dos materiais que compõem as superfícies internas do ambiente, por eixo (x, y e z).

A exemplo das demais fórmulas destinadas ao cálculo do tempo de reverberação em ambientes, esta também não leva em conta a absorção do ar na sala técnica, pois parte do princípio de que, devido às reduzidas dimensões desses ambientes, a absorção decorrente do volume de ar constante no interior da sala é, praticamente, desprezível.

RETTINGER (1977) propõe, também, uma fórmula para se determinar o tempo de reverberação ideal que se deve buscar em salas técnicas, baseado em seu volume interno, assim:

$$T = (0{,}15 \,.\, \log V) + 0{,}082$$

Onde:

T é o tempo de reverberação, em segundos;

V é o volume interno da sala, em metros cúbicos.

Para WHITE (1999, p.164), "tendo em vista os longos períodos que os engenheiros e operadores permanecem no interior da sala técnica, é recomendável trabalhar com tempos de reverberação 20% maiores do que aqueles obtidos pela aplicação da fórmula de Rettinger. Além disso, se a sala não foi projetada para a correta reprodução de baixas freqüências, é recomendável utilizar apenas monitores do tipo *nearfield*[14], devido à sua limitada capacidade de reprodução dos sons graves".

De acordo com CIPRIANO (2001), em salas técnicas, o tempo de reverberação médio – entre 250Hz e 4kHz – deve estar compreendido entre 0,2s e 0,4s, de acordo com o volume do ambiente, e pode ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$T_m = 0{,}25 \,.\, \sqrt[3]{\frac{V}{V_o}}$$

Onde:

T é o tempo de reverberação, em segundos;

V é o volume interno da sala, em metros cúbicos;

V_o é um volume de referência, igual a 100 m^3.

[14] N. do A.: Monitores *nearfield* consistem de um sistema de alto-falantes projetados para serem utilizados próximos ao ouvinte, e que são muito utilizados em salas técnicas e salas de masterização. A sua principal vantagem em relação aos sistemas tradicionais de alto-falantes é que, devido à proximidade entre a fonte sonora e o ponto de audição, é possível que o som direto seja mais bem percebido pelo ouvinte do que o som refletido pelas superfícies internas da sala.

CIPRIANO (2001) prossegue afirmando que "o tempo de reverberação nas bandas de freqüências abaixo dos 250Hz pode ser maior que o tempo médio recomendado para a sala, sendo admissível um acréscimo de até 0,3s em 63Hz. Entre 250Hz e 4kHz, os tempos de reverberação não devem variar mais do que 0,05s, para mais ou para menos, em relação ao tempo médio. E, acima dos 4kHz, essa variação pode ser de até 0,1s, para mais ou para menos".

Como não existe um consenso a respeito dos tempos de reverberação médios considerados ideais em salas técnicas, é recomendável que se trabalhe com valores intermediários em relação àqueles obtidos a partir das fórmulas propostas por RETTINGER (1977) e CIPRIANO (2001).

3.3.5. Reverberação e absorção na sala de masterização

Para COOPER (1976, p.175), "a sala de masterização, assim como a sala técnica, deve ser acusticamente transparente, ou seja, isenta de quaisquer tipos de reforço ou coloração. Ela deve ser capaz de reproduzir grandes massas de polifonia, permitindo ao ouvinte identificar cada instrumento individualmente. Os sons de baixa freqüência devem ser potentes, sólidos e marcantes enquanto os sons de médias e altas freqüências devem ser delicados, brilhantes e definidos".

Segundo WHITE (1999, p.181), "os sons provenientes dos 'componentes' dos monitores (*woofer, mid-range* e *tweeter*)[15], instalados na sala de masterização e na sala técnica, devem ser ouvidos como uma massa sonora coesa, e não podem ser percebidos isoladamente, de tal modo que o resultem em uma série de sons distintos que competem entre si. Além disso, a percepção do som estereofônico deve ser precisa o suficiente para que os 'movimentos' horizontais resultem em 'imagens" sonoras exatas e bem definidas. Quando um determinado sinal é direcionado para o centro, jamais deve ocorrer a sensação de aumento de intensidade sonora desse sinal. E, por fim, a resposta da sala nas altas-freqüências deve ser suave – quase plana – dentro de um panorama horizontal de, no

[15] N. do A.: *Woofer, mid-range e tweeter* são os três tipos de alto-falantes comumente utilizados em monitores (caixas-acústicas), destinados a reproduzir, respectivamente, sons de baixa freqüência, sons de média freqüência e sons de alta freqüência.

mínimo, 60 graus, mantendo outros 30 graus, no mínimo, de dispersão vertical, para permitir uma audição relativamente precisa em quase todo o ambiente".

A bibliografia disponível, no entanto, é omissa em relação a recomendações mais objetivas, em se tratando do tempo de reverberação em salas de masterização. Assim, nos parece razoável, num primeiro momento, adotar os mesmos parâmetros propostos por RETTINGER (1977) e CIPRIANO (2001) para a determinação dos tempos de reverberação em salas técnicas.

3.4. CONTROLE DAS REFLEXÕES

Num determinado ambiente, o som que é refletido por suas superfícies internas provoca uma série de outros fenômenos acústicos, além da reverberação.

Quando se toca um instrumento ou se produz qualquer tipo de som, é possível perceber que algumas freqüências levam mais tempo para deixar de serem ouvidas, ou seja, permanecem por mais tempo no ambiente, perceptíveis aos nossos ouvidos. Esse fenômeno, chamado de coloração, é resultante da existência de ondas estacionárias (*standing-waves* em inglês) e de ressonâncias da própria sala.

A reflexão do som em um ambiente também pode provocar a manifestação de dois outros fenômenos acústicos que devem fazer parte das preocupações do projetista no momento do desenho dos ambientes do estúdio de gravação: o eco e os ecos palpitantes (*flutter-echoes* em inglês).

Assim como no controle da reverberação, a utilização de materiais e dispositivos de absorção sonora costumam ser a solução para se controlar os fenômenos decorrentes da reflexão sonora em um ambiente.

3.4.1. Ondas estacionárias

Ondas estacionárias são definidas como aquelas cujas configurações originais são reforçadas por suas próprias reflexões nas superfícies do ambiente. Os ambientes, em geral, favorecem a formação de diversas ondas estacionárias. Em estúdios e demais ambientes destinados à gravação, as ondas estacionárias devem ser evitadas ao máximo.

De acordo com COOPER (1976, p.50), "as ondas estacionárias podem se formar de diversas maneiras. No caso mais simples, uma onda sonora – geralmente de baixa freqüência – vai ressoar entre duas superfícies paralelas do ambiente e, assim, ter sua amplitude continuamente aumentada devido ao fenômeno das interferências construtivas. Este tipo de onda estacionária é chamado de axial, e ocorre nas freqüências cujos comprimentos de onda equivalem ao dobro da distância entre as duas superfícies refletoras paralelas entre si. Portanto, a onda estacionária de freqüência mais baixa possível, num determinado ambiente, é aquela cujo comprimento de onda equivale ao dobro da maior

dimensão daquele mesmo ambiente. Como se formam a partir de superfícies paralelas, as ondas estacionárias também são chamadas de modos axiais, e podem ocorrer nas três dimensões de um ambiente qualquer: largura, comprimento e altura".

O cálculo das freqüências para as quais um determinado ambiente é mais propenso à formação de ondas estacionárias é feito por intermédio da seguinte fórmula:

$$f_o = \frac{v}{2d}$$

Onde:

f_o é a freqüência fundamental da onda estacionária, em Hertz;

v é a velocidade do som no ar (aproximadamente 345 m/s);

d é a distância entre as superfícies paralelas consideradas, em metros.

Assim, numa sala medindo 6,00m (largura) por 4,80m (comprimento) por 2,40m (altura), por exemplo, teremos a formação de ondas estacionárias nas seguintes freqüências (Tabela 3.03):

	1º Harmônico	*2º Harmônico*	*3º Harmônico*	*4º Harmônico*
$f_{largura} = v/2d = 345/2x6,00$	29Hz	58Hz	87Hz	116Hz
$f_{comprimento} = v/2d = 345/2x4,80$	36Hz	72Hz	108Hz	144Hz
$f_{altura} = v/2d = 345/2x2,40$	72Hz	144Hz	216Hz	288Hz

Tabela 3.03: *Exemplo de formação de ondas estacionárias numa sala hipotética (Fonte: Cooper, 1976).*

Ainda segundo COOPER (1976, p.52), "a presença de ondas estacionárias num ambiente destinado à gravação ou à audição de música compromete o seu equilíbrio acústico, pois essas freqüências reforçadas terminam por desbalanceá-lo. A solução para evitar esse fenômeno é o não paralelismo entre as superfícies ou, em alguns casos, a aplicação de grandes quantidades de material absorvente, especialmente criados para eliminar a coloração".

3.4.2. Modos tangenciais e oblíquos

As ressonâncias acústicas de um ambiente podem ser de três modos: axial, tangencial e oblíquo (Figura 3.08). Vimos acima que as ressonâncias de modo axial são comumente chamadas de ondas estacionárias.

De acordo com EVEREST (1994, p.292), "os modos tangenciais são formados a partir das reflexões em quatro superfícies, movendo-se paralelamente a duas delas. Por isso, têm apenas a metade da energia dos modos axiais mas, assim mesmo, são capazes de alterar significativamente a qualidade acústica de um ambiente com necessidades críticas, como um estúdio de gravação. Já os modos oblíquos envolvem oito reflexões em todas as seis superfícies internas de um determinado ambiente. Como têm apenas um quarto da energia dos modos axiais, essas ressonâncias interferem muito pouco na qualidade acústica do ambiente".

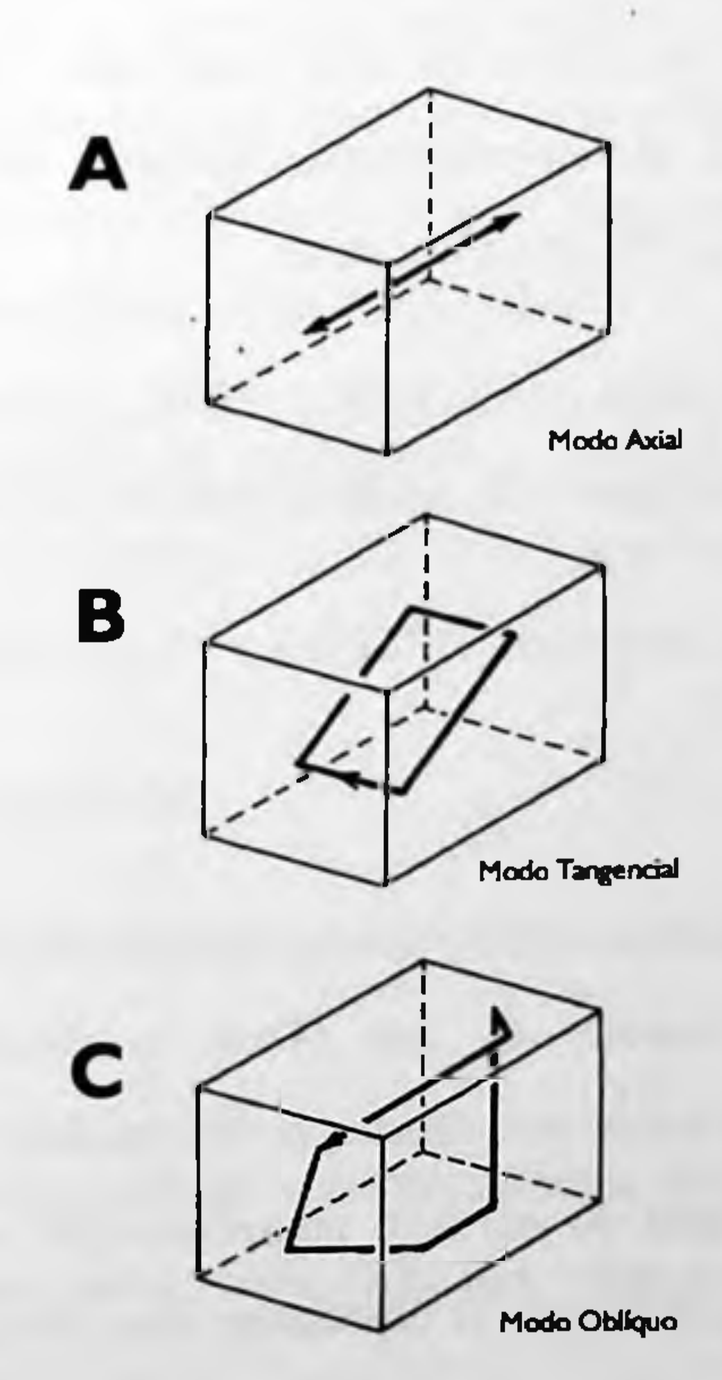


Figura 3.08: Representação esquemática da formação de modos axiais, tangenciais e oblíquos em um ambiente (Fonte: Cooper, 1976).

"É a presença (ou não) de coloração que determina a qualidade acústica de uma sala. É fundamental, portanto, saber com precisão quais – dentre as centenas de – freqüências modais capazes de acometer um determinado ambiente vão, realmente, significar um problema para a sua qualidade acústica" (COOPER, 1976).

GILFORD (1959) afirma que "um determinado modo axial, cuja freqüência em relação ao próximo modo axial difira em 20Hz ou mais, tende a ser acusticamente contido. Ou seja, a tendência é que esse modo não seja jamais excitado devido à não sobreposição de freqüências entre ele e os próximos modos, acima ou abaixo. Dessa maneira, ele responde a um componente do sinal próximo de sua freqüência apenas como um reforço sonoro".

Segundo BONELLO (1981), "a diferença entre as freqüências de dois modos, num determinado ambiente, deve ser igual ou superior a 5% da menor das duas, por exemplo: a existência de uma freqüência modal de 200Hz e outra de 210Hz, no mesmo ambiente, é perfeitamente aceitável, uma vez que a diferença de 10 Hz entre as duas é igual a 5% da menor delas; entretanto, a existência de uma freqüência modal de 400Hz e outra de 410Hz, no mesmo ambiente, não é perfeitamente aceitável, uma vez que a diferença de 10 Hz entre as duas é menor que 5% da menor delas".

Por ser mais precisa que a teoria de GILFORD (1959), a proposta de BONELLO (1981) tem sido utilizada como o parâmetro de aceitabilidade de modos em ambientes.

3.4.3. Eco

De acordo com COOPER (1976, p.53), "eco é a clara repetição de um som de retorno por reflexão, em intervalos maiores do que 60ms, e não deve ser confundido com reverberação, que é um fenômeno semelhante, porém em intervalos menores do que 35ms. Reverberação é a persistência de um som no recinto por reflexão em suas superfícies internas, sem que se possa distinguir as repetições, que são características típicas do eco. Em intervalos inferiores a 20ms, os sons são percebidos pelo ouvido humano como reforço da onda sonora original".

Como o intervalo de tempo entre a onda sonora original e a onda sonora refletida depende da distância entre a fonte e a superfície refletora mais próxima, os grandes ambientes são muito mais propícios a apresentarem esse fenômeno do que os pequenos.

3.4.4. Eco palpitante

Pequenos recintos, com superfícies paralelas revestidas com materiais rígidos, podem apresentar um fluxo pequeno, porém contínuo, de ecos. A este fenômeno chamamos de eco palpitante (ou *flutter-echo*, em inglês).

Para WHITE (1999, p.168), "a quebra do paralelismo entre as superfícies de um ambiente, duas a duas, a partir da inclinação de uma delas em, pelo menos 10% de sua maior dimensão (aproximadamente 6°), é suficiente para resolver o problema (Imagem 3.14). No entanto, quando isso não for possível, o problema pode ser parcialmente resolvido mediante o recobrimento total de três, das seis, superfícies internas do ambiente, com materiais porosos, de modo que as superfícies paralelas entre si sejam, duas a duas, uma refletora e outra absorvente. Esta solução, no entanto, não resolve os ecos palpitantes dos sons de baixa freqüência, que são indiferentes à ação absorvente dos materiais porosos, cuja eficiência é maior para as médias e altas freqüências".

Por isso, assim como no controle da reverberação, a utilização de materiais porosos, combinada com a instalação de dispositivos de absorção sonora, é recurso aplicável ao controle das ondas estacionárias, do eco e dos *flutter-echoes* em ambientes.

3.4.5. Reflexão na sala de gravação

Segundo COOPER (1976, p.53), "a existência de ondas estacionárias na sala de gravação nos coloca diante de dois problemas:

- O som natural dos instrumentos – principalmente aqueles dotados de caixa de ressonância – que está sendo gravado, sofre alterações significativas;
- O tempo de reverberação, nas freqüências das ondas estacionárias – geralmente baixas freqüências – é elevado, podendo causar vazamento de som entre os diversos instrumentos gravados simultaneamente".

"A presença de eco na sala de gravação pode, simplesmente, arruinar as gravações feitas ali. O problema é mais grave quando se grava instrumentos de percussão, que possuem um pico inicial acentuado e um decaimento (*decay*) rápido. O pico inicial torna o eco rico em energia, enquanto o decaimento rápido permite que o eco seja claramente distinguido do som original. Isso acontece também com piano, baixo e outros instrumentos tocados a partir de ações percussivas" (EVEREST, 1994).

Para COOPER (1976, p.55), "a causa mais comum de eco na sala de gravação é devida, em geral, à grande superfície de vidro que a separa da sala técnica. Em certas situações, um fluxo de ecos palpitantes pode se dar entre essa superfície e outras que sejam paralelas a ela. Ocasionalmente, uma única reflexão dessa superfície de vidro pode retornar diretamente ao microfone e, conseqüentemente, interferir negativamente no resultado gravado. A esse fenômeno chamamos de *slapback-echo*".

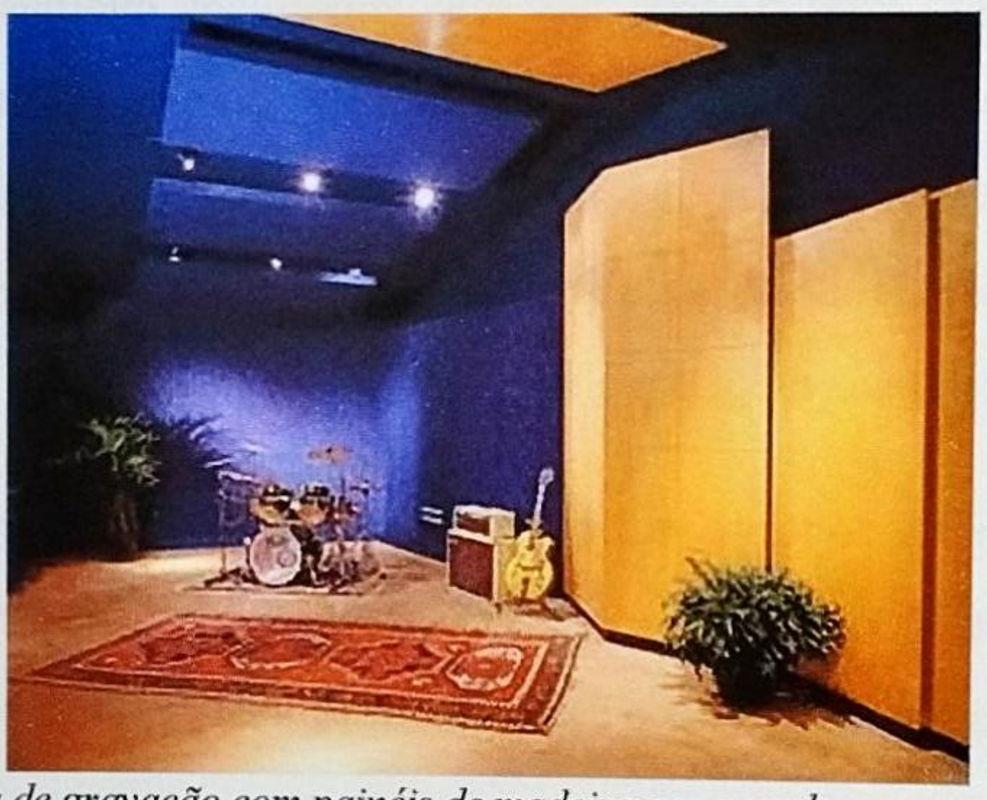


Imagem 3.14: *Sala de gravação com painéis de madeira nas paredes e no teto, para "quebrar" o paralelismo entre superfícies opostas (Fonte: Manhattan Beach Studio, USA).*

A solução mais eficiente para evitar a formação de ondas estacionárias, eco e ecos-palpitantes, na sala de gravação, é evitar ao máximo o paralelismo entre duas superfícies opostas (Imagem 3.14). Essa solução induz a um desenho, em geral, não ortogonal, o que exige um estudo mais atento das reflexões na sala.

3.4.6. Reflexão na sala técnica

De acordo com COOPER (1976, p.53), "a existência de ondas estacionárias na sala técnica apresenta os seguintes problemas:

- A equalização da gravação que se ouve é alterada, uma vez que é impossível distinguir qual a equalização real do som gravado e o que corresponde à parcela reprocessada pela acústica desbalanceada da sala. Muitas vezes, isto leva os técnicos a compensarem – para mais ou para menos – esse desbalanceamento, comprometendo seriamente o resultado final;

- As gravações mixadas nessa sala técnica soarão diferentes, quando ouvidas em outros ambientes, mesmo que sejam utilizados os mesmos monitores;

- O tempo de reverberação nas freqüências das ondas estacionárias é ampliado, provocando um lapso de clareza sonora nessas freqüências".

Ainda segundo COOPER (1976, p.55), "as salas técnicas possuem dimensões que, em geral, não estão sujeitas à incidência de eco. Entretanto, muitas delas são acometidas de um outro mal: o eco palpitante (*flutter-echo*). Assim como na sala de gravação, esse fluxo constante de ecos pode ocorrer a partir do paralelismo entre duas superfícies rígidas – uma delas, geralmente, é o visor que separa a sala técnica da sala de gravação e, a outra, pode ser a grande superfície metálica do gabinete do gravador, por exemplo".

Imagem 3.15: *Sala técnica com forro inclinado e paredes não paralelas, para evitar a formação de ondas estacionárias e a incidência de ecos palpitantes (Fonte: FM Studio Design, USA).*

Assim como na sala de gravação, a ocorrência de ondas estacionárias, ou eco palpitante, na sala técnica, são altamente prejudiciais principalmente durante a mixagem, pois distorcem a percepção do técnico em relação ao material gravado (Imagem 3.15).

3.4.7. Reflexão na sala de masterização

Apesar da bibliografia disponível não abordar a questão da reflexão sonora em salas de masterização de maneira objetiva, parece-nos razoável que, em se tratando de um ambiente que requer apurada audição da música gravada, assim como as salas técnicas, para elas se façam as mesmas recomendações e a elas se apliquem os mesmos critérios. Nesse sentido, o projeto da sala de masterização deve evitar a ocorrência de ondas estacionárias.

Também como a maioria das salas técnicas, as salas de masterização possuem dimensões que, em geral, não estão sujeitas à incidência de eco. No entanto, podem ser acometidas de eco palpitante, que ocorre a partir do paralelismo entre duas superfícies rígidas, e é altamente prejudicial, pois distorce a percepção do engenheiro em relação ao material que está sendo masterizado, levando-o a atenuar erroneamente determinadas freqüências, comprometendo o resultado do produto final.

Imagem 3.16: *Sala de masterização em estúdio profissional. O forro é inclinado, as superfícies à frente do técnico são revestidas com materiais porosos (espuma), as paredes não são paralelas e possuem placas vibrantes (Projeto: Walthers-Storyk Design Group, USA).*

A exemplo dos demais ambientes do estúdio, as ondas estacionárias e os ecos palpitantes devem ser completamente eliminados na sala de masterização, quer seja pelo não paralelismo entre superfícies opostas, quer seja pela instalação de materiais e dispositivos de absorção sonora (Imagem 3.16).

3.5. DIFUSÃO

Difusão significa a distribuição homogênea do som num determinado ambiente. De acordo com EVEREST (1979, p.203), "um campo sonoro é chamado difuso se, num dado instante, a intensidade sonora medida em diversos pontos do ambiente for, aproximadamente, a mesma, e se em qualquer um desses pontos, a energia sonora fluir igualmente, em todas as direções. Essa condição difusa deriva, basicamente, do tempo de reverberação do ambiente e, portanto, está sujeita às fórmulas de SABINE (1927) e EYRING (1932). Aparentemente, portanto, a simples existência de ondas estacionárias num ambiente ou a variação das condições sonoras de um ponto para outro da sala, significam que o campo sonoro difuso, nesse caso específico, não existe". Por isso, a difusão sonora só ocorre em ambientes fechados, uma vez que, ao ar livre, a intensidade sonora diminui a medida em que nos afastamos da fonte.

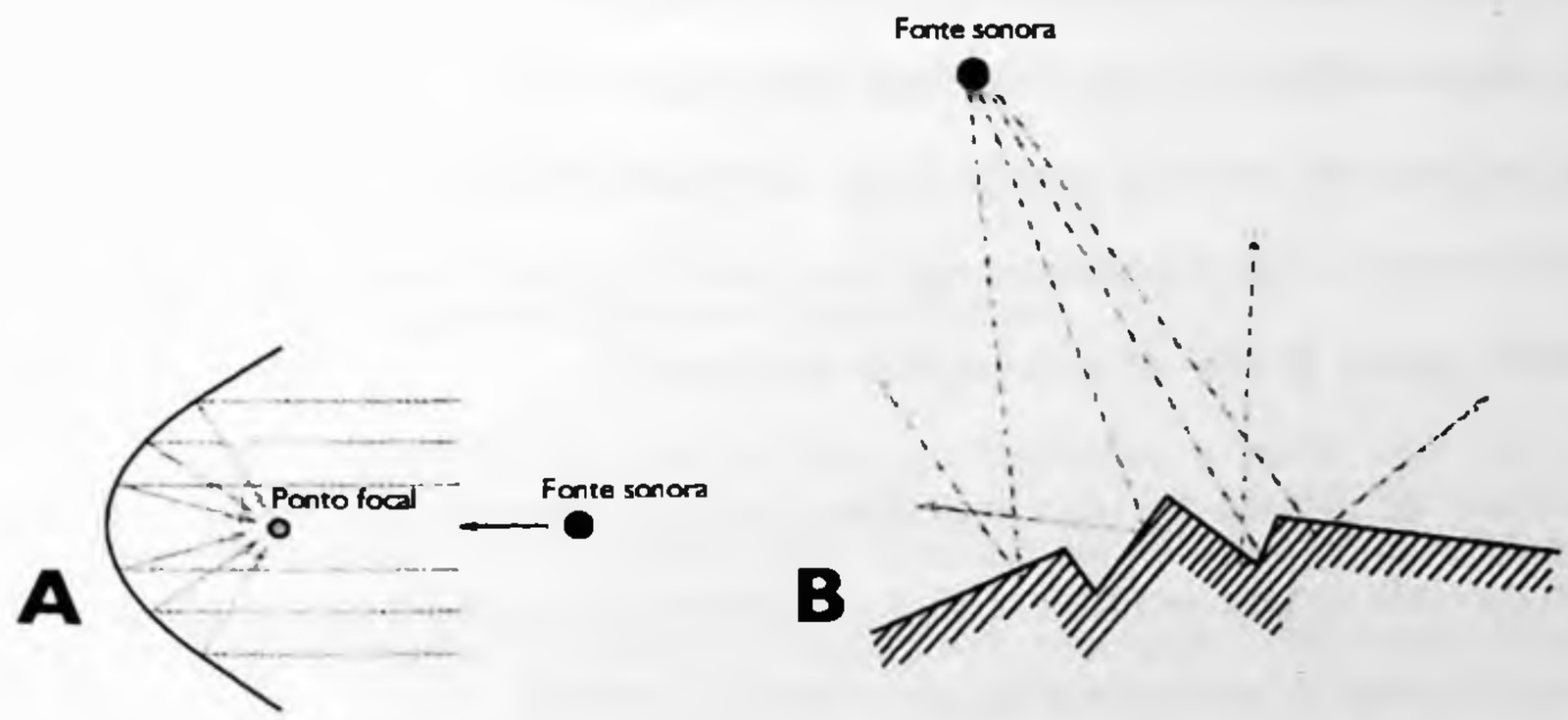


Figura 3.09: *Representação esquemática dos fenômenos de focalização (A) e difusão (B) do som (Fonte: Cooper, 1976).*

Segundo RANDALL *et al* (1960, p. 439), um determinado campo sonoro é considerado difuso se:

- A freqüência e as irregularidades espaciais obtidas a partir de medições em condições estáveis forem irrelevantes;
- A ocorrência de picos durante o decaimento do som no ambiente for irrelevante;

- O decaimento do som no ambiente se der de maneira exponencial, ou seja, pode ser representado por meio de uma linha reta numa escala logarítmica;
- O tempo de reverberação for o mesmo, em todos os pontos da sala;
- O som decair da mesma forma em diferentes freqüências;
- A forma de decaimento do som no ambiente for independente das características direcionais do microfone utilizado nos testes.

Para COOPER (1976, p.56), "a difusão do som, num determinado recinto, também é função direta de sua geometria. Ambientes compostos por superfícies côncavas (cúpulas, arcos, etc.) têm péssima difusão sonora, uma vez que tais formas tendem a concentrar a energia sonora em pontos isolados, produzindo resultados acústicos bastante diferentes num mesmo espaço (Figura 3.09). Se a sala apresentar superfícies planas, duras e paralelas, como a maioria dos ambientes, a situação melhora um pouco, mas permanecem as ondas estacionárias, os ecos e os ecos palpitantes. Entretanto, se o ambiente for construído a partir da ausência completa de paralelismo entre suas superfícies, mais a presença de móveis, objetos e pessoas em seu interior, estarão estabelecidas as condições recomendadas para a difusão do som naquele ambiente".

"A capacidade de difusão de uma superfície irregular depende de sua geometria e da freqüência da onda sonora incidente. Em geral, grandes irregularidades tendem a ser mais eficientes na difusão de baixas freqüências" (WHITE, 1999).

COOPER (1976, p.58) prossegue afirmando que "o tamanho da irregularidade de uma determinada superfície deve corresponder, no mínimo, à sétima parte do comprimento da onda que se pretende difundir. Por exemplo: para difundir as ondas de freqüência em torno de 50Hz (comprimento de onda de, aproximadamente, 7m), são necessárias irregularidades em torno de 1m".

De acordo com EVEREST (1979, p.203; 1994, p.223), "a difusão sonora não é o maior problema das grandes salas, como os teatros e os auditórios, por exemplo. O contrário ocorre em ambientes menores (como as salas de gravação e as salas técnicas de estúdios,

por exemplo), pelas seguintes razões: em primeiro lugar, as dimensões desses ambientes são, na grande maioria das vezes, comparáveis a determinados comprimentos de onda dos sons que estão sendo gravados ou reproduzidos ali; e, em segundo lugar, o 'espaçamento' modal das freqüências abaixo de 300Hz não é capaz de garantir um campo sonoro difuso".

Devido ao fenômeno da difusão, a maior parte dos campos sonoros pode ser dividida em campo direto e campo reverberante. Campo direto é a área imediatamente próxima de uma determinada fonte sonora, cujas alterações refletem-se diretamente nas flutuações do campo. Campo reverberante são todas as áreas afastadas da fonte, onde as diversas reflexões pelas superfícies internas da sala tendem a ser uniformes.

Segundo COOPER (1976, p.59), "os resultados de medições de níveis sonoros feitas no campo direto flutuam exatamente de acordo com as variações da fonte. No campo reverberante, essas flutuações são menores e, por isso, os resultados das medições tornam-se mais estáveis. A transição entre os dois campos sonoros em um ambiente ocorre no ponto onde a energia direta se iguala à energia indireta, e seu afastamento em relação à fonte sonora é chamado de distância crítica".

3.5.1. Avaliação da difusão sonora em um ambiente

EVEREST (1994) analisou diversos estúdios profissionais a partir dos seis critérios propostos por RANDALL *et al* (1960) para verificar se seria possível estabelecer, de maneira prática, que o campo sonoro num determinado ambiente é realmente difuso.

O primeiro critério proposto por RANDALL *et al* estabelece que as variações das freqüências e das irregularidades espaciais, verificadas em condições estáveis de medição, devem ser insignificantes. Entretanto, as medições realizadas por EVEREST (1994, p.224), em diversas salas, revelaram "desvios bastante significativos em relação aos resultados que seriam esperados em um campo sonoro verdadeiramente difuso", o que o levou a concluir que o primeiro critério proposto por RANDALL *et al* não é facilmente atendido em estúdios.

O segundo critério proposto por RANDALL *et al* estabelece que a ocorrência de picos, durante o decaimento do som no ambiente, deve ser insignificante. Segundo EVEREST (1994, p.225), "em geral, as curvas que representam o decaimento do som nos ambientes, nas bandas de freqüência compreendidas entre 63Hz e 8kHz, têm um desenho mais suave e uniforme, à medida em que a freqüência aumenta. A razão disso é que o número de modos compreendidos no intervalo de uma oitava aumenta muito com a freqüência e, quanto maior a densidade de modos, mais uniforme – e, portanto, com menos picos – é o decaimento do som nessa banda de freqüências. Nos estúdios analisados, os picos se mostraram mais significativos nas bandas de freqüência de 63Hz e 125Hz, donde se conclui que é justamente o desempenho do decaimento do som em baixas freqüências que nos permite avaliar o grau de difusão sonora em um ambiente".

O terceiro critério trata do decaimento do som no ambiente, que se deve dar de maneira exponencial, ou seja, pode ser representado por meio de uma linha reta numa escala logarítmica. Em função da incidência de modos apontada acima, principalmente em baixas freqüências, as curvas relativas aos tempos de reverberação desses ambientes não puderam ser representadas por meio de uma única linha reta numa escala logarítmica, o que levou EVEREST (1994) a concluir que os estúdios analisados não apresentavam condições de um campo sonoro verdadeiramente difuso.

O quarto critério proposto por RANDALL *et al* estabelece que o tempo de reverberação deve ser o mesmo, em todos os pontos da sala. EVEREST (1994, p.228) verificou que "a variação dos valores dos tempos de reverberação em altas freqüências, medidos em diversos pontos de cada sala, ficou entre 3% e 6%. Como o número de modos compreendidos no intervalo de uma oitava de alta freqüência é muito grande (o que faz com que o decaimento do som, nessa banda de freqüências, seja mais suave), podemos concluir que as condições de difusão sonora são mais favoráveis nas freqüências mais altas. Em se tratando de médias freqüências, a variação dos valores dos tempos de reverberação, em diversos pontos de cada sala, ficou em torno dos 10%, porcentagem ainda considerada aceitável. Nas baixas freqüências, percentuais da ordem de 30% são o resultado do grande 'espaçamento' entre os modos, produzindo grande variação nos tempos de reverberação, de um ponto para outro, em cada sala. Como conclusão geral

banda de freqüências de 63Hz, deficiente na banda de freqüências de 125Hz, melhorando a partir dos 250Hz, podendo ser considerado difuso a partir de 1kHz".

O quinto critério da proposta de RANDALL *et al* estabelece que o som deve decair da mesma forma em diferentes freqüências. EVEREST (1994) verificou que isso não ocorria, devido às irregularidades no decaimento do som decorrentes da existência de modos, nas bandas de freqüência de 63Hz e 125Hz.

O sexto e último critério proposto por RANDALL *et al* estabelece que a forma de decaimento do som no ambiente deve ser independente das características direcionais do microfone utilizado nos testes. Segundo EVEREST (1994, p.229), "um dos métodos utilizados para se verificar a difusão do som em um ambiente consiste em posicionar um microfone altamente direcional em diversos pontos desse ambiente e, em cada um deles, girar o microfone direcionando-o para várias direções, e gravar o sinal a partir da excitação sonora constante da sala. Este método tem sido aplicado com sucesso em grandes ambientes (como teatros e auditórios, por exemplo), mas tem-se mostrado inadequado na análise da difusão sonora de ambientes menores, como as salas de gravação e as salas técnicas de estúdios".

A conclusão mais importante do estudo de EVEREST (1994) é que os seis critérios propostos por RANDALL *et al* (1960) se aplicam perfeitamente a grandes espaços. Quando se trata de ambientes com dimensões menores, como aqueles que fazem parte da maioria dos estúdios de gravação, é recomendável buscar *a priori* condições favoráveis à difusão sonora, por intermédio da forma da sala, do não-paralelismo entre superfícies opostas, das irregularidades geométricas e da disposição dos materiais absorventes, conforme discutiremos adiante, em "Geometria das salas".

3.5.2. Difusão na sala de gravação

Quando os estúdios eram utilizados para gravar principalmente orquestras, a difusão do som na sala de gravação era uma característica importante, pois produzia resultados homogêneos e bem equilibrados.

O campo reverberante – ou a "ambiência" – da sala de gravação era, talvez, o aspecto mais importante do processo de gravação. O advento das gravações multi-pista e os elevados níveis sonoros das bandas de pop e rock mudaram as regras de difusão sonora nas salas de gravação (Imagem 3.17).

Segundo COOPER, (1976, p.59), "nos dias de hoje, os estúdios destinados a gravar pop e rock devem permitir a isolação entre os instrumentos, ao invés de misturá-los. Misturar os instrumentos causa vazamento entre os canais, o que destrói o conceito de gravação multi-pista. Assim, essas salas devem, no mínimo, permitir que se controle de maneira eficiente o som de cada instrumento, individualmente. Isto não quer dizer que o ambiente deve se assemelhar a uma câmara anecóica, sem reverberação alguma. Também não significa que ele deve ser compartimentado em diversas saletas, uma para cada instrumento. Como regra geral, o projeto de salas de gravação destinadas a gravar pop e rock deve, contrariamente ao que preconizavam as primeiras teorias acústicas, evitar as grandes dimensões, que favorecem o aparecimento de ondas refletidas por todo o ambiente. Já as salas destinadas a gravar música clássica, música de câmara, cordas e metais, por sua vez, necessitam de muita difusão, para garantir a consistência acústica de seus campos sonoros e criar a ambiência adequada a esse tipo de música".

Imagem 3.17: *Sala de gravação de estúdio profissional, com difusores policilíndricos e pedras irregulares (à direita), e ripas de madeira com diferentes inclinações (à esquerda) para melhor difusão do som no ambiente (Fonte: FM Studio Design, USA).*

Nesse sentido, a questão da difusão sonora em salas de gravação deve ser objeto de um estudo atento em cada caso, de acordo com o uso predominante do ambiente que se está projetando.

3.5.3. Difusão na sala técnica

Na sala técnica, é muito importante que o som dos monitores seja ouvido perfeita e igualmente, em diversos pontos do ambiente. Para isso, um pouco de difusão é imprescindível. Dessa forma, o técnico pode mover-se com uma certa tranqüilidade para acessar equipamentos e periféricos sem perder a real referência sonora da gravação. Produtores e músicos ali presentes terão a mesma percepção do técnico, permitindo que estabeleçam diálogos e discussões em relação ao material gravado a partir dos mesmos referenciais sonoros (Imagem 3.18).

Imagem 3.18: *Sala técnica dos Estúdios Electronic Arts (USA), com uma área onde se posicionam o técnico (à frente) e os demais envolvidos no trabalho (atrás do técnico), com um grande difusor policilíndrico pendurado no teto (Projeto: Walthers-Storyk Design Group, USA).*

De acordo com COOPER (1976, p. 60), "boa parte dos monitores utilizados em salas técnicas é bastante direcional, o que torna substancialmente difícil conseguir uma perfeita difusão sonora em todo o ambiente. Por isso, o projeto dessa sala deve considerar a existência de uma determinada área – e não uma posição, apenas – onde se pode ouvir de maneira equilibrada. Nesse local devem ficar o técnico (no centro) e os demais envolvidos no processo (o artista, os produtores, os músicos, etc.)".

O princípio da difusão sonora na sala técnica também deve ser utilizado para o controle de eco e das ondas estacionárias que, se não evitados, comprometem a qualidade acústica do ambiente.

3.5.4. Difusão na sala de masterização

A exemplo de outros aspectos relativos ao tratamento acústico dos ambientes do estúdio de gravação, a questão da difusão sonora na sala de masterização também não é abordada de forma específica e objetiva pela bibliografia disponível.

Entretanto, por se tratar de um ambiente de pequenas dimensões, com área igual ou inferior à de uma sala técnica convencional, podemos admitir que na solução acústica de uma sala de masterização serão necessários os mesmos cuidados e preocupações que na solução de uma sala técnica.

Imagem 3.19: *Sala de masterização dos Estúdios Sterling (USA), com um grande difusor de madeira clara instalado na parede dos fundos, atrás do sofá destinado a acomodar músicos e produtores durante a masterização (Projeto: FM Studio Design, USA).*

Portanto, assim como na sala técnica, é muito importante que o som dos monitores seja ouvido perfeita e igualmente, em diversos pontos da sala de masterização e, para isso, um pouco de difusão é imprescindível. Dessa forma, o técnico pode mover-se para acessar equipamentos e periféricos sem perder a real referência sonora da gravação, assim como as demais pessoas ali presentes têm a mesma percepção do técnico em relação ao material que está sendo reproduzido.

Segundo WHITE (1999, p.177), "para garantir um campo sonoro difuso em pequenos ambientes destinados à audição, como as salas técnicas e as salas de masterização, por exemplo, é fundamental dotá-las de elementos capazes de promover a correta difusão do som em seu interior" (Imagem 3.19).

Esses elementos, chamados de difusores acústicos, podem ser calculados, desenhados e construídos a partir das necessidades de cada ambiente, ou até mesmo serem adquiridos prontos[16].

E, a exemplo dos monitores que são utilizados nas salas técnicas, boa parte dos monitores utilizados em salas de masterização também é bastante direcional, o que torna substancialmente difícil conseguir uma perfeita difusão sonora em todo o ambiente, fazendo-se necessário garantir a existência de uma determinada área – e não uma posição apenas – onde o técnico e os demais presentes possam ouvir de maneira equilibrada.

3.5.5. Difusores sonoros

SOMERVILLE *et al* (1951) verificou que a instalação de elementos geométricos com características difusoras, em um ambiente, eram capazes de reduzir flutuações no comportamento do decaimento do som em determinadas freqüências. A maior dimensão desses elementos deveria ser de, no mínimo, 1/7 do comprimento da onda sonora cuja difusão se pretendia aumentar. O estudo envolveu elementos cilíndricos, e com faces triangulares e retangulares, sendo que estes últimos demonstraram maior eficiência, quando utilizados em estúdios, teatros e auditórios.

Segundo EVEREST (1994, p.235), "muitos estudos têm sido feitos na tentativa de identificar que tipos de irregularidades geométricas, nas superfícies internas de um ambiente, proporcionariam melhores resultados na sua difusão sonora".

3.5.5.1. Superfícies côncavas

De acordo com EVEREST (1994, p.238), "as superfícies côncavas, ao refletirem as ondas sonoras incidentes, focam-nas em um único ponto, eliminando qualquer possibilidade de difusão naquele ambiente. Esse fenômeno é, justamente, o oposto do que se busca – a difusão – e, por isso, deve ser evitado. O raio da curvatura determina a distância focal e, quanto maior o raio, maior a distância do ponto de concentração de energia em relação à superfície refletora".

---

[16] N. do A.: No mercado norte-americano, em função de sua elevada demanda por esse tipo de produto, diversos fabricantes da materiais destinados a absorção acústica também desenvolveram uma linha de difusores sonoros que são comercializados prontos e, cada um deles, atende a uma determinada gama de freqüências a serem "espalhadas".

Por isso, superfícies côncavas são absolutamente inadmissíveis em salas de gravação, salas técnicas e salas de masterização.

3.5.5.2. Superfícies convexas

Segundo EVEREST (1994, p.238), "um dos elementos mais eficientes em termos de difusão sonora – e, também, mais fáceis de serem construídos – são os chamados difusores policilíndricos (também chamados de absorvedores policilíndricos, conforme vimos acima em 3.3.2.3), constituídos de uma chapa de compensado de madeira (ou outro material relativamente espesso e maleável) montada na forma de uma secção convexa de cilindro. Três fenômenos ocorrem quando uma onda sonora atinge um difusor policilíndrico: uma parte da energia sonora é refletida de volta para o ambiente, porém de forma dispersa; uma parte da energia sonora é absorvida pelo dispositivo; e, uma terceira parte da energia sonora é re-irradiada num ângulo de aproximadamente 120°, devido à ação do difusor policilíndrico como um diafragma (um dispositivo similar, porém plano, re-irradia parte da energia sonora incidente num ângulo muito menor, em torno de 20°). Esse tipo de dispositivo, portanto, possui características favoráveis de absorção, reflexão e re-irradiação" (Figura 3.10).

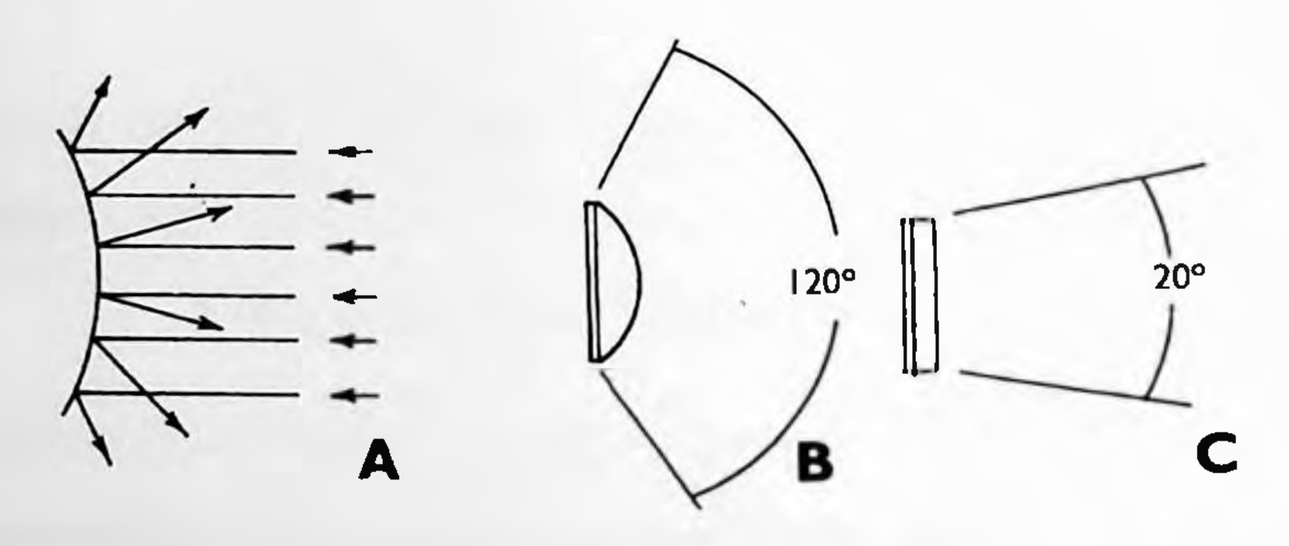


Figura 3.10: *Representação esquemática da reflexão da energia sonora não absorvida por um difusor policilíndrico (A), e o seu ângulo de difusão (B), muito superior ao ângulo de difusão de uma placa vibrante (C), por exemplo (Fonte: Everest, 1994).*

A largura da base desse tipo de dispositivo deve ser compatível com o comprimento de onda para o qual ele deve atuar, por exemplo: se for para atuar em sons com freqüência em torno de 1kHz (cujos comprimentos de onda medem, aproximadamente, 0,345m), a largura da base do difusor deve medir 0,345m; se for para atuar em sons com freqüência em torno de 100Hz (cujos comprimentos de onda medem, aproximadamente, 3,45m), a largura da base do difusor deve medir 3,45m, e assim por diante.

EVEREST (1994, p.241) prossegue: "difusores policilíndricos com largura da base entre 0,7m e 2,1m, e profundidade interna entre 0,15m e 0,45m costumam atender à maioria das salas com problemas de absorção e difusão de sons de baixas freqüências. Devem ser aleatoriamente distribuídos no ambiente, mas de modo que seus eixos de simetria, em diferentes superfícies da sala, sejam sempre perpendiculares entre si".

3.5.5.3. Difusão por superfícies planas

Para EVEREST (1994, p.240), "elementos de difusão sonora de formas geométricas construídos a partir de duas superfícies planas, de modo que sua secção resulte em um triângulo (ou um 'V'), bem como aqueles formados a partir de três ou quatro superfícies planas, de modo que sua secção resulte num polígono, também são comumente utilizados, principalmente em grandes recintos. A eficiência em relação à difusão sonora desses elementos costuma ser inferior à eficiência dos difusores policilíndricos".

3.5.5.4. Difusores do tipo Schröeder

De acordo com EVEREST *et al* (1979, p.215), "no início dos anos 60, o Professor Manfred Schröeder, da Universidade de Göttingen (na Alemanha) e dos laboratórios AT&T Bell (nos EUA) iniciou uma série de pesquisas relativas à difusão sonora, que deram origem aos difusores que, hoje em dia, levam seu nome. Eles consistem de uma superfície plana, composta por uma série de cavidades longas, estreitas e paralelas entre si, em profundidades fixas e larguras variáveis, ou vice-versa" (Imagem 3.20).

Imagem 3.20: *Exemplo de difusor do tipo "Schröeder" na parede e em parte do forro (Fonte: FM Studio Design, USA).*

Os difusores do tipo Schröeder funcionam da seguinte forma: cada onda sonora, ao atingir essa superfície irregular, encontra as reflexões provenientes dos fundos de cada uma das cavidades; a fase dessas reflexões varia de acordo com a largura ou a profundidade da cavidade, conforme o tipo de dispositivo, o que fará com a onda sonora incidente interaja de maneira diferente com cada uma das reflexões.

Segundo EVEREST *et al* (1979, p.215), "o primeiro tipo de difusor testado por Schröeder possuía cavidades com profundidades fixas (Figura 3.11), que precisavam de coeficientes de reflexão diferentes (+1 e –1). Com a profundidade da cavidade igual a ¼ do comprimento de onda, e a largura igual a ½ do comprimento de onda, obtém-se coeficiente de reflexão igual a –1. A ausência de cavidade, por sua vez, resulta num coeficiente de reflexão igual a +1. Para se calibrar esse dispositivo para atuar junto aos sons de freqüência em torno de 1kHz (cujo comprimento de onda é de aproximadamente 0,345m), por exemplo, deve-se ter cavidades com 0,172m de largura e 0,086m de profundidade. Estes difusores devem ser construídos em materiais rígidos e não porosos (como madeira, plástico, metal ou, mesmo, concreto) e funcionam bem numa gama de freqüências limitada a uma oitava, sendo ½ oitava acima e ½ oitava abaixo da freqüência para o qual foram de calibrados".

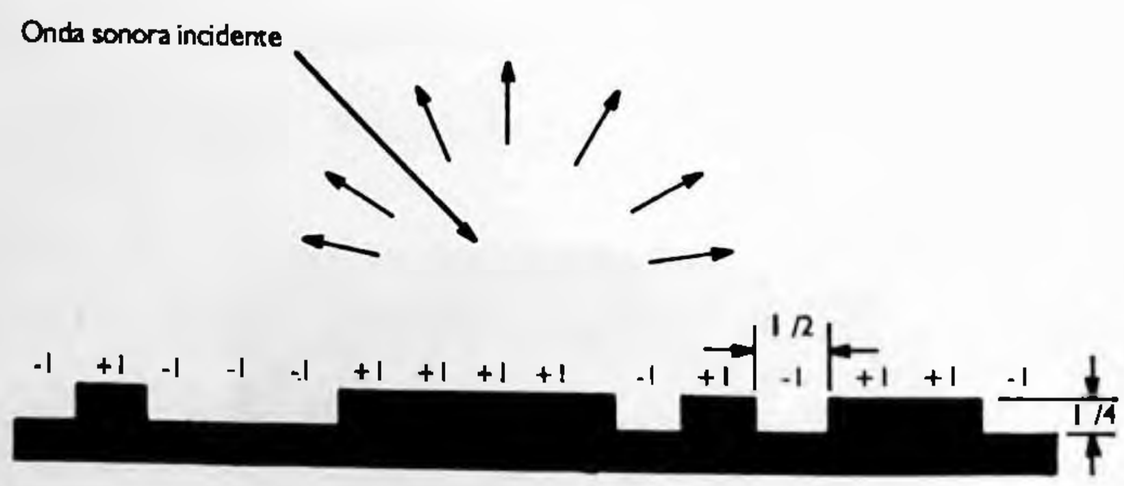


Figura 3.11: *Representação esquemática (em corte) de um difusor do tipo "Schröeder" (Fonte: Everest, 1979).*

Uma variação mais complexa – e, portanto, mais eficiente – desses difusores foi desenvolvida por Schröeder alguns anos depois, e as dimensões de suas cavidades são obtidas a partir de um princípio matemático chamado de "resíduo quadrático".

O período de uma seqüência é constituído, por exemplo, por 17 cavidades, sendo que cada uma delas possui uma profundidade relativa (Figura 3.12). Entre as cavidades, uma fina lâmina de metal, ou qualquer outro material rígido, garante o funcionamento independente de cada uma delas. A largura das cavidades deve ser aproximadamente igual à metade do menor comprimento de onda das freqüências que se pretende atingir. A sua profundidade máxima é dada pelo maior comprimento de onda das freqüências a serem atingidas pelo dispositivo. Apesar de serem mais complexos em seu cálculo e em sua construção, estes difusores são capazes de atingir uma gama de freqüências que pode se aproximar de todo o espectro audível do ser humano.

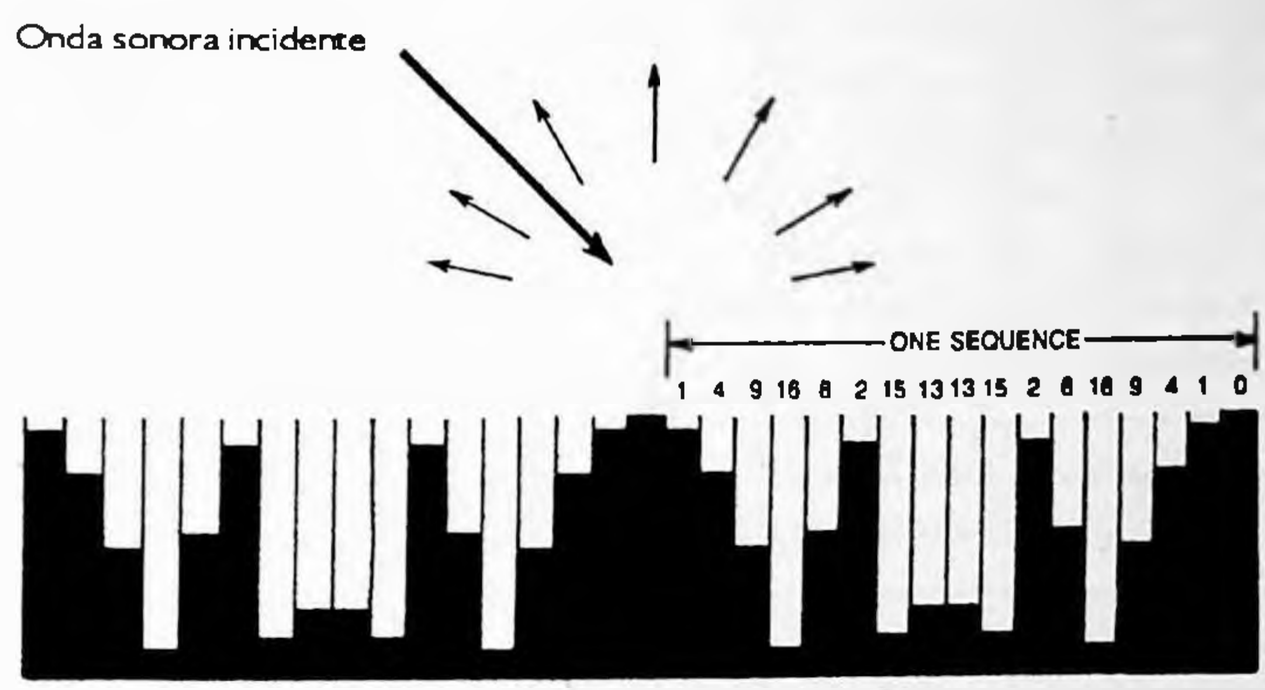


Figura 3.12: Representação esquemática (em corte) de um difusor do tipo "Schröeder" baseado no princípio do "resíduo quadrático" (Fonte: Everest, 1979).

De acordo com EVEREST (1994, p.245), a seqüência das profundidades das cavidades é determinada por intermédio da aplicação da seguinte fórmula:

$$F = n^2 \text{ módulo } p$$

Onde:

F é o fator de proporcionalidade entre as profundidades das cavidades;

p é um número primo qualquer; e

n é um número inteiro, tal que $0 \leq n \leq \infty$.

A Tabela 3.04, abaixo, apresenta, como exemplo, as seqüências do resíduo quadrático dos seguintes números primos: 5, 7, 11, 13, 17, 19 e 23. Cada uma das seqüências corresponde às diferenças de profundidade entre cavidades contíguas. Como a largura das cavidades deve ser aproximadamente igual à metade do menor comprimento de onda das freqüências que se pretende atingir; e, como a sua profundidade máxima é dada pelo maior comprimento de onda das freqüências que se pretende atingir com o dispositivo, o seu dimensionamento pode ser feito rapidamente.

n	*p*						
	5	**7**	**11**	**13**	**17**	**19**	**23**
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	4	4	4	4	4	4	4
3	4	2	9	9	9	9	9
4	1	2	5	3	16	16	16
5	0	4	3	12	8	6	2
6		1	3	10	12	17	13
7		0	5	10	15	11	3
8			9	12	13	7	18
9			4	3	13	5	12
10			1	9	15	5	8
11			0	4	2	7	6
12				1	8	11	6
13				0	16	17	8
14					9	6	12
15					4	16	18
16					1	9	3
17					0	4	13
18						1	2
19						0	16
20							9
21							4
22							1
23							0

Tabela 3.04: *Exemplos das seqüências dos resíduos quadráticos para números primos entre 5 e 23 (Fonte: Everest, 1994).*

Cada uma das seqüências resultará num difusor diferente das demais, com profundidades variáveis de acordo com o resultado da fórmula acima.

Segundo EVEREST (1994, p.247), "diversos fabricantes de produtos destinados ao tratamento acústico de estúdios de gravação e salas de audição de música desenvolveram difusores produzidos em série, baseados na teoria do resíduo quadrático".

Os efeitos de uma onda sonora hipotética incidindo sobre três superfícies com propriedades acústicas diferentes – absorção, reflexão e difusão – são comparados por EVEREST (1994) na Figura 3.13, abaixo.

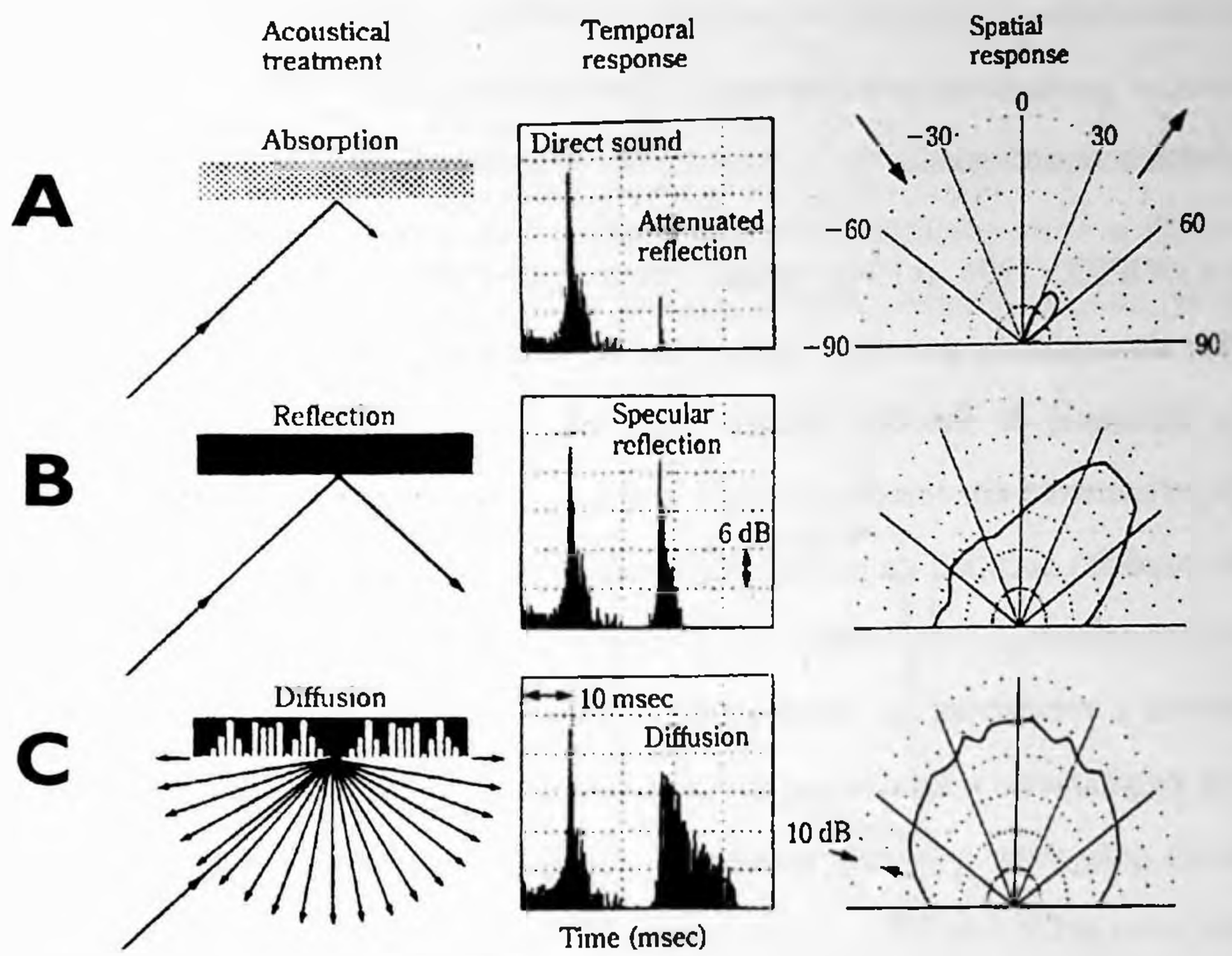


Figura 3.13: *Comparação dos efeitos de uma onda sonora hipotética incidindo sobre três superfícies com propriedades acústicas diferentes, do ponto-de-vista de suas respostas temporais e espaciais (Fonte: Everest, 1994).*

Nota-se que grande parte da energia sonora da onda incidente sobre a superfície absorvente (A) é dissipada pelo material, e uma pequena parte apenas é refletida de volta para o ambiente.

Uma onda sonora de intensidade igual à anterior, incidindo sobre uma superfície altamente refletora (B), provoca a reflexão especular e direcional de quase toda a energia incidente, com uma pequena parcela sendo absorvida e dissipada pelo material.

Já uma onda sonora incidindo sobre uma superfície difusora (C), construída a partir da teoria do resíduo quadrático, será refletida de forma fragmentada ao ambiente, em diversas direções, em ondas de menor intensidade e, portanto, menos perceptíveis ao ouvinte.

3.5.6. Geometria das salas

A bibliografia disponível aponta a geometria dos ambientes de um estúdio como sendo um dos principais e decisivos fatores na determinação da sua qualidade acústica. Por isso, questões como a forma da sala, o não-paralelismo entre superfícies opostas, as irregularidades geométricas e a disposição dos materiais absorventes, são tratadas de maneira bastante aprofundada.

Segundo COOPER (1976, p.154), "a sala técnica, por exemplo, deve possuir uma forma geométrica determinada por suas necessidades acústicas, de modo a atender à sua complexa variedade de funções. Muitas salas são projetadas a partir de uma cápsula isolada acusticamente em relação ao meio externo e aos ambientes a ela adjacentes. O principal propósito acústico da geometria da sala técnica é garantir a correta distribuição de superfícies refletoras e absorventes no ambiente, fazendo com que os campos sonoros sejam difusos e previsíveis na maior parte do espaço, eliminando ondas estacionárias, ecos, ecos palpitantes e ressonâncias em geral. É a partir da definição geométrica da sala que se pode determinar a correta localização do console principal, dos gravadores, dos monitores e dos periféricos".

EVEREST (1994), WHITE (1999) e CIPRIANO (2001) concordam com a afirmação de COOPER (1976), acima, o que nos leva a concluir, ainda que preliminarmente, que os aspectos formais dos ambientes de um estúdio, determinados por funções acústicas – como absorção, reflexão e difusão – podem ser decisivos na qualidade do som gravado nele. Como conseqüência disso, podemos deduzir que a correta solução acústica de salas de gravação, salas técnicas e salas de masterização podem funcionar como indutoras de seu desenho.

3.5.6.1. A geometria da sala de gravação

Superfícies opostas, paralelas entre si, não são recomendáveis em salas de gravação, pois estimulam a formação de ondas estacionárias, ecos e ecos palpitantes. Isso se aplica tanto às paredes quanto ao piso e ao forro.

Em ambientes pequenos, o efeito das superfícies paralelas pode ser minimizado por meio da aplicação de materiais porosos em uma das superfícies paralelas, porém com resultados limitados.

Para COOPER (1976, p.120), "a melhor solução, sem dúvida, é evitar a existência de superfícies paralelas. Isso pode ser feito com a construção de duas ou mais novas paredes, internamente à sala, levemente deslocadas (6° de divergência já são suficientes), de modo que paredes opostas, duas a duas, não sejam paralelas entre si (Figura 3.14). Como o piso, obviamente, é plano, o forro é que deverá, obrigatoriamente, ser inclinado (também em, no mínimo, 6° em relação ao piso)".

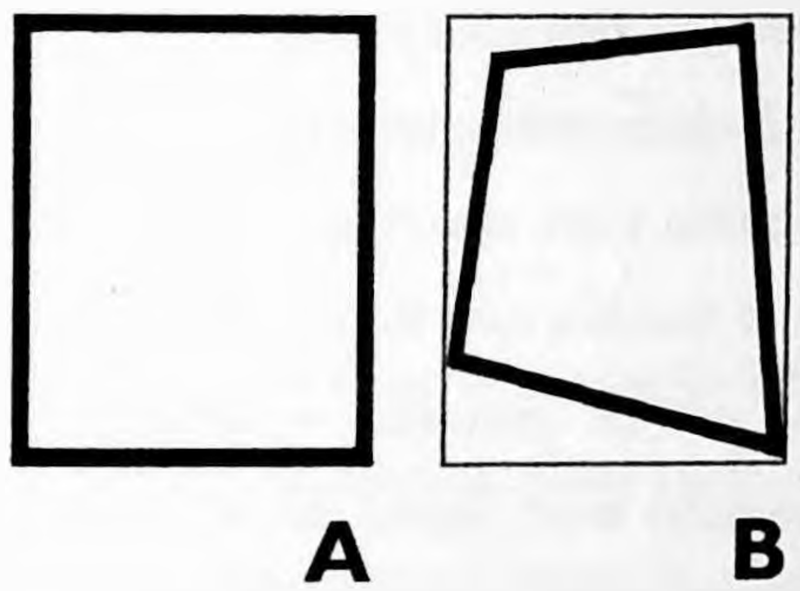


Figura 3.14: Representação esquemática (em planta) da construção de paredes internas não paralelas (B) em um ambiente existente (A), para evitar a formação de ondas estacionárias, bem como a incidência de eco e ecos palpitantes (Fonte: Cooper, 1976).

Muitos estúdios ainda são construídos em ambientes com superfícies paralelas entre si, o que compromete significativamente a qualidade do material que ali é gravado Mas a simples construção de superfícies não paralelas, difusores e materiais absorventes.não são suficientes para eliminar por completo as ondas estacionárias em toda sua energia, especialmente em pequenos ambientes, onde as ondas estacionárias se formam na região audível de baixas freqüências.

Segundo COOPER (1976, p.120), "para ajudar a dissipar as ondas estacionárias de baixas freqüências, e a coloração que elas produzem, é necessário recorrer à construção de placas vibrantes" (Figuras 3.02 e 3.03, acima).

O eco – como audição nítida de um mesmo som, por duas ou mais vezes – ocorre quando uma determinada onda sonora é refletida por uma superfície do ambiente, e retorna ao ponto de escuta – ou de captação – do som, em intervalos maiores que 60ms em relação ao impulso original não refletido. Alguns autores, no entanto, consideram esse limite bem menor, em torno de 35ms. Outros estabelecem que o intervalo compreendido entre 35ms e 60ms é uma "transição" entre um tempo de reverberação muito alto e o eco propriamente dito. Mas todos concordam que sons refletidos em intervalos maiores que 35ms são prejudiciais à qualidade de uma gravação.

COOPER (1976, p.121) prossegue: "como o som trafega a uma velocidade de aproximadamente 345m/s no ar, esse percurso de ida-e-volta em 35ms representa uma distância percorrida em torno de 12m. Isso significa que, se as dimensões da sala de gravação permitirem a existência de pelo menos uma superfície altamente refletora, que possa distar 6m ou mais de uma fonte sonora qualquer, então será possível haver eco exatamente no ponto onde se localiza essa fonte sonora. Como durante a captação do som dos instrumentos, na sala de gravação, é muito comum posicionarmos o(s) microfone(s) bastante próximo(s) ao(s) instrumento(s), o eco – se não controlado – também será captado na gravação. Assim, em salas de gravação com grandes dimensões, instrumentos que produzem sons com ondas sonoras percussivas (como bateria, instrumentos de percussão em geral, piano e guitarra elétrica, por exemplo) não devem ficar a mais de 6m de superfícies refletoras" (Figura 3.15).

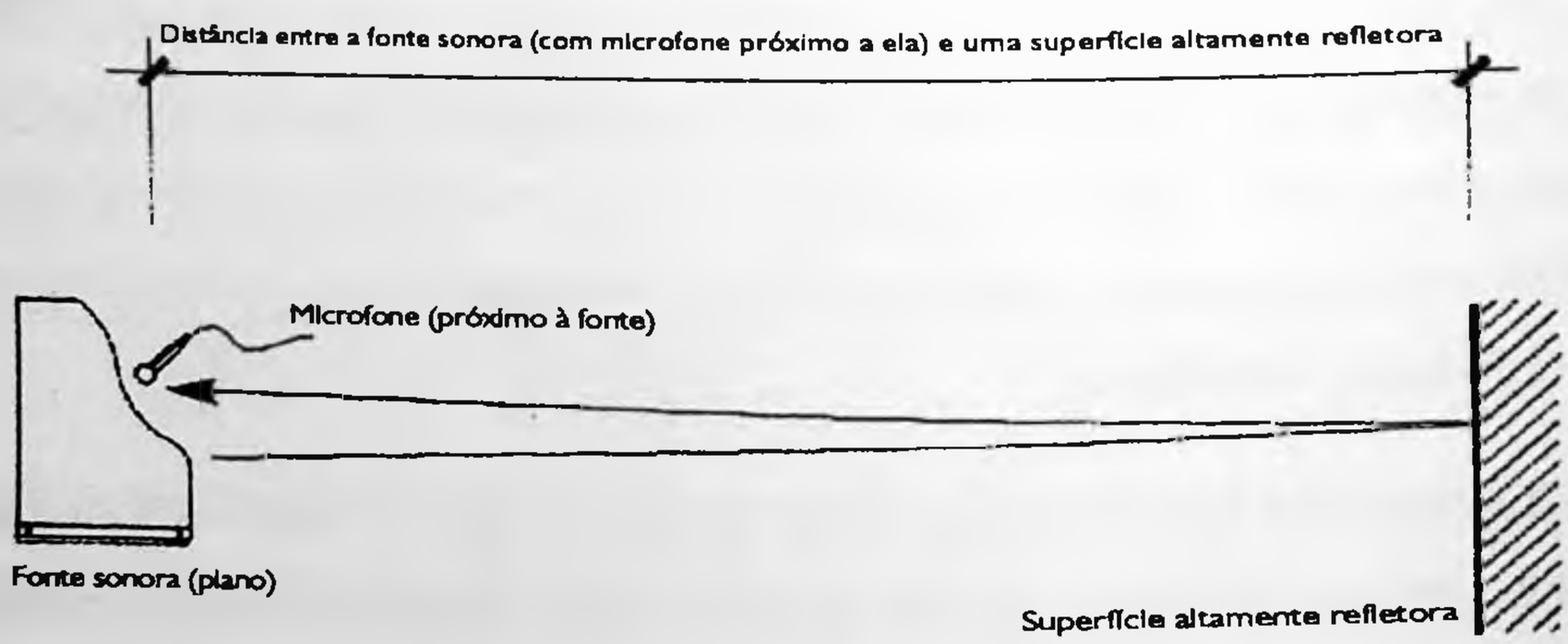


Figura 3.15: *Eco na sala de gravação formado a partir de 6m de distância entre uma fonte sonora qualquer (com microfone próximo a ela) e uma superfície altamente refletora (Fonte: Cooper, 1976).*

Segundo EVEREST (1994, p.229), "há diversas formas para salas, mas algumas delas devem ser evitadas, pois focam a energia sonora em determinados pontos, contrariando completamente o princípio da difusão sonora. Superfícies côncavas na forma de uma parábola ou de um cilindro não são admissíveis na sala de gravação. Mesmo paredes formadas por 4, 5, 6 ou 8 superfícies planas dispostas lado a lado, formando um polígono côncavo, tendem a funcionar como uma cavidade cilíndrica, resultando na concentração do som em alguns pontos em prejuízo de outros e, por isso, também devem ser evitadas".

A popularidade das salas em formato retangular se deve, em parte, aos aspectos econômicos da construção. Mas essa forma também tem vantagens acústicas, uma vez que seus modos axiais, tangenciais e oblíquos podem ser calculados com razoável precisão, e sua distribuição estudada.

De acordo com EVEREST (1994, p. 230), "a proporção entre comprimento, largura e altura da sala de gravação é muito importante. Salas cúbicas (com suas três dimensões aproximadamente iguais) constituem-se num anátema. E, apesar de a grande maioria dos livros e manuais de acústica apresentar alguma proporção entre as três dimensões de um ambiente, nenhum dos autores afirma de maneira objetiva que esta ou aquela proporção seja a ideal".

VOLKMANN (1942), propõe a relação 2:3:5 (para altura, largura e comprimento, respectivamente). No mesmo ano, BONER (1942) sugere a relação 1,00:1,26:1,59 como sendo ideal. BOLT (1946) propõe uma série de relações, dispostas em um gráfico conhecido como "Gráfico de Bolt" que, segundo ele, seriam capazes de garantir resultados altamente satisfatórios no controle dos modos em ambientes retangulares de pequenas dimensões. SEPMEYER (1965) publicou um estudo estatístico, elaborado com o auxílio de computadores, que apresentava diversas proporções favoráveis. E, mais recentemente, LOUDEN (1971) listou nada menos que 125 diferentes proporções consideradas boas, em ordem descendente de desempenho no que diz respeito aos modos do ambiente.

COOPER (1976, p. 153), EVEREST (1994, p. 230) e WHITE (1999, p. 151) recomendam a adoção do "Gráfico de Bolt" (Gráfico 3.09) no projeto de salas de gravação.

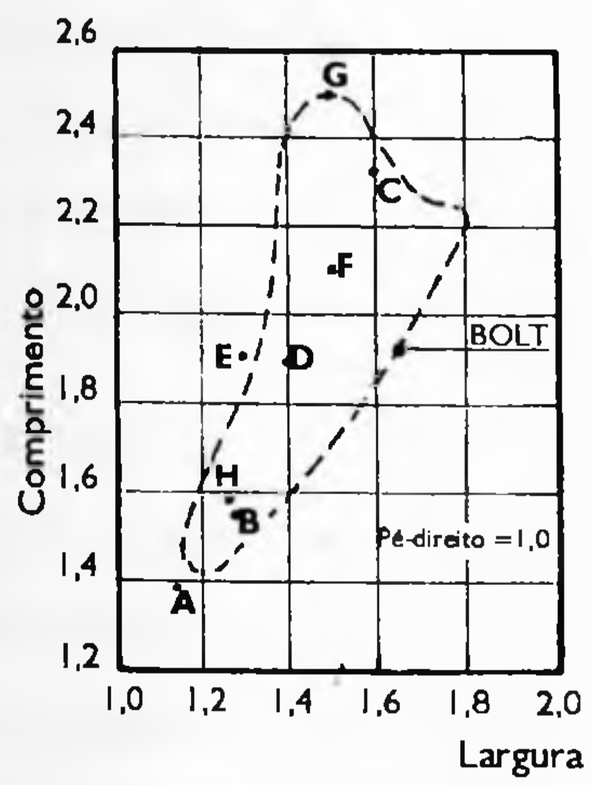


Gráfico 3.09: *Comparação gráfica da proposta da Bolt (linha tracejada) com as melhores proporções para salas retangulares recomendadas por Sepmeyer, Louden, Volkmann e Boner (Fonte: Everest, 1994).*

EVEREST (1994, p. 231) compara as propostas de VOLKMANN (1942), BONER (1942), SEPMEYER (1965) e LOUDEN (1971) com o estudo de BOLT (1946) e conclui que "a maioria das propostas dos demais autores coincide ou está muito próxima da área assinalada no 'Gráfico de Bolt', o que nos leva a deduzir que qualquer proporção entre as dimensões de um ambiente, que esteja dentro da área assinalada, será capaz de garantir um resultado bastante razoável em termos da qualidade acústica da sala em baixas freqüências, bem como na distribuição de seus modos axiais" (Tabela 3.05).

Autor			***Dimensões da sala***			***De acordo com o "Gráfico de Bolt"?***
			altura	*largura*	*comprimento*	
1.	*Sepmeyer*	A	1,00	1,14	1,39	Não
		B	1,00	1,28	1,54	Sim
		C	1,00	1,60	2,33	Sim
2.	*Louden (as 3 melhores)*	D	1,00	1,40	1,90	Sim
		E	1,00	1,30	1,90	Não
		F	1,00	1,50	2,50	Sim
3.	*Volkmann*	G	1,00	1,50	2,50	Sim
4.	*Boner*	H	1,00	1,26	1,59	Sim

Tabela 3.05: *Resultado da comparação das propostas de Sepmeyer, Louden, Volkmann e Boner com o "Gráfico de Bolt", para proporções entre as dimensões internas de salas retangulares, favoráveis à distribuição dos modos (Fonte: Everest, 1994).*

Para COOPER (1976), é possível construir uma excelente sala de gravação, com uma área mais reverberante (próxima ao visor que a separa da sala técnica), e uma área menos reverberante (mais distante do visor), a partir de um ambiente medindo 9,5x8,0x4,5m (Figura 3.16). Dessa maneira, consegue-se uma sala com alguma versatilidade acústica, sem a necessidade de se ter de recorrer à fabricação de dispositivos móveis, a um custo geralmente elevado.

Figura 3.16: *Sugestão de Cooper (em planta) para a construção de uma sala de gravação a partir de um ambiente medindo 9,5x8,0x4,5m (Fonte: Cooper, 1976).*

Segundo COOPER (1976, p.122), existem quatro maneiras de se controlar os ecos palpitantes em salas de gravação:

- "A primeira – e a mais simples delas – consiste em cobrir uma das superfícies paralelas com uma camada de material absorvente. Apesar de eficiente, esta solução torna a sala desbalanceada, com uma área muito 'viva', próxima à parede sem revestimento, e outra muito 'morta', próxima à parede revestida";

- "A segunda maneira é, na verdade, um desdobramento da primeira, e consiste em cobrir parcialmente cada uma das superfícies paralelas, alternando áreas cobertas e descobertas em cada uma delas, formando um 'xadrez'. O importante, neste caso, é que as áreas cobertas numa das superfícies correspondam exatamente às áreas descobertas da superfície oposta";

- "Uma terceira maneira de se eliminar os ecos palpitantes consiste em quebrar o paralelismo de duas superfícies opostas, inclinando uma delas em, pelo menos, dez graus em relação à outra. Como a inclinação em 6° (aproximadamente 10% do comprimento da parede) é bastante significativa, há uma perda de espaço interno que deve ser considerada no momento do projeto. Trata-se de uma solução bastante eficiente em grandes estúdios (Figura 3.16). É também bastante utilizada em câmaras de eco, onde materiais absorventes não podem ser utilizados";

- "E a quarta, e última, maneira de se eliminar o *flutter-echo*, que também mantém intacta a refletividade da sala e não impõe a construção de novas paredes, consiste em instalar grandes difusores ao longo das paredes do ambiente, que se encarregarão de 'espalhar' as ondas sonoras por toda a sala. Em geral, esses difusores são construídos em madeira maciça, formando figuras geométricas com vários tamanhos e formas".

3.5.6.2. A geometria da sala técnica

Para COOPER (1976, p.153), "o tamanho da sala técnica é decisivo na determinação de sua capacidade de reprodução sonora com qualidade. A fim de acomodar as baixas freqüências, cujos comprimentos de onda podem medir 8 ou 9m, a sala técnica de um estúdio profissional deve ser razoavelmente grande. Em outras palavras, o volume útil de uma sala técnica profissional, descontados os espaços com mobiliário (sofás, poltronas, armários, estantes, *racks* e tratamento acústico) e equipamentos (gravadores, consoles, monitores) deve ser de, no mínimo, $70m^3$. Isso significa que a sala em si deve ter algo entre 100 e $140m^3$ de volume inicial".

Segundo CIPRIANO (2001), "salas técnicas para mixagem em seis canais (surround 5.1) necessitam de uma área útil compreendida entre $30m^2$ e $70m^2$, o que significa 20% a mais que a área recomendada para salas técnicas para mixagens em dois canais (estéreo). A sala deve, necessariamente, ser simétrica em relação a um eixo imaginário, que vai da parede em frente ao técnico à parede atrás dele, passando pela posição ideal de mixagem, perpendicular à linha de base dos monitores, preservando assim o panorama estéreo (Figura 3.17). Para se evitar a ocorrência de *flutter-echoes*, é recomendável adotar uma forma simétrica irregular, com superfícies opostas não paralelas entre si".

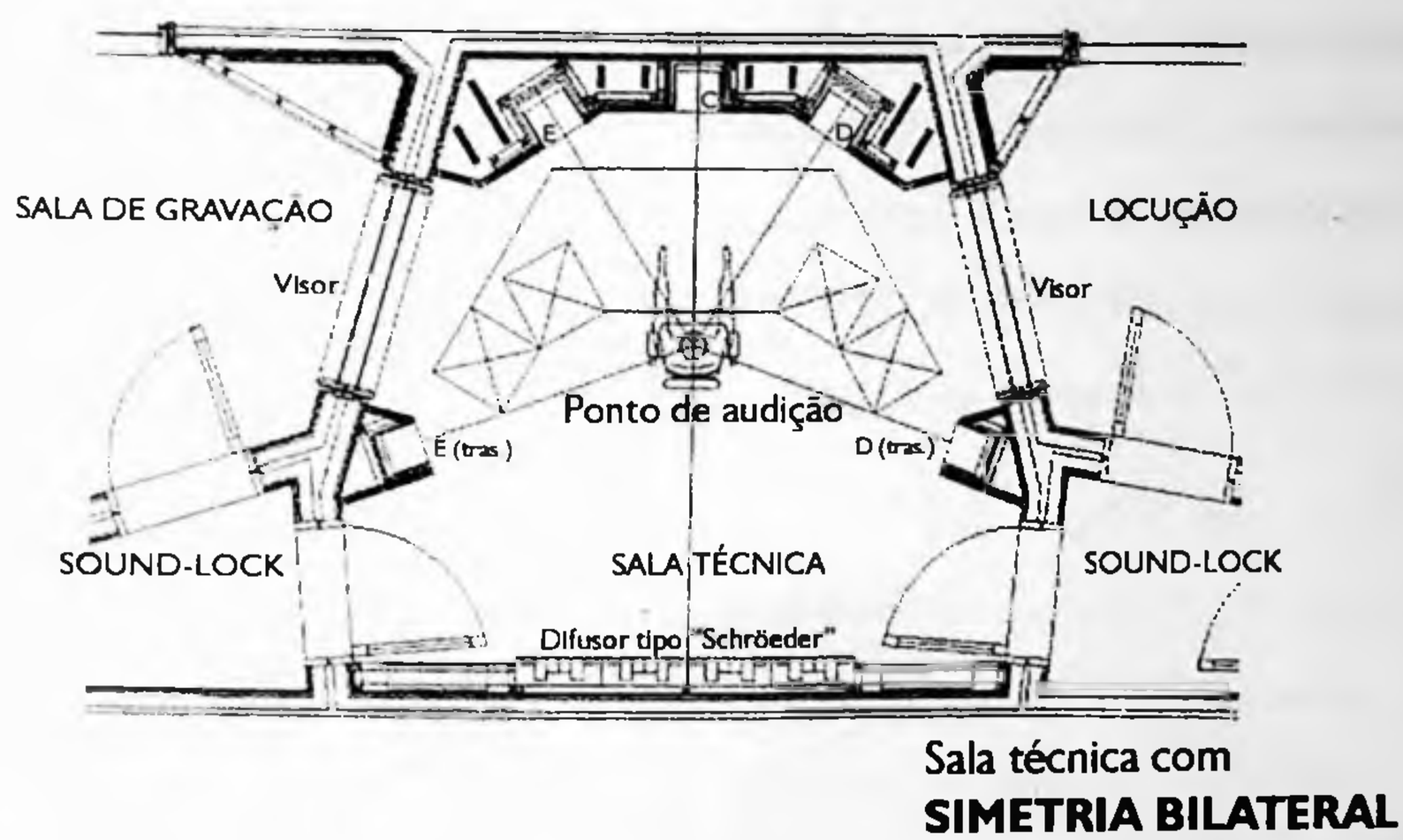


Figura 3.17: *Recomendação de Cipriano para projeto de sala técnica para mixagens em seis canais (surround 5.1), com simetria bilateral (Fonte: Cipriano, 2001).*

Assim como na sala de gravação, a proporção das dimensões da sala técnica é um outro aspecto considerado importante pela maioria dos autores. Como cada dimensão de um ambiente possui um conjunto característico de ressonâncias, as várias proporções entre altura, largura e comprimento interferem de modo decisivo no modo como o som será distribuído pela sala, ao longo de todo o espectro audível. Por exemplo: se um determinado ambiente possui as mesmas dimensões em sua largura, comprimento e altura, isso quer dizer que as ondas estacionárias que tendem a se formar no sentido de cada uma das dimensões serão idênticas em suas freqüências. Essas ressonâncias tendem a se somar umas às outras, criando um desbalanceamento considerável na resposta em freqüência da sala.

De acordo com COOPER (1976, p.154), "apesar de alguns autores ainda defenderem proporções 'mágicas' para as dimensões da sala técnica, o tempo e os fatos têm mostrado que isso não existe. O que há, no entanto, é um conjunto de proporções, conhecido como 'Gráfico de Bolt' que tende a propiciar uma melhor distribuição das ressonâncias, no ambiente, pois a partir do momento em que o espaço é preenchido com mobiliário, equipamentos, tratamento acústico e pessoas, a proporção entre suas dimensões perde importância na determinação de seu desempenho acústico".

CIPRIANO (2001) é mais objetivo. Segundo ele, "para reduzir o efeito das ondas estacionárias em salas técnicas, a seguinte relação entre as suas três dimensões deve ser observada:

$$1{,}1\frac{l}{a} \leq \frac{c}{a} \leq 4{,}5\frac{l}{a} - 4$$

Desde que:

$$l/a < 3 \quad \text{e} \quad c/a < 3,$$

Onde:

l é a largura da sala, em metros;

c é o comprimento da sala, em metros; e

a é a altura da sala (pé-direito), em metros".

Segundo WHITE (1999, p.175): "em geral, partimos de um ambiente ortogonal (quadrado ou retangular, por exemplo) para chegar ao desenho definitivo da sala técnica, com suas superfícies opostas apresentando uma simetria não-paralela entre elas".

Para COOPER (1976, p.156), "se as ondas sonoras provenientes de fontes idênticas, localizadas dentro de um mesmo ambiente, se refletirem de forma diferente em vários pontos desse mesmo ambiente, elas serão percebidas de forma diferente por quem estiver lá dentro".

Em outras palavras, se os sons provenientes dos monitores da sala técnica forem refletidos de maneiras diferentes uns dos outros, nas superfícies opostas a cada um deles, a percepção do técnico será distorcida, e ele tenderá a alterar a equalização entre os monitores, terminando por desbalancear a mixagem. Além disso, diferenças no modo de reflexão do som dos monitores podem causar a perda da percepção espacial do som entre os canais, quer sejam dois (*stereo*) ou seis (*surround 5.1*).

E afirma que "esse tipo de problema pode ser evitado por meio da construção de uma técnica perfeitamente simétrica, e do posicionamento do engenheiro exatamente no eixo de simetria da sala. Numa técnica para mixagens em dois canais, a simetria deve ser apenas bilateral, ou seja, em relação ao eixo que divide a sala da frente ao fundo. Para mixagens em seis canais, muito comuns em DVDs, é necessário que a simetria seja quadrilateral, para garantir a equalização e a percepção espacial do som em todas as direções" (Figura 3.18).

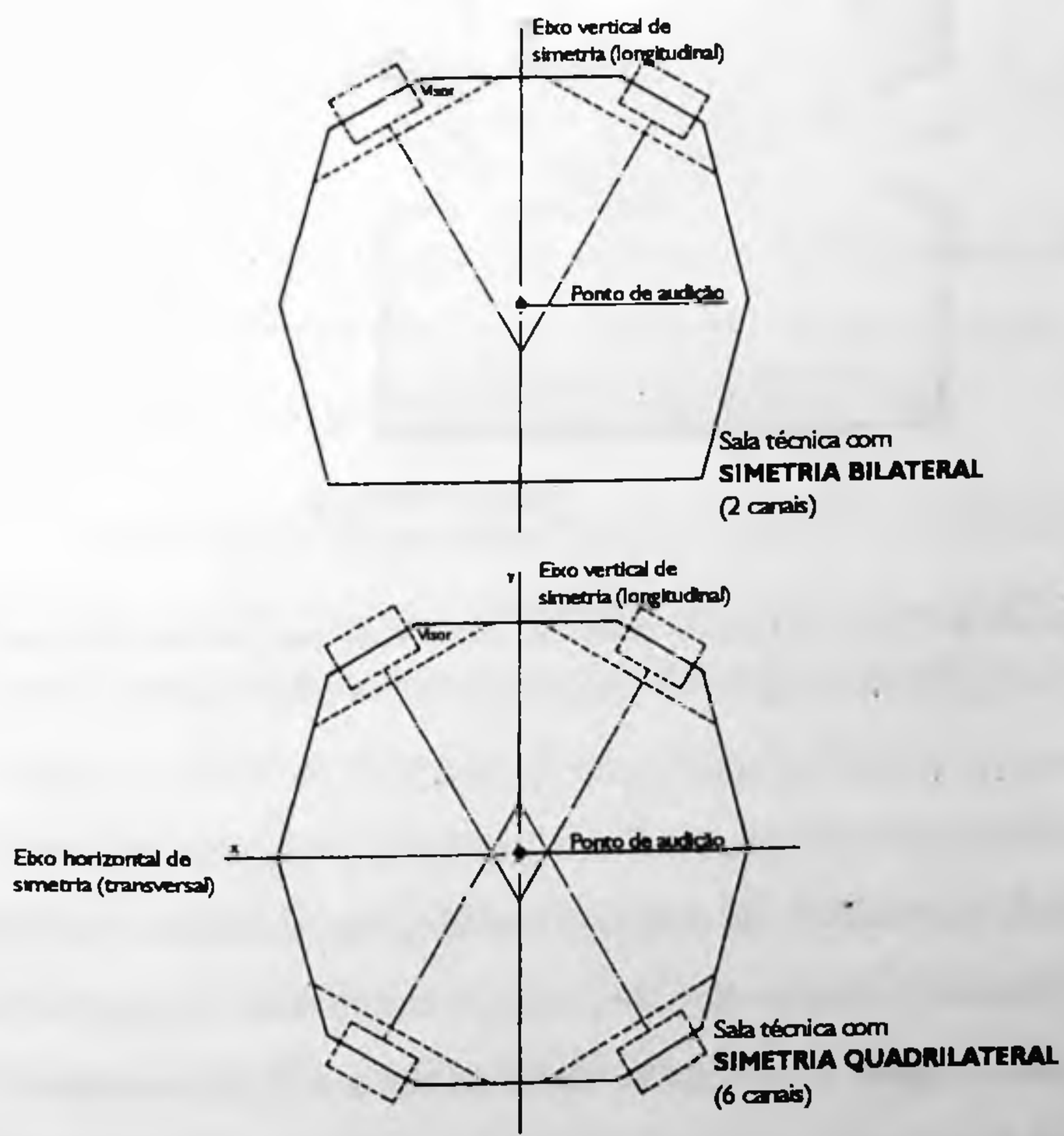


Figura 3.18: *Recomendação de Cooper para simetria em salas técnicas, de acordo com o número de canais a serem mixados (Fonte: Cooper, 1976).*

Notamos aqui uma divergência clara entre CIPRIANO (2001) e COOPER (1976). O primeiro defende a necessidade de um único eixo de simetria na sala técnica, mesmo para aquelas destinadas a mixagens em seis canais. O segundo afirma que as salas técnicas para mixagens em dois canais necessitam de um único eixo de simetria, enquanto as mixagens em quatro ou seis canais necessitam, obrigatoriamente, de dois.

Segundo COOPER (1976, p.157) "a existência de uma grande superfície envidraçada em frente ao console principal, muito comum na grande maioria das salas técnicas destinadas a mixagens em dois canais (*stereo*), constitui-se num problema quando se necessita de uma perfeita simetria quadrilateral para mixagens em seis canais (*surround 5.1*), visto que é impraticável termos uma segunda superfície envidraçada, exatamente atrás do técnico, o que provocaria uma série de reflexões altamente direcionais" (Figura 3.19).

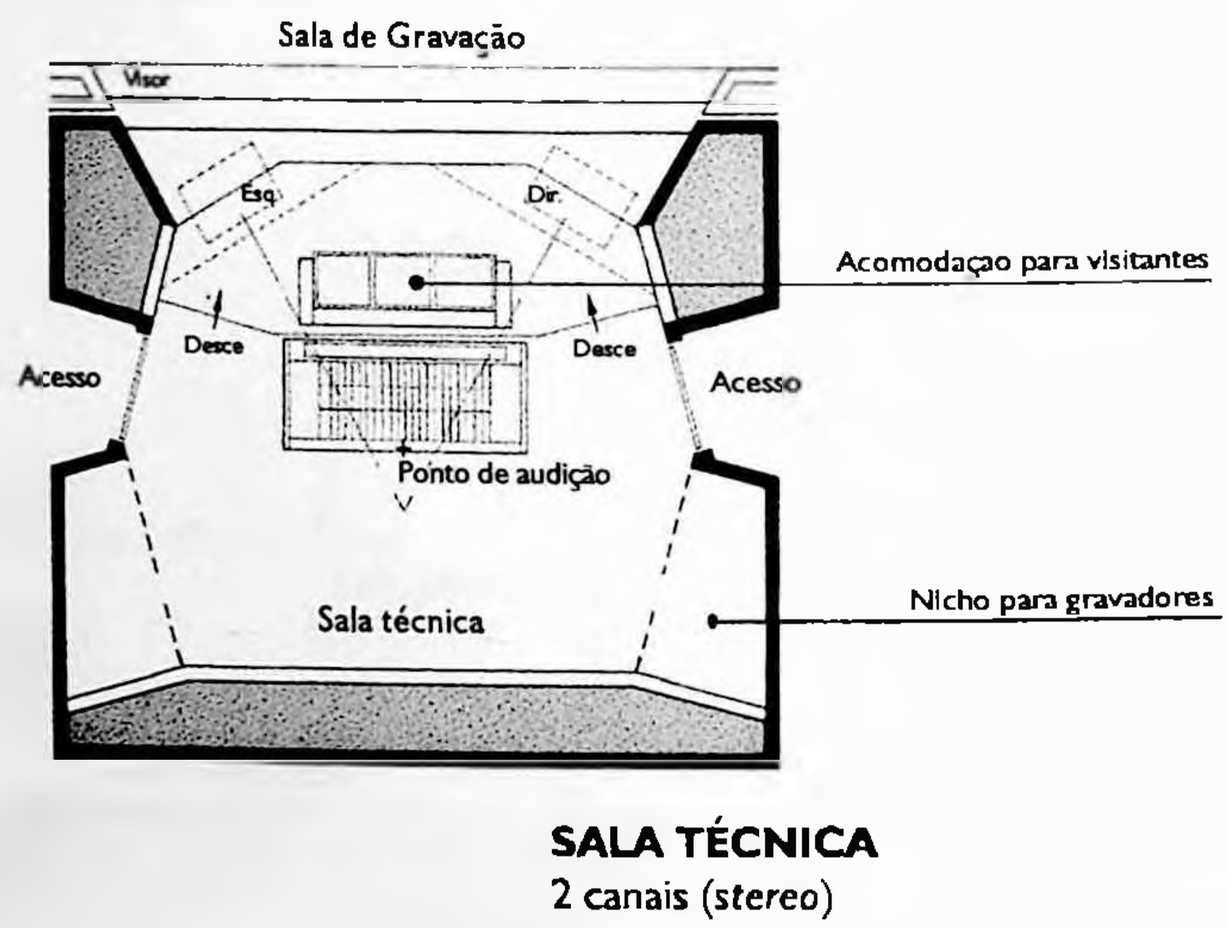


Figura 3.19: *Sugestão de Cooper (em planta) para a construção de uma sala técnica para mixagens em dois canais, com área para visitantes à frente da mesa e do técnico (Fonte: Cooper, 1976).*

COOPER (1976, p. 157) prossegue: "esse problema pode ser atenuado de maneira eficiente, por meio da instalação de duas cortinas feitas de tecido bem pesado, drapeadas 4:1, nas duas paredes opostas, ou seja, uma cortina cobrindo toda a parede em frente ao técnico, e a outra cobrindo toda a parede atrás do técnico. É recomendável que o visor entre a técnica e o estúdio – apesar de coberto pela cortina – seja o menor possível, e toda a superfície em volta dele seja revestida com material absorvente" (Figura 3.20).

Para CIPRIANO (2001), "o ideal é que as salas técnicas destinadas a mixagens em seis canais (*surround 5.1*) sejam projetadas exclusivamente para tal, evitando-se uma série de problemas decorrentes da adaptação de ambientes que foram originalmente concebidos para trabalhos em um ou dois canais".

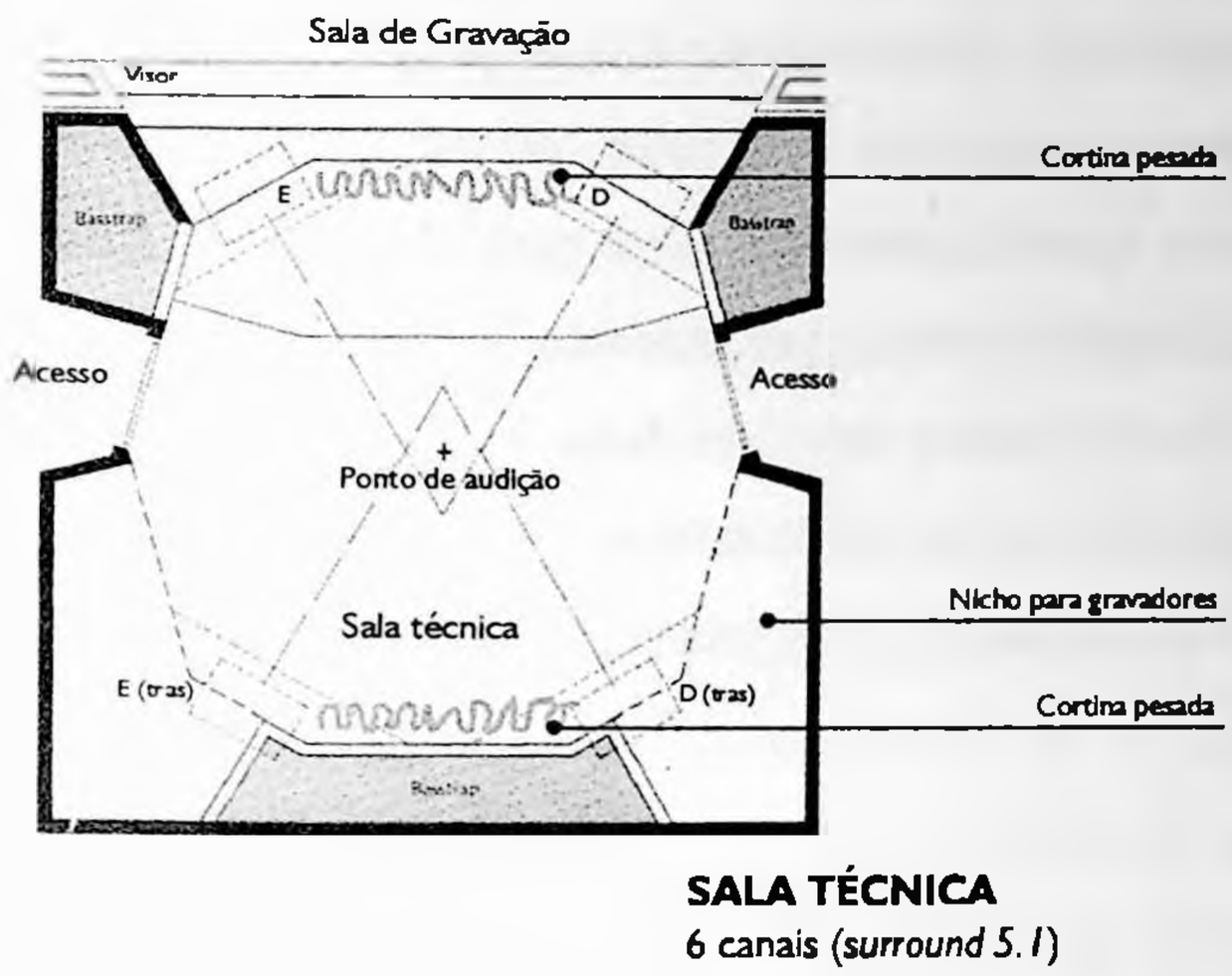


Figura 3.20: *Sugestão de Cooper (em planta) para a construção de uma sala técnica para mixagens em sistemas de mais de dois canais (seis, por exemplo), com cortinas pesadas à frente e atrás do técnico (Fonte: Cooper, 1976).*

Um outro aspecto bastante relevante, na opinião de vários autores, diz respeito ao posicionamento dos monitores (caixas acústicas) no interior da sala técnica, e sua relação com a posição do técnico e os demais elementos do mobiliário interno.

De acordo com COOPER (1976, p.157), "como a maioria dos cones dos alto-falantes convencionais tende a ser bastante direcional, principalmente aqueles destinados à reprodução de freqüências médias (*mid-ranges*) e altas (*tweeters*), o posicionamento dos monitores é capaz de interferir diretamente na percepção do engenheiro – ou técnico – durante o processo de mixagem. Se, por exemplo, o engenheiro estiver posicionado ligeiramente fora do eixo dos cones dos *mid-ranges* e *tweeters* – e, para isso, bastam 10 ou 20cm – ele não será capaz de ouvir com precisão todas as freqüências médias e altas presentes no material gravado. Assim, tentará 'compensar' essa falsa falta por meio da acentuação de determinadas freqüências na equalização, possivelmente comprometendo o resultado final".

Por essa razão, os monitores são posicionados de modo que seus eixos direcionais (geralmente perpendiculares à superfície frontal do monitor) fiquem focados no engenheiro.

COOPER (1976, p. 157) prossegue: "no caso dos monitores *nearfield* (também chamados de 'referência'), é recomendável que estejam exatamente na altura dos ouvidos de uma pessoa sentada, em geral entre 1,05m e 1,10m do piso. Já os monitores *midfield* podem ficar a uma distância maior e mais elevados em relação ao ponto de audição, desde que também estejam precisamente voltados para onde se posicionará o técnico. É sempre bom lembrar que essa linha imaginária traçada entre o ponto de audição e o monitor deve ser perpendicular à sua superfície frontal no centro do *tweeter*, responsável pela reprodução das freqüências mais altas e, portanto, mais direcionais" (Figura 3.21).

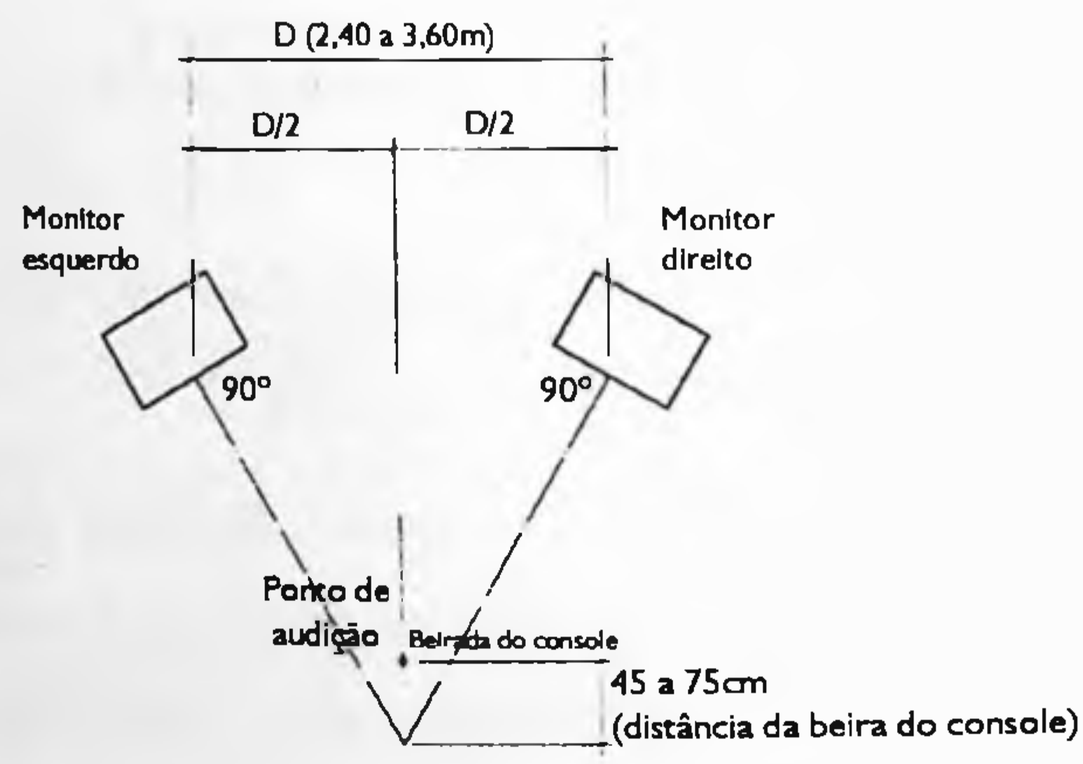


Figura 3.21: *Recomendação para o correto posicionamento dos monitores em salas técnicas (Fonte: Cooper, 1976).*

COOPER (1976, p.158) prossegue: "se a distância entre os monitores for a mesma entre cada um deles e o ouvinte, esses três pontos formam entre si um triangulo eqüilátero que, de acordo com a preferência da grande maioria de técnicos e engenheiros de áudio, é a situação ideal. Entretanto, não se trata de uma regra, mas de uma indicação de instalação, que é simplificada pela adoção de uma única dimensão para os três lados do triangulo. Diversos autores recomendam distâncias compreendidas entre 2,4m e 3,6m para separar o ponto de audição de cada monitor e, também, entre eles".

Distâncias maiores que 4m significam mais reverberação, maximizando as contribuições da sala e podendo distorcer a impressão do técnico. Distâncias menores que 2m não permitem a correta mistura dos sons provenientes dos diferentes componentes do monitor, quais sejam, *woofer*, *mid-range* e *tweeter*.

Segundo CIPRIANO (2001), "uma sala técnica para mixagens em seis canais, devidamente equipada, dispõe de seis monitores: canal esquerdo, canal direito, canal central, canal surround esquerdo, canal surround direito, e canal de baixas freqüências (ou *sub-woofer*). Para minimizar os efeitos criados pelo desalinhamento no tempo (fase), todos os monitores deverão ser posicionados ao redor de uma circunferência imaginária, cujo centro é o ponto de audição, que corresponde à posição do técnico. É recomendável que os monitores esquerdo e direito sejam posicionados em um ângulo de 30° em relação ao eixo de simetria da sala (com tolerância de +/- 7,5°), formando um ângulo de 60° entre eles (com tolerância de +/- 15°). O monitor do canal central deve estar localizado sempre à frente do técnico, sobre o eixo de simetria da sala. Os monitores traseiros (surround esquerdo e direito) devem ser posicionados em um ângulo de 110° em relação ao eixo de simetria da sala (com tolerância de +/- 10°). Todos os monitores deverão estar posicionados a 1,20m de altura, exceto o *sub-woofer*, que deve ficar no chão. Quando a altura dos monitores for superior a 1,20m em relação ao piso da sala, é recomendável que eles sejam inclinados em direção ao ponto de audição em até 15°. A distância *d* entre os dois monitores frontais (esquerdo e direito) deve ser tal que *2m<d<4m*" (Figura 3.22).

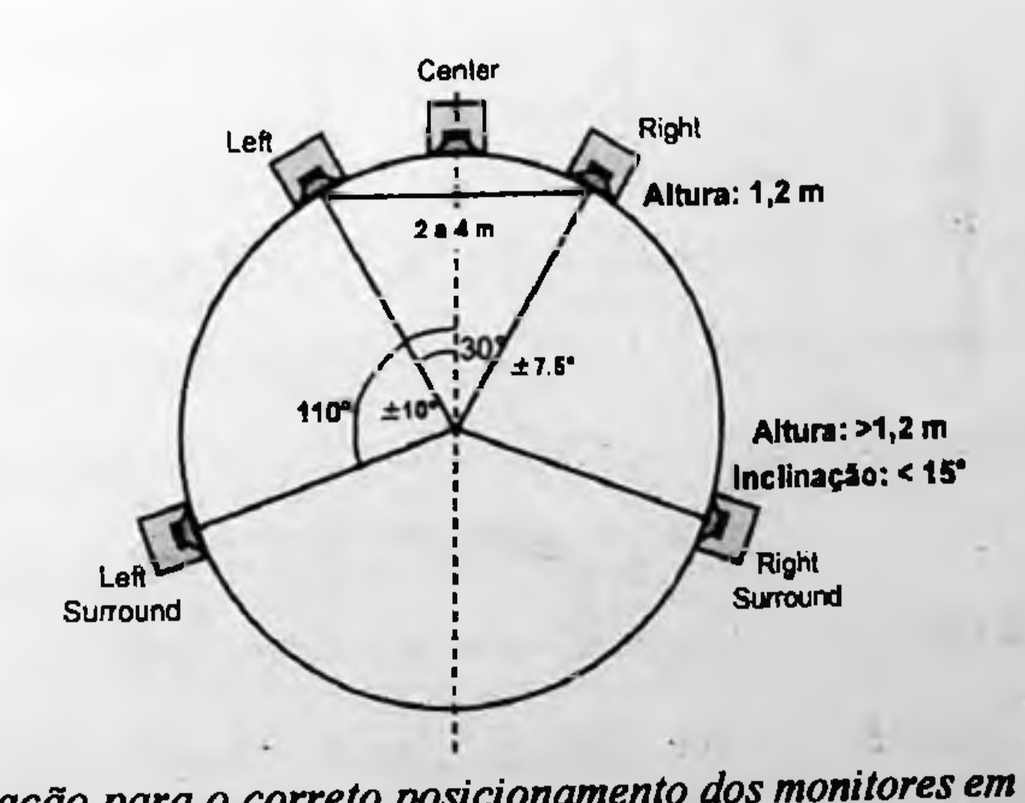


Figura 3.22: *Recomendação para o correto posicionamento dos monitores em salas técnicas para mixagens em seis canais – surround 5.1 (Fonte: Cipriano, 2001).*

Para COOPER (1976, p.160), "deve-se observar para que não haja qualquer barreira física entre os monitores e o ponto de audição. Móveis, objetos, e equipamentos devem ser instalados sem que bloqueiem o trajeto das ondas sonoras provenientes dos monitores, pois podem interferir na percepção do técnico. Os monitores podem ser embutidos, pendurados no teto ou suspensos por pedestais, e o seu desempenho acústico se altera de acordo como eles são fixados (Figura 3.23) pois, quando um alto-falante produz e irradia energia sonora num determinado ambiente, as freqüências mais altas, com comprimentos de onda menores, portanto mais direcionais, trafegam em linha reta. Já as baixas freqüências, cujos comprimentos de onda podem chegar a 12m, portanto menos direcionais, 'espalham-se' pelo ambiente antes de chegar ao ouvido do técnico. Parte dessa energia é absorvida e, portanto, perdida. Outra parte é imediatamente refletida pelas superfícies em volta do monitor e, eventualmente, direcionada para o ouvido do técnico, frações de segundo após o som direto. Esta combinação de som direto e som indireto provoca interferência de fases no sinal de baixa freqüência, prejudicando a percepção do técnico e, portanto, interferindo na mixagem. A solução para esse problema, muito comum em estúdios, é embutir os monitores, de modo que grande parte da energia, que seria perdida se os monitores não fossem embutidos, seja redirecionada para o ambiente, podendo aumentar a resposta do monitor em até 6 dB nas baixas freqüências".

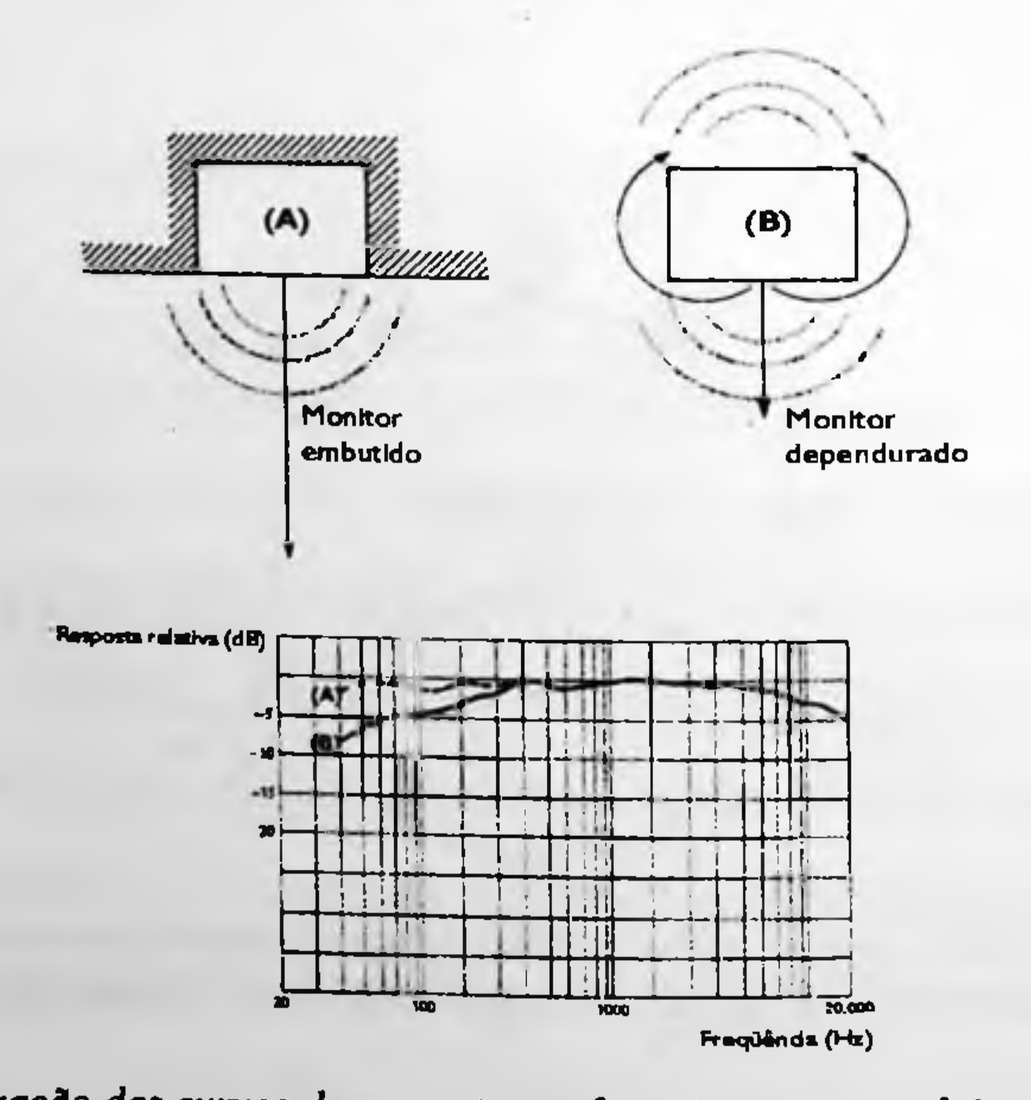


Figura 3.23: *Comparação das curvas de resposta em freqüências para dois monitores idênticos, na mesma sala, um deles (A) embutido, e o outro (B), dependurado (Fonte: Cooper, 1976)*

CIPRIANO (2001) é partidário do mesmo ponto de vista ao afirmar que "sempre que possível, os monitores deverão ser embutidos em paredes rígidas (Figura 3.24), para reduzir problemas de interferência (efeito SBIR[17]) e cancelamento de fase, além de maximizar a propagação dos sons de baixas freqüências".

Figura 3.24: *Detalhe de fixação e montagem de monitores embutidos (Fonte: Cipriano,2001).*

Ainda segundo CIPRIANO (2001), "se não for possível embutir os monitores, eles deverão ser montados em pedestais dotados de sistema antivibração, e devem ficar bem próximos às paredes da sala, a distâncias iguais ou menores que 1,5m, a fim de que eventuais perdas de energia sejam imediatamente redirecionadas para o ambiente, na forma de reforço do som original".

Como a resposta em freqüências da maioria dos monitores profissionais não é plena, a sua orientação em relação ao ponto de audição é fundamental para a perfeita compreensão do material gravado, pelo técnico.

3.5.6.3. A geometria da sala de masterização

A bibliografia disponível não estabelece parâmetros objetivos em relação à geometria da sala de masterização. Entretanto, por se tratar de um ambiente onde a qualidade da percepção sonora pode ser decisiva no resultado final do produto – no caso, o CD de música – não nos parece incorreto assumir alguns parâmetros discutidos anteriormente, relativos à geometria das salas técnicas.

[17] N. do A.: Sigla, em inglês, para o fenômeno chamado *Speaker Boundary Interference*

Como a quantidade de equipamentos e pessoas, na sala de masterização, costuma ser menor que na sala técnica, acreditamos que uma redução da ordem de 20% em seus volumes inicial e final seria aceitável. Desse modo, a partir de um ambiente ortogonal com um volume interno inicial entre 80 e 110m^3, chegaríamos a uma sala com volume interno final em torno de 55m^3. A exemplo da sala técnica, é recomendável que a proporção entre as dimensões da sala de masterização esteja dentro da área assinalada no "Gráfico de Bolt".

Outro aspecto importante a ser levado em consideração no projeto da sala de masterização trata de garantir que as ondas sonoras provenientes de fontes idênticas, localizadas dentro do ambiente, sejam refletidas da mesma forma, de modo que elas sejam percebidas com igual intensidade e com o mesmo intervalo de tempo em relação à sua emissão inicial, por quem estiver lá dentro. Ou seja, os sons provenientes dos monitores da sala de masterização – quer sejam dois (*stereo*) ou seis (*surround 5.1*) monitores – devem ser refletidos de maneiras idênticas pelas superfícies opostas a eles. E, para isso, a distância entre os monitores e as superfícies opostas a cada um deles deve ser, aproximadamente, a mesma. O material que compõe essas superfícies deve ser, igualmente o mesmo, o mesmo (Figura 3.25).

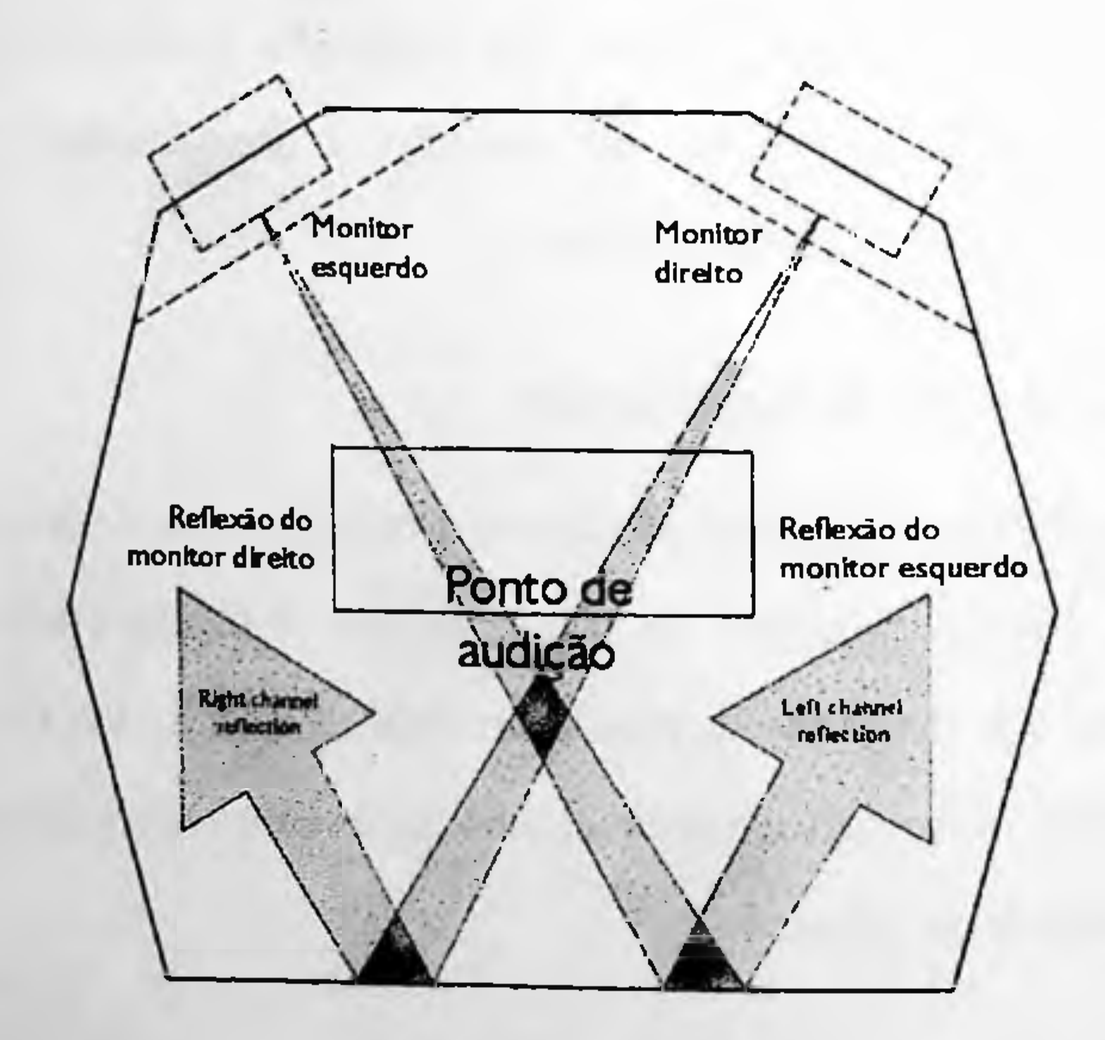


Figura 3.25: *Reflexões na sala de masterização devem ser dirigidas para fora do ponto de audição, para que não causem a perda da "imagem estereofônica", por parte do técnico (Fonte: Cooper, 1976).*

Assim como a sala técnica, a sala de masterização deve possuir, pelo menos, um eixo de simetria, para os discos estereofônicos. Para a masterização de discos em seis canais, é recomendável que a simetria da sala seja quadrilateral, para garantir a correta equalização e percepção espacial do som em todas as direções.

É recomendável, ainda, que os monitores estejam na altura dos ouvidos de uma pessoa sentada, até 1,20m acima do piso da sala. Nas salas de masterização em dois canais, a distância entre cada um dos monitores e o ouvinte, bem como a distância entre eles, deve ser a mesma, de modo que formem um triangulo eqüilátero entre si. Nas salas de masterização em seis canais, os monitores traseiros devem ser idênticos e manter a mesma posição geométrica em relação ao ouvinte que os dianteiros. Em ambos os casos, a exemplo das salas técnicas, essa distância não deve ser menor que 2,40m.

3.6. FILOSOFIAS DE PROJETO E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DOS AMBIENTES DO ESTÚDIO

Pelo que vimos até aqui, as definições em relação ao desenho dos ambientes do estúdio constituem-se, talvez, na etapa mais importante de todo o processo de projeto. E, obviamente, deve anteceder toda e qualquer ação sobre o imóvel.

Segundo COOPER (1976, p. 119), "nesse momento, os ambientes devem ser dimensionados e alocados de forma que os acessos e as circulações minimizem a perda de espaço interno, os instrumentos e equipamentos caibam em seus respectivos lugares e, principalmente, se possa determinar com alguma precisão todos os custos envolvidos na obra".

A exemplo de qualquer obra com características tão específicas, é recomendável que o projeto definitivo de arquitetura e acústica do estúdio compreenda o seguinte:

- os desenhos em planta, cortes, elevações, fachadas e detalhes construtivos de todos os pormenores que constituem a obra a ser executada;
- o detalhamento construtivo completo do tratamento acústico;
- o memorial descritivo detalhado;
- o caderno de especificações técnicas e catálogos de produtos; e
- a planilha de serviços, quantidades e preços unitários.

Os desenhos em planta, por sua vez, devem apresentar, de forma clara e em escala adequada, as seguintes informações:

- a localização da sala de gravação e da sala técnica;
- as paredes existentes, a construir e a demolir;
- os acessos e a localização de portas, janelas, ante-câmaras, etc.;
- os pontos de iluminação e as instalações elétricas, inclusive lógica e telefonia;

- as instalações de ar condicionado e as principais instalações de áudio;
- a localização dos principais instrumentos e equipamentos, como: piano, bateria, console e gravadores.

COOPER (1976, p. 119) prossegue: "uma vez que cada ambiente possui dimensões e características únicas e, por outro lado, as necessidades relativas a espaços e equipamentos mínimos variam de pessoa para pessoa, não há um modelo ideal de *lay-out* de estúdio que possa atender a todo mundo, assim como não há um único projeto de casa que seja ideal para todas as famílias. Cada estúdio representa um exercício de projeto, que leva em conta as necessidades individuais e preferências estéticas do(s) cliente(s), o espaço disponível, as necessidades acústicas, a variedade de usos aos quais o estúdio será submetido e, por fim, o orçamento disponível".

Por outro lado, a bibliografia disponível não apresenta parâmetros objetivos suficientes e confiáveis para a análise da qualidade acústica dos ambientes de estúdios de gravação de áudio já construídos, exceto o nível de ruído e o tempo de reverberação.

3.6.1. Filosofias de desenho de salas técnicas

Se as salas de gravação podem ser divididas em apenas três tipos (salas "vivas", com tempos de reverberação maiores, recomendadas para a gravação de orquestras, corais e instrumentos sem amplificação; salas "mortas", com tempos de reverberação menores, recomendadas para a gravação de pop, rock e instrumentos eletrônicos; e salas dotadas de "versatilidade acústica", cujo tempo de reverberação pode ser ajustado ao tipo de música que será gravada nela), o mesmo não acontece com as salas técnicas, que têm sido objeto de diversas propostas em relação ao seu desenho.

Para COOPER (1976, p.152), "projetar uma sala técnica dentro dos últimos avanços tecnológicos passou a ser um desafio para engenheiros e arquitetos. Paradoxalmente, não há uma solução que se mostre permanentemente eficiente. Novas propostas em termos de soluções tecnológicas surgem a cada dia e impõem mudanças e adaptações de projeto igualmente rápidas. E, para complicar um pouco mais, nem sempre a melhor solução

técnica de projeto é capaz de satisfazer às exigências físicas e psicológicas do ser humano, o que obriga o projetista a ser extremamente criativo nesse momento".

Desde que o homem passou a dominar o processo de gravação dos sons, seu principal objetivo sempre foi tornar o som gravado o mais próximo possível do som real. E, nesse processo, as características acústicas do ambiente onde se pode "controlar" essa relação de proximidade entre o som real e o som gravado têm grande importância. Daí, talvez, possamos explicar o surgimento das diversas filosofias de projeto de salas técnicas de estúdios de gravação.

3.6.1.1. Live

De acordo com WALKER (1995), "até a segunda metade dos anos 50 quando, em termos musicais, gravava-se, basicamente, orquestras e instrumentos sem amplificação, o projeto acústico das salas técnicas dos estúdios procurava criar um ambiente parecido com aquele em que a música seria reproduzida, como a sala de estar de uma residência comum. Como isso implicava em tempos de reverberação da ordem de 1s, e resultava num ambiente acusticamente 'vivo', as salas técnicas construídas com base nesta filosofia de projeto são chamadas de *Live*".

Segundo LORD *et al* (1986, p. 15), "durante a década de 50, as salas técnicas dos Estúdios Abbey Road possuíam tempos de reverberação da ordem de 0,58s, com pisos de borracha e pequenas superfícies revestidas com materiais absorventes de médias e altas freqüências, mas sem qualquer tipo de dispositivo de absorção de baixas freqüências".

3.6.1.2. Dead

Com o advento do rock e da música pop, as salas técnicas tiveram que ser adaptadas para trabalhar com a sonoridade dos novos instrumentos: guitarra e contrabaixo elétrico, bateria e órgão eletrônico produzem altos níveis sonoros, o que tornou necessário reduzir os tempos de reverberação a níveis bastante baixos (em torno de 0,3s).

Segundo PARRY (1998), "os projetos das salas técnicas, no início dos anos 60, limitavam-se a reduzir bastante o seu tempo de reverberação e a controlar algumas anomalias acústicas, como o eco-palpitante".

Esta filosofia de projeto, chamada de *Dead*, posto que resulta num ambiente acusticamente "morto", predominou até o advento do som estereofônico (2 canais), no início da segunda metade dos anos 60 (Imagem 3.21).

Imagem 3.21: *Sala técnica com piso acarpetado, paredes e teto revestidos em espuma perfilada, exemplo de ambiente construído a partir da filosofia de projeto chamada "Dead"*
(Fonte: Raptor Studios, USA).

LORD *et al* (1986, p.15) descreve a experiência dos Estúdios Abbey Road: "durante os anos 60, o tempo de reverberação das salas técnicas dos estúdios foi reduzido para 0,4s, mas os pisos de borracha permaneceram. No início dos anos 70, o tempo de reverberação foi reduzido para 0,3s, por intermédio da substituição dos pisos de borracha por carpete".

3.6.1.3. Live-End-Dead-End (LEDE)

A partir do final do início dos anos 70, as mixagens em dois canais foram adotadas como padrão em todo o mundo e, de acordo com PARRY (1998), "foi a partir daquele momento (quando se passou a valorizar a imagem estereofônica, ou seja, a divisão do som gravado em dois canais) que as interferências causadas por reflexões sonoras em superfícies e objetos colocados no ambiente da sala técnica tornaram-se bem mais perceptíveis e, por isso, indesejáveis. Inicialmente, os estúdios profissionais tentaram se adaptar a essa nova realidade, reduzindo ainda mais os tempos de reverberação de suas salas técnicas, sem sucesso".

Acontece que o trabalho dos técnicos num ambiente cujas características acústicas se aproximavam às de uma câmara anecóica era estressante. Muitos profissionais se queixavam de que era impossível permanecer ali dentro por mais de 20 minutos ou meia-hora corrida, sem uma pequena pausa.

Segundo LORD *et al* (1986, p.15), "no final dos anos 70, uma das salas técnicas de Abbey Road teve seu tempo de reverberação reduzido a 0,22s, por meio do acréscimo de materiais e dispositivos de absorção sonora. Entretanto, essa experiência não foi bem-sucedida, devido à sensação de claustrofobia e ao stress decorrente do trabalho em um ambiente com características quase anecóicas".

De acordo com PARRY (1998), "como as experiências com tempos de reverberação excessivamente baixos não lograram sucesso, a partir da segunda metade dos anos 70, diversos estúdios tentaram se adaptar a uma filosofia de projeto que previa superfícies altamente reflexivas na frente do técnico, e altamente absorventes atrás dele, com resultados pouco animadores".

DAVIS *et al* (1980), desenvolveu a filosofia de projeto conhecida como *LEDE – Live End Dead End*, que tem como objetivo estender o intervalo de tempo entre o som original e as suas primeiras reflexões, de modo que o cérebro possa distinguir um do outro, e ignorar tais reflexões. Em linhas gerais, o resultado seria uma sala absolutamente neutra, onde aquilo que ali se ouviria seria exatamente o mesmo que se poderia ouvir em qualquer outra sala projetada sob a mesma filosofia.

Entretanto, para PARRY (1998), "esse resultado só é possível se as superfícies à frente do ponto de audição da sala – ou seja, o local onde se situa o técnico – forem revestidas com materiais altamente absorventes, e as superfícies atrás desse ponto, com materiais reflexivos e difusores. A maior dificuldade, no entanto, consiste em conciliar a presença da grande superfície de vidro (que é altamente reflexivo) do visor que separa a sala técnica da sala de gravação – localizado geralmente, na parede à frente do operador – com a necessidade de absorção completa justamente nessa parte do ambiente".

Muitas salas técnicas, em todo o mundo, foram construídas baseadas nesta filosofia.

3.6.1.4. Reflection Free Zone (RFZ)

Visando tirar partido da ampla superfície de vidro à frente do técnico, e das reflexões dela decorrentes, o conceito *LEDE* deu origem a uma outra filosofia de projeto chamada de *RFZ – Reflection Free Zone*, cujo principal objetivo é criar uma área livre de reflexões em torno do ponto de audição. De acordo com essa filosofia de projeto, descrita por PARRY (1998), "as reflexões do vidro e demais superfícies duras da sala técnica devem ser direcionadas para superfícies altamente absorventes" (Figura 3.26).

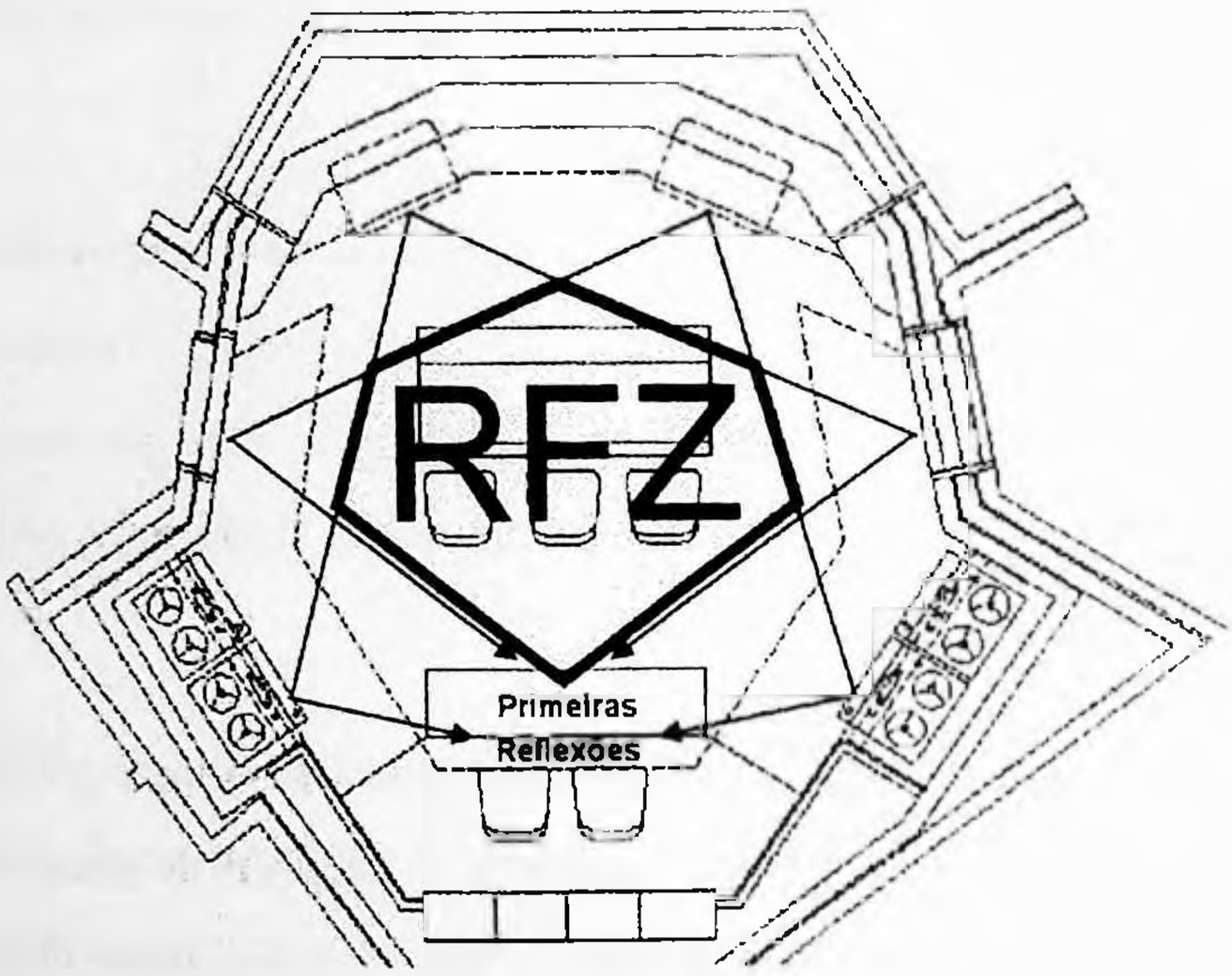


Figura 3.26: *Representação esquemática (em planta) do efeito das primeiras reflexões em uma sala técnica projetada a partir da filosofia de projeto chamada "RFZ" (Fonte: Cipriano, 2001)*

Com isso, teoricamente, resolvia-se o dilema da interferência da superfície envidraçada do visor, instalada em uma área, entre as fontes sonoras (os monitores) e o técnico, que deveria ser efetivamente anecóica de acordo com a proposta de DAVIS *et al* (1980).

Ainda segundo PARRY (1998), "para garantir o desempenho acústico esperado de uma sala técnica concebida segundo a filosofia de projeto *RFZ*, é necessário que o técnico se posicione no lugar correto e que o ambiente não possua quaisquer tipos de móveis, instrumentos ou equipamentos atrás do ponto de audição".

Ambas as filosofias – *LEDE* e *RFZ* – têm o mesmo objetivo: garantir que a sala não acrescente nenhuma de suas características ao sinal gravado. E isso só é possível mediante a certeza de que nenhuma das primeiras reflexões chega aos ouvidos do técnico.

3.6.1.5. Early Sound Scattering (ESS)

Para PARRY (1998) "uma alternativa lógica às filosofias *LEDE* e *RFZ* consiste na construção de uma sala onde as primeiras reflexões são tão bem distribuídas, que o ambiente não é capaz de acrescentar nenhuma delas ao sinal original".

Essa filosofia de projeto é chamada de *ESS – Early Sound Scattering*, e prevê uma sala dotada de uma superfície frontal altamente difusora, que se encarrega de "espalhar" as primeiras reflexões. Assim, apesar de ser um ambiente mais "vivo", a sala deverá possuir uma resposta em freqüências plana e uma boa imagem do som estereofônico (Imagem 3.22).

Imagem 3.22: *Sala técnica construída a partir da filosofia de projeto chamada "ESS" (Fonte: FM Studio Design, USA).*

3.6.1.6. Controlled Image Design (CID)

Nessa mesma linha de raciocínio, uma outra filosofia de projeto foi desenvolvida em meados dos anos 90, chamada *CID – Controlled Image Design*, cujo objetivo é direcionar – ao invés de espalhar – todas as primeiras reflexões para "fora" de uma determinada área onde estaria o ponto de audição da sala, de modo a garantir o controle da imagem do som estereofônico ao técnico.

Segundo WALKER (1995), "para que obtenhamos os resultados desejados na construção de uma sala técnica a partir da filosofia de projeto chamada *CID*, as superfícies à frente do técnico devem ser refletoras e inclinadas em ângulos cuidadosamente planejados, de modo a assegurar que todas as primeiras reflexões sejam direcionadas para fora da área de audição".

3.6.2. Parâmetros de avaliação da qualidade acústica dos ambientes de estúdios de gravação

A bibliografia disponível estabelece poucos parâmetros objetivos para o projeto de estúdios e salas de gravação. O nível de ruído no interior da sala (PNC) [Beranek, Blazier & Figwer, 1971] e o seu tempo de reverberação (RT60) [Beranek, 1962; Schröeder, 1965; Polack, 1992] são os parâmetros comumente apresentados como definidores da qualidade acústica de um estúdio, e que devem ser buscados ainda na fase de projeto. Posteriormente, quando se pretende avaliar a qualidade acústica desses ambientes depois de construídos – principalmente das salas técnicas – os parâmetros são os mesmos e se mostram insuficientes.

EVEREST (1994), por exemplo, destaca que as principais necessidades acústicas dos ambientes de um estúdio dizem respeito ao seu nível de ruído de fundo, ao seu tempo de reverberação, e à sua capacidade de reflexão e difusão sonora de forma adequada. Nível de ruído e tempo de reverberação podem ser estimados numericamente durante a fase de projeto, e verificados – também numericamente – depois da obra construída, por meio de equipamentos. Em se tratando da capacidade de reflexão e difusão da sala, esse referencial numérico não existe.

Os seis critérios propostos por RANDALL *et al* (1960), para avaliação da difusão sonora em ambientes fechados, se aplicam perfeitamente a grandes espaços. De acordo com EVEREST (1994), o mesmo não acontece quando se trata de ambientes com dimensões menores, como aqueles que fazem parte da maioria dos estúdios de gravação. Nestes casos, é recomendável buscar *a priori* condições favoráveis à difusão sonora, por intermédio da forma da sala, do não-paralelismo entre superfícies opostas, das irregularidades geométricas e da disposição dos materiais absorventes.

Mesmo o EDT *(Early Decay Time)*[18], proposto por JORDAN (1980), que tem demonstrado ser um parâmetro mais correlacionado com a sensação auditiva em salas para a música e para a palavra falada, não tem sido levado em conta pela maioria dos autores no que se refere à análise de ambientes em estúdios de gravação.

Diversos fatores influenciam o resultado acústico de um ambiente. Controlar estes fatores é, portanto, fundamental quando se trata de espaços com necessidades acústicas tão específicas, como é o caso dos estúdios de gravação profissional, particularmente as suas salas técnicas.

D'ANTONIO *et al* (1997) aponta esses fatores como sendo: "a qualidade do equipamento de gravação e reprodução do som, a qualidade e o posicionamento dos alto-falantes, a capacidade auditiva do ouvinte, seu posicionamento no ambiente, o nível de ruído de fundo, as dimensões da sala, os materiais de revestimento de suas superfícies internas, e sua ocupação (móveis, instrumentos, pessoas)".

Em boa parte das situações que pudemos observar, ao longo de mais de dez anos tratando do assunto, a grande maioria dos projetos de estúdios de gravação não leva em conta os fatores apontados por D'ANTONIO *et al* (1998) de forma integrada, mas de maneira isolada, sem prestar atenção às interações entre eles.

3.6.2.1. Parâmetros subjetivos

Quando se trata de caracterizar ambientes com necessidades acústicas tão específicas (como é o caso das salas de gravação, das salas técnicas e das salas de masterização, por exemplo), a grande maioria dos autores recorre a uma terminologia muito subjetiva e, por isso, pouco esclarecedora, que dificulta a compreensão daquilo que realmente se espera desses espaços.

Como os termos utilizados, via de regra, estão relacionados com sensações do ser humano (como "calor", "brilho", etc.) sem, no entanto, qualquer referencial numérico

[18] N. do A.:Early Decay Time (EDT) é uma medida modificada do Tempo de Reverberação (T_{60}). Enquanto o tempo de reverberação pode ser definido como o tempo necessário para que o som decaia de 60dB, o Early Decay Time é o tempo necessário para que o som decaia de 10dB, multiplicado por 6, para extrapolar o resultado na forma do decaimento de 60dB.

para quantificar tais sensações, a análise do desempenho acústico de ambientes de estúdios de gravação, depois de construídos, é igualmente subjetiva.

Segundo COOPER (1976, p. 175), "saber como a sala de gravação está 'soando', e se o som, na sala técnica, está fiel ao material gravado, são as principais curiosidades de quem acabou de construir um estúdio. Nesse momento, nos esquecemos das fórmulas e dos detalhes construtivos, para ouvir e perceber as nuances acústicas das salas".

Para descrever a sala técnica ideal, COOPER (1976, p.175) utiliza uma terminologia que não deixa dúvidas em relação ao que estamos dizendo: "uma sala técnica com desempenho acústico excelente deve ser 'transparente' e isenta de quaisquer tipos de reforço ou coloração. Ela deve ser capaz de reproduzir grandes massas de polifonia, permitindo ao ouvinte identificar cada instrumento individualmente. Os sons graves devem ser 'potentes', 'sólidos' e 'marcantes', enquanto os sons médios e agudos devem ser 'delicados', 'brilhantes' e 'definidos', de modo que instrumentos e vozes soem claramente isolados e distintos, porém de forma coesa. (...) a percepção do som estereofônico deve ser precisa o suficiente para que os 'movimentos' horizontais resultem em 'imagens sonoras' exatas e bem definidas. (...) a resposta da sala nas altas-freqüências deve ser 'suave', quase plana".

A subjetividade do autor fica clara quando ele lança mão de termos como "transparente" e "suave" para descrever a sala ideal; ou, "potentes", "sólidos" e "marcantes", para descrever a expectativa em relação aos sons de baixas freqüências; ou, ainda, "delicados", "brilhantes" e "definidos", para descrever a expectativa em relação aos sons de médias e altas freqüências.

O próprio COOPER (1976, p.175) conclui: "nada melhor do que o ouvido humano, combinado a um bom microfone, para atestar as qualidades acústicas de um estúdio. Por isso, é recomendável manter um pouco do material utilizado na obra guardado até o início do funcionamento do estúdio, para o caso de ser necessário acrescentar absorção à sala. Se isso não for possível, um bom tapete – ou uma cortina grossa – pode dar conta de equilibrar a absorção do ambiente e eliminar aquelas últimas e indesejáveis colorações".

O parágrafo acima demonstra, de maneira clara e inequívoca, o quão subjetiva pode ser a análise de um ambiente que, mesmo projetado e construído sob parâmetros conhecidos e tidos como aceitáveis, ainda é passível de um "ajuste final", que pode ser feito por meio da colocação de um tapete ou da instalação de uma cortina, por exemplo.

3.6.2.2. Parâmetros objetivos

De acordo com SIEBEIN *et al* (1999), "diversos indicadores da qualidade acústica de salas de grandes dimensões podem ser calculados a partir de sua resposta impulsiva[19]. Todos os indicadores são derivados de *p(t)*, ou seja, a pressão sonora ao longo do tempo, medida em diversos pontos de um mesmo ambiente, por intermédio de uma fonte sonora e um microfone".

Tempo de Reverberação (RT_{60}): é o tempo para que o nível de um som diminua de 60 dB, a partir do instante de sua emissão, num determinado ambiente, expresso em segundos.

Early Decay Time (EDT_{10}): é o tempo necessário para que o som decaia de 10dB, multiplicado por 6, cujo resultado é extrapolado para uma curva representando o seu decaimento de 60dB. Este índice foi proposto por JORDAN (1980) baseado em pesquisas anteriores que o levaram a concluir que "a parcela final da reverberação de um som a partir de um impulso específico, tanto musical quanto relativo à palavra falada, é imediatamente ocultada pelos sinais subseqüentes, assim que ele decai dos primeiros 10dB".

Um estudo de CERVONE *et al* (1990) demonstrou uma relação bastante significativa entre o EDT_{10} e as impressões acústicas de um modo geral, na opinião de espectadores, em apresentações de música ao vivo.

Early-to-late Energy Ratios (El): é uma proporção logarítmica obtida a partir da resposta impulsiva da sala, entre a energia inicial (som direto) medida no intervalo de

[19] N. do A.: A resposta impulsiva de uma sala é uma maneira de demonstrar graficamente a amplitude, o tempo de chegada, os componentes da freqüência, a direção de chegada do som direto e de todas as reflexões da sala subseqüentes a ele, a partir de uma fonte sonora e um microfone específicos.

tempo entre $t=0$ e $t=t$, e a energia final (som reverberante) medida no intervalo de tempo entre $t=t$ e $t=\infty$.

Segundo SIEBEIN *et al* (1999), "o valor de t comumente utilizado no cálculo é de 80ms, e o resultado é chamado de índice de 'claridade' da sala, representado pela letra C ou C_{80}".

De acordo com CREMER *et al* (1982), "esse índice foi desenvolvido por REICHARDT *et al* (1975) baseado (1) na hipótese de que a clareza da palavra falada depende de níveis de energia sonora 'úteis', ou seja, aqueles compreendidos no intervalo de tempo entre $t=0ms$ e $t=50ms$, e (2) nas observações de que 80ms se constituiria como o valor-limite para a percepção de música".

No entanto, para CERVONE *et al* (1990), "o índice C_{80} tem-se mostrado significativamente correlacionado ao EDT_{10}".

O índice C é obtido por intermédio da seguinte fórmula:

$$C_t = 10 \log \frac{E_{i(0 \to t)}}{E_{f(t \to \infty)}}$$

Onde:

E_i é a energia sonora inicial, no período de tempo compreendido entre $t=0$ e $t=t$;

E_f é a energia sonora final, no período de tempo compreendido entre $t=t$ e $t=\infty$;

Relative Loudness (L) ou ***Relative Strenght (G):*** é definido como o nível de energia sonora num determinado ponto (em geral, uma poltrona) de uma sala, em relação ao nível de energia sonora obtido a 10m da mesma fonte instalada em um ambiente anecóico. De acordo com GADE (1989), "este índice mede a contribuição efetiva das primeiras reflexões e da reverberação, à potência do som em um ambiente, e foi utilizado pela primeira vez em 1985, com o objetivo de estimar a sensação de potência sonora em pontos diversos de um mesmo ambiente".

O índice L (ou G) é obtido por intermédio da seguinte fórmula:

$$G = 10 \log \frac{L_p}{L_{a(10\,m)}}$$

Onde:

L_p é a intensidade sonora medida num determinado ponto da sala, a partir de uma fonte qualquer;

$L_{a\ (10m)}$ é a intensidade sonora medida a 10m de distância da mesma fonte sonora instalada em um ambiente anecóico.

Bass Ratio based on EDT: de acordo com SIEBEIN *et al* (1999), "este índice foi proposto pela primeira vez por BERANEK (1962), e utilizava as informações do tempo de reverberação (RT60) por banda de freqüências, para avaliar o timbre (ou balanço tonal) de um ambiente, especialmente o seu 'calor'. CHIANG (1994) propôs a substituição de RT_{60} por EDT_{10} e, atualmente, o índice é obtido por intermédio da relação entre (1) a soma dos *EDT*s em 125Hz e 250Hz dividida pela (2) soma dos *EDT*s em 500Hz e 1000Hz, assim:

$$BR\,(EDT\,) = \frac{EDT_{125\ Hz} + EDT_{250\ Hz}}{EDT_{500\ Hz} + EDT_{1000\ Hz}}$$

Treble Ratio based on EDT: de acordo com SIEBEIN *et al* (1999), "este índice foi proposto pela primeira vez por CHIANG (1994) para avaliar o timbre (ou balanço tonal) de um ambiente, especialmente o seu 'brilho', e é obtido por intermédio da relação entre (1) a soma dos *EDT*s em 2000Hz e 4000Hz dividida pela (2) soma dos *EDT*s em 500Hz e 1000Hz", assim:

$$TR\,(EDT\,) = \frac{EDT_{2000\ Hz} + EDT_{4000\ Hz}}{EDT_{500\ Hz} + EDT_{1000\ Hz}}$$

Early Inter-Aural Cross Correlation Coeficient ($IACC_{80}$): o índice *IACC* mede a diferença relativa entre mesmos sons percebidos pelos ouvidos direito e esquerdo do ser humano, num ponto determinado de uma sala. Segundo SIEBEIN *et al* (1999), "este índice é chamado de *Early Inter-Aural Cross Correlation Coeficient* ($IACC_E$ ou $IACC_{80}$) se o intervalo de tempo utilizado na apropriação dessa diferença estiver compreendido entre 0s e 80ms". Para ANDO (1985) e BERANEK (1992), o $IACC_{80}$ está diretamente relacionado à sensação de "espacialidade" da sala.

Lateral Energy Fraction (LEF): é um índice obtido por meio da proporção obtida entre (1) a energia sonora integrada nos primeiros 80ms após o som direto, em ambos os lados (ouvidos) de um espectador hipotético, dividida pelo (2) nível total de energia sonora nos mesmos 80ms, medido no mesmo ponto. De acordo com BARRON *et al* (1981), "o índice *LEF* está supostamente correlacionado à sensação da 'impressão espacial' por parte dos espectadores, sendo que valores mais elevados de *LEF* corresponderiam a uma maior sensação de 'impressão espacial' do ambiente".

O índice *LEF* é obtido por intermédio da seguinte fórmula:

$$LEF = \frac{E_{l(t=0\,ms \rightarrow t=80\,ms)}}{E_{t(t=0\,ms \rightarrow t=80\,ms)}}$$

Onde:

E_l é a energia sonora correspondente às primeiras reflexões laterais;

E_t é a energia sonora correspondente a todas as primeiras reflexões.

Support (ST_1): é um índice proposto por GADE (1989), para medir o "apoio" ou o "suporte" que o som refletido pelas superfícies do palco dá aos músicos que lá estão se apresentando. Segundo SIEBEIN *et al* (1999), "o ST_1 está diretamente relacionado à sensação de 'conjunto' e 'balanço' entre os músicos, no palco. Em seu cálculo, a fonte sonora deve ser colocada em três diferentes posições: na posição do solista; no centro do naipe de cordas, à direita do maestro; e no extremo esquerdo da segunda fileira do naipe dos instrumentos de sopro".

Além das três medições descritas acima, feitas a partir de cada uma das diferentes posições da fonte, uma quarta medição é feita a partir de um ponto qualquer, acima do nível do piso do palco. A partir de seus estudos, GADE (1989) concluiu que os valores ideais de ST_1 seriam aqueles da ordem de –12dB (+/-1dB), e obtidos a partir da seguinte fórmula:

$$ST_1 = 10 \log \frac{E_r}{E_d}$$

Onde:

E_r é a energia sonora refletida pelas superfícies do palco, em pontos específicos;

E_d é a energia sonora direta.

De acordo com SIEBEIN *et al* (1999), "tais parâmetros têm sido cada vez mais utilizados no processo de projeto de salas de espetáculos, auditórios e teatros. Entretanto, ainda há muito a ser pesquisado, com o intuito de estabelecer de uma forma mais precisa quais as decisões do projeto de arquitetura que – realmente – interferem na resposta impulsiva em pontos diferentes de uma sala, e o quanto a resposta impulsiva da sala efetivamente contribui para o resultado das qualidades acústicas percebidas pelos espectadores".

BISTAFA (2002) conduziu um trabalho em que oito teatros da cidade de São Paulo foram medidos segundo quatro – dos nove – parâmetros objetivos descritos por SIEBEIN *et al* (1999) – RT_{60}, EDT_{10}, C_{50}, e ST_1 – além de um quinto parâmetro *S*, denominado *speech sound level* (em português: nível sonoro da palavra falada). A principal conclusão desse trabalho é que "os resultados obtidos nos oito teatros reiteram as recomendações de BARRON (1993) para o projeto de salas com proscênio".

As pesquisas feitas nos últimos cinco anos, com base nos parâmetros descritos por SIEBEIN *et al* (1999), têm-se concentrado em grandes ambientes, como teatros, auditórios, templos e igrejas. No entanto, alguns desses parâmetros objetivos, associados a sensações subjetivas, poderiam subsidiar um eventual trabalho de investigação dessa

relação em ambientes menores, como aqueles que compõem a maioria dos estúdios de gravação. A Tabela 3.06 apresenta um resumo comparativo dessas sensações subjetivas e seus parâmetros objetivos correspondentes:

Sensação subjetiva	*Características arquitetônicas*	*Descrição do evento*	*Parâmetros objetivos*
Envolvimento	Salas com platéias de até 25m de profundidade, e vários níveis de balcões igualmente estreitos	Primeiras reflexões laterais chegando ao ouvinte em até 80ms após o som direto	$LEF < 0{,}40$
Claridade	Forro e paredes inclinados e construídos com materiais refletores	Reflexões sonoras que chegam rapidamente ao ouvinte, logo após o som direto	C_{80}
Ambiência	Salas de formato retangular com grande volume interno, superfícies revestidas com materiais refletores, e existência de elementos de direcionamento das reflexões sonoras	Prolongamento do som no interior do ambiente	$1{,}8s < RT_{60} < 2{,}2s$
Potência	Sala com capacidade entre 1000 e 2000 espectadores, proximidade da fonte sonora e visibilidade do palco	Reflexões sonoras do forro e das laterais que chegam rapidamente ao ouvinte, logo após o som direto	G (ou L)
Intimidade	Orquestra situada dentro do mesmo ambiente que a platéia (ex: Sala São Paulo)	Chegada das primeiras reflexões imediatamente após o som direto	*Initial Time Delay Gap (ITD)* < 20ms
Calor	Sala construída com materiais duros e pesados	Persistência (ou tempo de reverberação maior) dos sons de baixas freqüências	$BR(EDT) > 1{,}0$
Brilho	Sala construída com materiais duros e pesados	Persistência (ou tempo de reverberação maior) dos sons de altas freqüências	$TR(EDT) > 1{,}0$
Espacialidade	Salas com grande volume interno e superfícies com desenhos e texturas que favorecem a difusão do som	Energia sonora refletida que chega aos ouvintes após 80ms	$IACC < 0{,}50$
Conjunto	Teto e laterais do palco construídas com superfícies refletoras	Reflexões que permitem que os músicos escutem uns aos outros durante as apresentações	$-13dB < ST_1 < -11\ dB$

Tabela 3.06: *Resumo das sensações subjetivas em salas, com a descrição de como elas são percebidas, das características arquitetônicas provavelmente responsáveis por essas sensações, e quais os parâmetros objetivos associados a cada uma delas (Fonte: Siebein & Gold, 1997).*

Evidentemente que nem todos os parâmetros apresentados na tabela acima seriam adequados à análise da qualidade acústica dos ambientes de um estúdio. Alguns deles, porém, nos parecem relacionados com algumas das sensações subjetivas descritas pelos diversos autores, em relação à qualidade acústica de ambientes de estúdios de gravação.

O ST_1 pode estar relacionado a uma maior ou menor sensação de "conjunto" dos músicos tocando seus instrumentos durante uma sessão de gravação. O *BR(EDT)* e o *TR(EDT)* podem estar relacionados com as sensações de músicos tocando na sala de gravação, ou dos engenheiros e produtores na sala técnica. E o *ITD*, por sua vez, também pode estar relacionado à qualidade da percepção sonora na sala técnica.

Referências bibliográficas

1. ALDRED, John. "Manual of sound recording", 2nd edition, Fountain Press Ltd., London, UK (1971).
2. ANDO, Y. "Concert hall acoustics". Springer, Berlim, Germany (1985).
3. ARAU-Puchades, H. "An improved reverberation formula". In: Acustica, Vol. 65, nº 4, pp 163-180 (1988).
4. BARRON, M. & Marshall, A. H. "Spatial impression due to Early Lateral Reflections in concert halls: the derivation of a physical measure". In: Journal of Sound and Vibration, nº 77, pp 211-232 (1981).
5. BARRON, M. "Auditorium acoustics and architectural design". E & Fn Spon, London, UK (1993).
6. BERANEK, Leo Leroy. "Music, acoustics and architecture". John Willey & Sons, Inc., USA (1962).
7. BERANEK, Blazier and Figwer. "Preferred Noise Criterion (PNC) curves and their application to rooms", In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 50, pp 1223-1228 (1971).
8. BERANEK, Leo Leroy. "Concert hall acoustics". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 92, pp 01-39 (1992).
9. BISTAFA, Sylvio R. "The acoustics for speech of eight auditoriums in the city of São Paulo". First Pan-American/Iberian meeting on acoustics, Cancún, MX (2002).
10. BOLT, R. H. "Note on normal frequency statistics for rectangular rooms". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 18, nº 1, pp 130-133 (1946).
11. BONELLO, O. J. "A new criterion for the distribution of normal room modes". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 29, pp 597-606 (1981).
12. BONER, C. P. "Performance of broadcast studios designed with surfaces of plywood". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 13, pp 244-247 (1942).

13. CERVONE, Richard. "Subjective and objective methods for evaluating the acoustical quality of buildings for music". Master's thesis. University of Florida, Gainesville, FL (1990).

14. CERVONE, R. P., Chiang, W., Siebein, G. W., Doddington, H. & Schwab, W. "The subjective and objective evaluation of three rooms for music listening". In: Journal of the Acoustical Society of America, Supplement 1, Vol. 88, 120th JASA Meeting, San Diego, CA (1990).

15. CHIANG, W. "Effects on architectural parameters on six acoustical measures in auditoria". Ph.D. Dissertation, University of Florida, Gainesville, FL (1994).

16. CIPRIANO, Renato. "Acústica para salas de controle em surround". In: Áudio, música & tecnologia, nº 121, pp 96-102 (2001).

17. COHEN, Elizabeth & Fielder, L. "Determining noise criteria for recording environments". In: Journal of the Audio Engineering Society, Vol.40, nº 5 (1992).

18. COOPER, Jeff. "Building a recording studio", 5th edition 1996, Synergy Group Inc., Los Angeles (1976).

19. CREMER, L. & Müller, H. A. "Principles and applications of room acoustics". Vols. 1 e 2 (English version), Applied Science, New York, NY (1982).

20. DAVIS, Don & Davis, Chips. "The LEDE concept for the control acoustic and psychoacoustics parameters in control rooms". In: Journal of the Audio Engineering Society, Vol.28, nº 9, pp 585-595 (1980).

21. EGAN, M. D. "Architectural acoustics".McGraw-Hill, New York, NY (1987).

22. ELSEA, Peter. "Tratamiento acustico para el project studio". In: MIX Magazine en español, NovDec/97, pp 20-27 (1997).

23. EVEREST, F. A. & Shea, M. "How to build a small budget recording studio from scratch – 2nd edition (1988)", Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1979).

24. EVEREST, F. Alton. "The master handbook of acoustics – 3rd edition", Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1994).

25. EYRING, C. F. "Reverberation time in dead rooms". In: Journal of the Audio Engineering Society, Vol.21, pp 69-82 (1932).

26. FITZROY, D. "Reverberation formulae which seems to be more accurate with non-uniform distribution of absorption". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol.31, pp 893-897 (1959).

27. GADE, A. C. " Acoustical survey of eleven European concert halls". Report #44, The acoustics laboratory, Technical University of Denmark, Copenhagen (1989).

28. GILFORD, C. L. S. "The acoustic design of talk studios and listening rooms". Institute of Electronics and Engineering, Vol. 106B, pp. 245-258 (1959).

29. JORDAN, V. L. "Acoustical design of concert halls and theaters". Applied Science, London, UK (1980).

30. KUTTRUFF, H. "Nachhall und effective absorption in räumen mi diffuser wandreflexion". In: Acustica, Vol. 35, nº 3, pp 141-153, (1976).

31. KUTTRUFF, H. "Room acoustics - 3rd edition". Elsevier Science Publishers, Ltd. (1991).

32. LORD, Peter & Templeton, Duncan. "The architecture of sound: designing places of assembly". The Architectural Press, London, UK (1986).

33. LOUDEN, M. M. "Dimension ratios of rectangular rooms with good distribution of eigentones". In: Acustica, Vol. 24, pp 101-103 (1971).

34. MANKOWSKY, V. S. "Acoustics of studios and auditoria". Focal Press, Ltd., London, UK (1971).

35. McCARTHY, Bob. "Factores acusticos: reflexiones". In: MIX Magazine en español, SetOut/98, pp 36-42 (1998).

36. MILLINGTON, G. "A modified formula for reverberation" In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 4, pp 69-82 (1932).

37. NEUBAUER, Reinhard O. "Prediction of reverberation time in rectangular rooms with non uniformly distributed absorption using a new formula". TecniAcustica 2000, Madrid, Spain (2000).

38. NEWELL, Phillip. "Recording spaces". Focal Press (a division of Reed Educational and Professional Publishing, Ltd.), Woburn, MA (1998).

39. PARRY, Andrew. "Early sound scattering & studio control room design", Sound On Sound Ltd., Cambridge (1998).

40. RANDALL, K. E. & Ward, F. L. "Diffusion of sound in small rooms". Institute of Electronics and Engineering, Vol. 107B (1960).

41. REICHARDT, W., Abdel, A. & Schmidt, W. "Clarity". In: Acustica, Vol. 32, nº 126 (1975).

42. RETTINGER, Michael. "On the acoustics of control rooms". Audio Engineering Society – AES preprint, nº 1261 (1977).

43. SABINE, W. C. "Collected papers on acoustics". Harvard University Press, (1927).

44. SCHWIND, David R. "Room acoustics: basic principles of reflection, diffusion and absorption". In: MIX Magazine, Vol.21, nº 8, pp 58-70 (1997).

45. SEPMEYER, L. W. "Computed frequency and angular distribution of the normal modes of vibration in rectangular rooms". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 37, nº 3, pp 413-423 (1965).

46. SETTE, W. H. "A new reverberation time formula". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 4, pp 193-210 (1933).

47. SIEBEIN, G. W. "A method to evaluate the acoustical consequences of conceptual decision in the studio design process". Proceedings of the 1986 ACSA Technology Conference, ACSA, Washington, DC (1988).

48. SIEBEIN, G. W. & Kinzey Jr., B. Y. "Recent innovations in acoustical design and research". In: Architectural acoustics: principles and practice (edited by William Cavanaugh & Joseph Wilkes), John Wiley & Sons, Inc., New York, NY (1999).

49. SIEBEIN, G. W. & Gold, M. A. "The concert hall of the 21st century: historic precedent and virtual reality". Architecture: material and imagined, Proceedings

of the 85th ACSA Annual Meeting. Association of Collegiate Schools of Architecture, Washington, DC, pp 52-61 (1997).

50. SOMERVILLE, T. & Ward, F. L. "Investigation of sound diffusion in rooms by means of a model". In: Acustica, Vol.1, nº1, pp 40-48 (1951).

51. SPRING, N. F. & Randall, K. E. "Permissible bass rise in talk studios". BBC Engineering, nº 83, pp 29-34 (1970).

52. TOHYAMA, M., Suzuki, H., e Ando, Y. "The nature and technology of acoustic space". Academic Press, London, UK (1995).

53. VOLKMANN, J. E. "Polycylindrical diffusers in room acoustical design". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 13, pp 234-243 (1942).

54. WALKER, R. "Controlled image design: the management of stereophonic image quality", BBC's Research and Development Report (1995).

55. WHITE, Paul. "The sound on sound book of creative recording II". Sanctuary Publishing Ltd., London, UK (1999).

Quarto Capítulo

Exemplos de bons projetos de estúdios de gravação de áudio

4.1. LEVANTAMENTO PRELIMINAR DOS PONTOS POSITIVOS DOS ESTÚDIOS ANALISADOS

Com as informações técnicas reunidas até aqui, foi possível selecionar exemplos de bons estúdios de gravação, cujos ambientes resultaram de projetos desenvolvidos de forma integrada, onde as necessidades do ponto de vista acústico contribuíram, num primeiro momento, para subsidiar as definições do partido arquitetônico e, posteriormente, enriqueceram o desenho dos espaços de um modo geral.

Selecionamos sete casos – quatro no Brasil e três no exterior – que, a nosso ver, demonstram como o projeto arquitetônico pode tirar partido das necessidades acústicas de um determinado ambiente, induzindo a resultados bastante interessantes em termos do seu desenho e do seu espaço construído.

Os estúdios brasileiros analisados localizam-se na cidade de São Paulo – apesar de haver exemplos de bons estúdios em outras capitais do país como Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília, Salvador e Porto Alegre – e foram escolhidos quatro casos que tivessem sido precedidos de um projeto bem cuidado, preferencialmente com a participação de um arquiteto, e cujo resultado fosse do agrado dos músicos e produtores que conversamos. Sempre que possível, procuramos ouvir arquitetos e proprietários, para saber como se deu o processo de projeto. Os estúdios analisados foram: Mosh, Cardan, Bebop, e MCR.

Exemplos de bons projetos de estúdios de gravação de áudio no exterior são bem mais comuns que no Brasil e, por isso, os casos analisados neste trabalho (dois na Inglaterra e um nos EUA) foram escolhidos a partir de critérios diferentes. Optamos por apresentar um caso clássico (Abbey Road Studios, em Londres), e dois casos em que as necessidades acústicas não limitaram a criação dos arquitetos, pelo contrário, induziram a soluções de projeto bastante interessantes (Air Studios, em Londres, e Dark Horse Studios, em Nashville).

Nos sete estúdios apresentados fica clara a importância que foi dada a cada um dos projetos e à execução das respectivas obras.

4.1.1. Estúdios Mosh

Com suas salas projetadas pelo arquiteto inglês radicado no Brasil Jeff Forbes, os Estúdios Mosh estão entre os melhores de São Paulo e do Brasil, na opinião de músicos, produtores, maestros e artistas. Ali já gravaram, mixaram ou editaram seus trabalhos praticamente todos os grandes nomes da música popular brasileira, entre eles: Djavan, Roberto Carlos, Gilberto Gil, Caetano Veloso, Milton Nascimento, Gal Costa, Maria Bethânia, Rita Lee, Ivan Lins e Jorge Benjor. Artistas internacionais como B.B.King, Jimmy Cliff e Paquito D'Rivera também gravaram lá.

Imagem 4.01: *Sala técnica do estúdio A (Foto: A. Larghero).*

Em uma casa situada no bairro da Pompéia, em São Paulo, os Estúdios Mosh entraram em funcionamento em Janeiro de 1980, reunindo instalações e equipamentos bem modestos. No final de 1985, eram dois estúdios de 24 canais analógicos, trabalhando praticamente 18 horas por dia.

Imagem 4.02: *Sala técnica do estúdio B (Foto: A. Larghero).*

Em 1988, os estúdios se mudaram para um galpão industrial, no local em que até hoje se encontram, na Água Branca, próximo à TV Cultura e à Marginal do Tietê.

Imagem 4.03: *Sala técnica do estúdio C (Foto: A. Larghero).*

Atualmente, o complexo possui sete estúdios, no total. O estúdio A (Imagem 4.01), o estúdio B (Imagem 4.02), e o estúdio C (Imagem 4.03) são compostos por uma sala de gravação e uma sala técnica (para mixagens em dois canais) cada um. O proprietário Oswaldo Malagutti[1] explica que o estúdio A foi o primeiro a ser construído, em 1988. Os estúdios B e C foram construídos em 1989 e 1993, respectivamente.

Imagem 4.04: *Sala VIP (Foto: A. Larghero).*

A sala VIP (Imagem 4.04), construída em 1994, e o estúdio D (Imagem 4.05), construído em 2001, são salas técnicas utilizadas exclusivamente para mixagens, que podem ser feitas em dois ou seis canais.

---

[1] Informação verbal

Imagem 4.05: *Estúdio D (Foto: A. Larghero).*

Uma sala de masterização (Imagem 4.06), construída em 1996, e uma sala para sonorização de DVDs (Imagem 4.07), construída em 2000, completam o conjunto.

Imagem 4.06: *Sala de masterização (Foto: A. Larghero).*

Todos esses recursos fazem do Mosh um dos estúdios mais completos do Brasil. Nos estúdios A, B e C faz-se a captação dos sons de instrumentos e vozes. Na sala VIP e no estúdio D faz-se as mixagens. A sala de masterização e a sala de sonorização de DVDs permitem completar todo o processo de produção, seja de um CD, seja de um DVD.

Imagem 4.07: *Sala de sonorização de DVDs (Foto: A. Larghero).*

De grandes dimensões, a sala de gravação do estúdio A não apresenta quebra de paralelismo entre superfícies opostas (Imagem 4.08). O forro de gesso é plano, com alguns elementos difusores. As paredes alternam materiais absorventes e refletores.

Imagem 4.08: *Sala de gravação do estúdio A, com materiais refletores (espelhos na parede, granito no piso – ao fundo) revestindo as superfícies próximas ao piano (Foto: A. Larghero).*

Construída a partir da filosofia de projeto chamada *RFZ*, a sala técnica do estúdio A possui monitores embutidos, e um ambiente anexo para os gravadores, de modo que o ruído deles não interfira no trabalho do técnico (Imagem 4.09).

Imagem 4.09: *Sala técnica do estúdio A, com o compartimento para gravadores, à esquerda (Foto: A. Larghero).*

A sala de gravação do estúdio B (Imagem 4.10), menor que a do estúdio A, também tem paredes paralelas, mas o forro possui detalhes de quebra de paralelismo em relação ao piso.

As paredes são predominantemente revestidas em lambris de madeira, com alguns detalhes de absorventes de altas freqüências revestidos em tecido em tons de preto, marrom, bege e branco. Devido às dimensões reduzidas do ambiente, que dificultam a isolação entre os instrumentos e podem provocar vazamento de som entre os canais, a bateria fica isolada em um *box* (à esquerda, na foto) dotado de visores para que os músicos possam interagir visualmente durante as sessões de gravação.

Imagem 4.10: *Sala de gravação do estúdio B (Foto: A. Larghero).*

A sala VIP (Imagem 4.11), construída a partir da filosofia de projeto chamada *LEDE*, possui monitores embutidos. As superfícies à frente do ponto de audição são revestidas com materiais absorventes; as superfícies atrás desse ponto são refletoras e o forro possui elementos de difusão sonora.

Imagem 4.11: *Sala VIP, preparada para mixagens em seis canais, com difusores do tipo "Schröeder" no forro, atrás do ponto de audição (Foto: A. Larghero).*

À esquerda do técnico há uma pequena sala para gravações adicionais ou regravações de trechos que tenham apresentado problemas durante a mixagem. À direita, há uma outra sala, acusticamente isolada em relação à sala VIP, que abriga gravadores e outros equipamentos que produzem ruídos excessivos (Imagem 4.12).

Imagem 4.12: *Compartimento de gravadores da sala VIP (Foto: A. Larghero).*

O estúdio D é o mais recente de todos (Imagem 4.13). O projeto foi desenvolvido a partir da filosofia conhecida como *CID*. Revestida com materiais refletores (granito no piso e em torno dos monitores frontais), a sala foi planejada para direcionar as primeiras reflexões para fora da área demarcada no piso e garantir o controle da imagem estéreo (dois canais) ou surround 5.1 (seis canais).

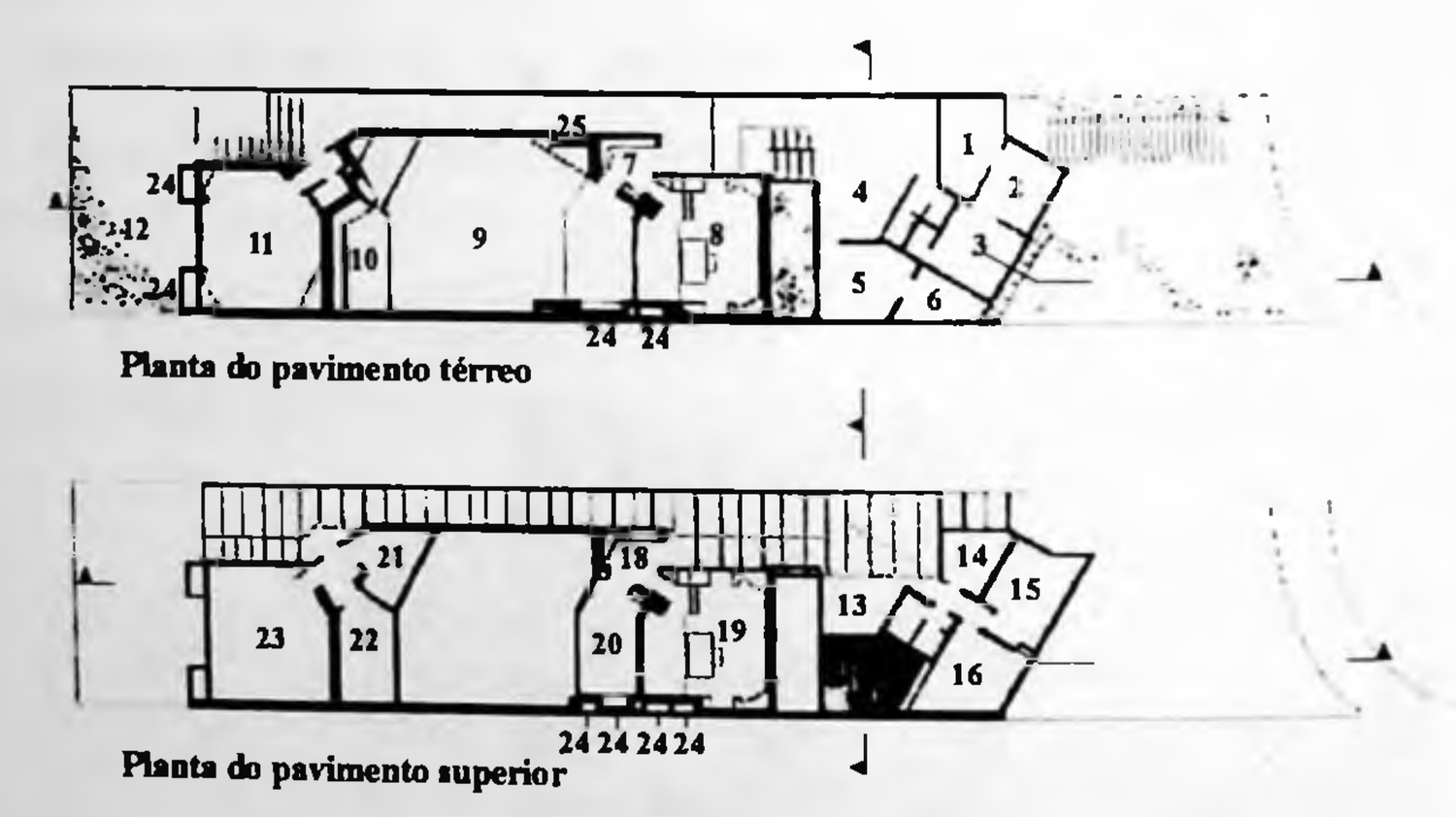
Imagem 4.13: *Estúdio D, com projeto baseado na filosofia chamada de CID (Foto: A. Larghero).*

À esquerda, o estúdio D também conta com uma pequena sala para locução, gravações adicionais – ou regravações – durante as mixagens.

4.1.2. Estúdio Cardan

O projeto, da arquiteta Marília Sant'Anna de Almeida, foi desenvolvido a partir de um programa básico que compreendia dois estúdios de gravação de áudio (um deles, com uma sala de gravação maior, para acomodar uma orquestra de até quarenta músicos, e outro, com uma sala de gravação menor, para trabalhos com locução e pequenos grupos musicais), suas respectivas salas técnicas para gravação em 24 canais, uma sala de criação e espaços de apoio (administração, escritórios, sala de reuniões, sala para clientes, sanitários e copa).

Segundo ALMEIDA (1988), "o formato do terreno (estreito e comprido) e o entorno ruidoso (próximo á Avenida Sumaré, em São Paulo) induziram à adoção de um partido de projeto muito mais centrado na elaboração interna dos espaços, do que na parte externa da obra" (Figuras 4.01 e 4.02).



Planta do térreo
1. Recepção
2. Secretaria
3. Administração
4. Sala de espera
5. Sala de almoço e café
6. Cozinha
7. Sound lock 1
8. Técnica 1
9. Estúdio principal
10. "Casa de bateria"
11. Sala de criação de som/concerto
12. Ar-condicionado no subsolo para os estúdios

Planta do pavimento superior
13. Hall/sala de clientes
14. 15. Salas de administração criação de letras
16. Sala de reunião
17. Ar-condicionado da administração
18. Sound lock 2
19. Técnica 2
20. Estúdio 2
21. Almoxarifado 1
22. Almoxarifado 2
23. Sala dos funcionários
24. Acesso dos dutos de ar-condicionado à cobertura para os ambientes de gravação
25. Central elétrica de todo o edifício

Figura 4.01: *Plantas do Estúdio Cardan.*

As atividades dividem-se em dois blocos separados por um jardim.

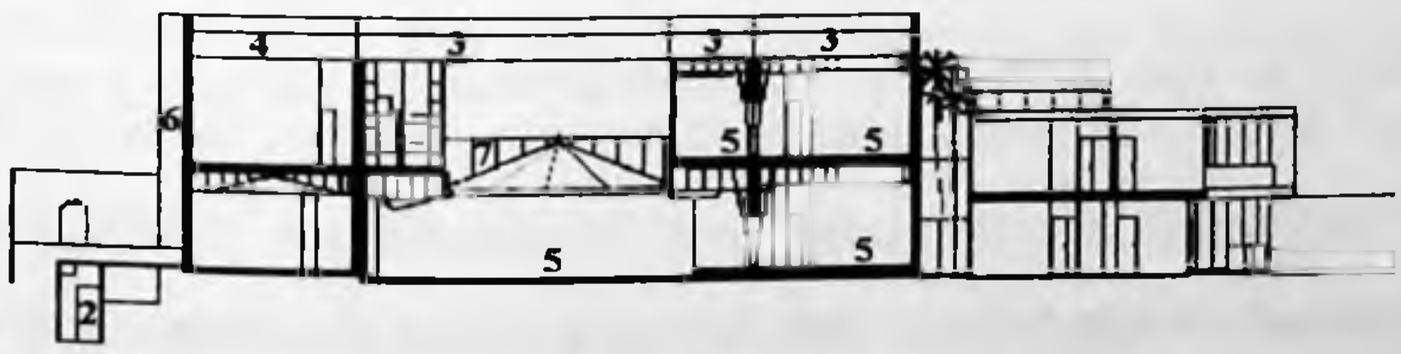
No bloco da frente, localizam-se as atividades administrativas, para as quais as exigências acústicas são mais permissivas.

No segundo bloco, depois do jardim, situam-se os ambientes de criação e gravação de áudio. Essa disposição permitiu uma maior integração entre o edifício e a cidade, quando a necessidade de altos índices de isolamento sonoro poderia levar ao seu isolamento físico em relação ao entorno.

O setor administrativo foi tratado de forma a se abrir para a rua, em contraste com os ambientes do bloco dos fundos, mais fechado e com suas visuais voltadas para o jardim interno.

Imagem 4.14: Área de circulação entre os estúdios e demais ambientes (Foto: R. Fialdini).

A ligação entre os dois blocos é feita por um conjunto de escadas e passarelas em concreto aparente, cobertas por um pergolado de concreto e vidro (Imagem 4.14).



1. Ar-condicionado da administração
2. Ar-condicionado dos estúdios
3. Juntas de dilatação para separar os estúdios do resto do edifício
4. Laje dupla para proteger os dutos de ar-condicionado do ruído externo. Cada ambiente possui um ramal de insuflamento para evitar transmissão de ruído
5. Laje dupla flutuante sobre lã de vidro de alta densidade
6. O ar-condicionado sobe do subsolo até a cobertura para dutos hermeticamente fechados, de chapa recoberta de alvenaria
7. Forro do estúdio principal

Figura 4.02: Cortes do Estúdio Cardan.

De acordo com ALMEIDA (1988), "a obra demandou um grande esforço de integração entre o projeto de arquitetura e os projetos complementares, principalmente de acústica. Os proprietários – músicos profissionais – também participaram, trazendo sua experiência aos projetistas envolvidos. E foi justamente essa integração que permitiu o desenvolvimento acurado dos detalhes técnicos de acabamento, interiores, isolamento e tratamento acústico, evitando possíveis conflitos de execução da obra".

A sala de gravação é ampla e não possui superfícies paralelas. Ao fundo, à esquerda, localiza-se o *box* para gravação da bateria. O revestimento de pisos, paredes e forro é, predominantemente, de madeira de diversos tipos, o que resulta num ambiente mais "vivo" (Imagem 4.15).

Imagem 4.15: *Sala de gravação do estúdio Cardan (Foto: R. Fialdini).*

A sala técnica (Imagem 4.16), projetada a partir da filosofia *LEDE*, tem as superfícies à frente do técnico revestidas com materiais absorventes (principalmente carpete e tecidos), e as superfícies atrás dele revestidas com materiais refletores (madeira e vidro). Além disso, diversos difusores do tipo "Schröeder" foram dispostos em paredes e no forro.

A presença de iluminação natural na sala técnica contribui para tornar o trabalho dos engenheiros de áudio menos cansativo. O caixilho, voltado para um jardim interno, foi construído com vidros duplos, em diferentes espessuras, não paralelos entre si.

Prossegue ALMEIDA (1988): "A quantidade e a diversidade de materiais de revestimento necessários aos ambientes dos estúdios de gravação foram muito maiores do que nos demais. Apesar disso, procurou-se preservar a unidade, fazendo presente, em todos os ambientes, pelo menos uma das cores e materiais utilizados nos estúdios, conforme a sua necessidade de uso e sua compatibilidade estética com o restante".

Imagem 4.16: Sala técnica do estúdio Cardan (Foto: R. Fialdini).

O projeto do Estúdio Cardan recebeu menção honrosa na categoria obra construída, na premiação do IAB/SP (1987). No final dos anos 90, o estúdio foi alugado pela gravadora Trama para a produção dos CDs de seus artistas contratados. Com o crescimento de seus negócios, a gravadora precisou de um estúdio maior e se mudou. Atualmente, o edificio está fechado e os estúdios estão desativados.

4.1.3. Estúdio Bebop

O Estúdio Bebop foi instalado em um sólido sobrado, sem estilo definido, construído nos anos 50, no bairro paulistano Alto de Pinheiros, que se encontrava deteriorado. O grande mérito deste projeto – também de autoria da arquiteta Marília Sant'Anna de Almeida – é, sem dúvida, a generosidade dos espaços, que se diferenciam da grande maioria dos estúdios construídos na década de 80, cuja principal característica eram a parafernália eletrônica – em substituição aos músicos e seus instrumentos – disposta em cubículos claustrofóbicos.

O partido do projeto é simples e eficiente: a construção existente foi recuperada para abrigar as instalações administrativas, que não têm funções especiais; para acomodar as duas salas de gravação e as duas salas técnicas foram desenhados espaços totalmente novos, nos fundos do lote (Figura 4.03).

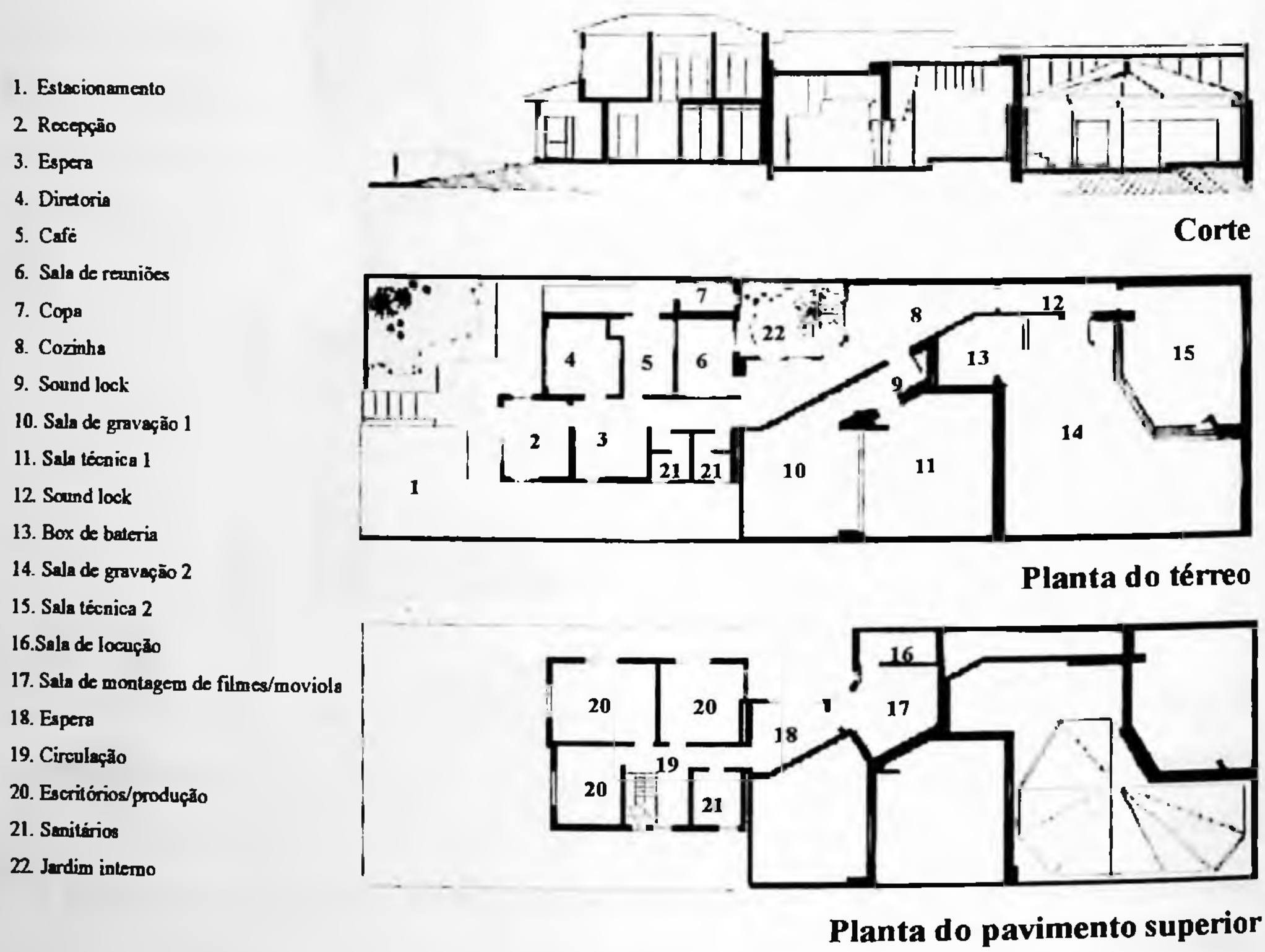


Figura 4.03: Plantas e corte do Estúdio Bebop.

Segundo ALMEIDA (1993), "por exigência do projeto de acústica, cada sala de gravação possui estrutura completamente independente de sua sala técnica e dos demais ambientes, das fundações à laje de cobertura. Qualquer ponto de contato entre esses ambientes já criaria uma 'ponte' sonora entre eles, e isso era preciso explicar diariamente aos operários, que achavam estranho não poder deixar 'nem um pouquinho' de massa entre as paredes".

Imagem 4.17: Sala de gravação do Bebop: à esquerda, painéis revestidos em tapeçaria; à direita, painéis revestidos em madeira (Foto: R. Fialdini).

As salas de gravação e as salas técnicas foram construídas com paredes de tijolos maciços de 30cm de espessura e laje de concreto moldado in-loco de 20cm de espessura. Entre a parede de uma sala e a parede de outra, há um espaço de 25mm. As redes de dutos de ar condicionado (acima da laje) e as canaletas de áudio (embutidas no piso), são independentes, por sala, a fim de evitar qualquer risco de transmissão de ruído entre elas através de tais sistemas.

***Imagem 4.18:** Sala de gravação do Bebop (Foto: R. Fialdini).*

De acordo com ALMEIDA (1993), "desde o início do projeto, o técnico em acústica Carlos Pires indicou os pré-requisitos de funcionamento, sem determinar o seu resultado estético. Com essa liberdade, as inúmeras especificações do consultor se vestiram de painéis artísticos em tapeçaria ou madeira (Imagem 4.17 e 4.18), que escondem atrás de si grossas camadas de lã-de-vidro ou caixas ressoadoras de madeira. As venezianas dos painéis das paredes tiveram seu espaçamento determinado de maneira precisa".

"O forro da sala de gravação maior, cujo aspecto se confunde com um lambris pré-fabricado de madeira, funciona como um grande ressoador. (Imagem 4.19) Cada lâmina desse forro foi desenhada individualmente, com variações na largura e na distância entre elas" (ALMEIDA, 1993).

Imagem 4.19: *Detalhe do forro da sala de gravação do Bebop (Foto: R. Fialdini).*

A sala técnica foi projetada segundo a filosofia *LEDE*. As superfícies à frente do técnico foram revestidas com materiais absorventes, principalmente carpete. Do ponto de audição para trás, as superfícies foram revestidas com materiais refletores, principalmente madeira. Difusores do tipo "Schröeder" também foram instalados em parte das paredes e do forro (Imagem 4.20). As salas de gravação e salas técnicas foram sempre precedidas de *sound locks*[2], para atenuar eventuais ruídos durante os trabalhos nos momentos de abertura das portas desses ambientes.

---

[2] N. do A.: *Sound lock* é um termo, em inglês, utilizado para designar o hall (ou antecâmara) situado junto à porta de acesso da sala de gravação ou da sala técnica, que tem todas as suas superfícies revestidos com materiais que possuem altos coeficientes de absorção sonora, colaborando na atenuação de ruídos entre os espaços externos e os ambientes do estúdio.

Imagem 4.20: *Sala técnica do Bebop, com difusores do tipo "Schröeder" nas paredes e no forro (Foto: R. Fialdini).*

Para garantir que todo o rigor dos detalhes não se perdesse durante a construção, foi necessário que a arquiteta tivesse controle sobre a execução da obra, do pedreiro ao marceneiro, em todas as suas etapas.

O resultado desse trabalho conferiu ao projeto o Prêmio IAB/SP (1992) na categoria arquitetura de interiores. Em 2001, o estúdio se mudou para um local maior e o sobrado dos anos 50 no Alto de Pinheiros foi demolido.

4.1.4. Estúdio MCR

O típico sobrado eclético é um dos muitos que foram projetados e construídos no bairro paulistano do Bexiga, zona central da cidade, por imigrantes italianos que copiavam os detalhes e ornamentos das casas mais ricas.

Figura 4.04: *Croquis das fachadas dos imóveis (Desenho da arquiteta).*

Restaurado pela arquiteta Miriam Escobar, o casarão teve sua área complementada por uma nova construção de tipologia fabril e agora abriga a MCR Produções e Propaganda e seus estúdios de gravação.

Quando foi realizada a primeira intervenção na sede da empresa, há quinze anos, seus proprietários já cobiçavam o casarão vizinho, típico exemplar da arquitetura eclética do início do século 20. Em 1990, eles finalmente conseguiram adquirir o sobrado de porão alto, datado de 1910, como centenas de outros que os mestres-de-obras de origem italiana espalharam pela região (Figura 4.04).

Imagem 4.21: *Vista dos novos edifícios, que abrigam os estúdios da produtora (Foto: Divulgação).*

Responsável pelas obras da primeira reforma, a arquiteta Miriam Escobar foi chamada para fazer o mesmo trabalho no segundo imóvel, a fim de dar unidade de linguagem ao conjunto.

De acordo com ESCOBAR (2001), "as obras foram divididas em quatro etapas, iniciadas em 1993 e concluídas em 2000. A primeira etapa abrangeu a derrubada do muro que delimitava os dois lotes e a implantação, nos fundos, de um galpão que repete a tipologia fabril da obra de 1986. A linguagem é bastante semelhante à das fábricas do início do século passado, mesma época da construção das duas casas" (Imagem 4.21).

Feito especialmente para abrigar o principal estúdio de gravação de áudio da MCR, o edifício é formado por paredes duplas, de alvenaria de blocos de concreto revestidas por tijolos aparentes, estruturalmente independentes em todo o perímetro.

As paredes externas também apóiam a cobertura em duas águas – uma delas acompanha quase toda a largura do bloco construído, até ser interrompida pelo *shed* de manutenção do ar-condicionado.

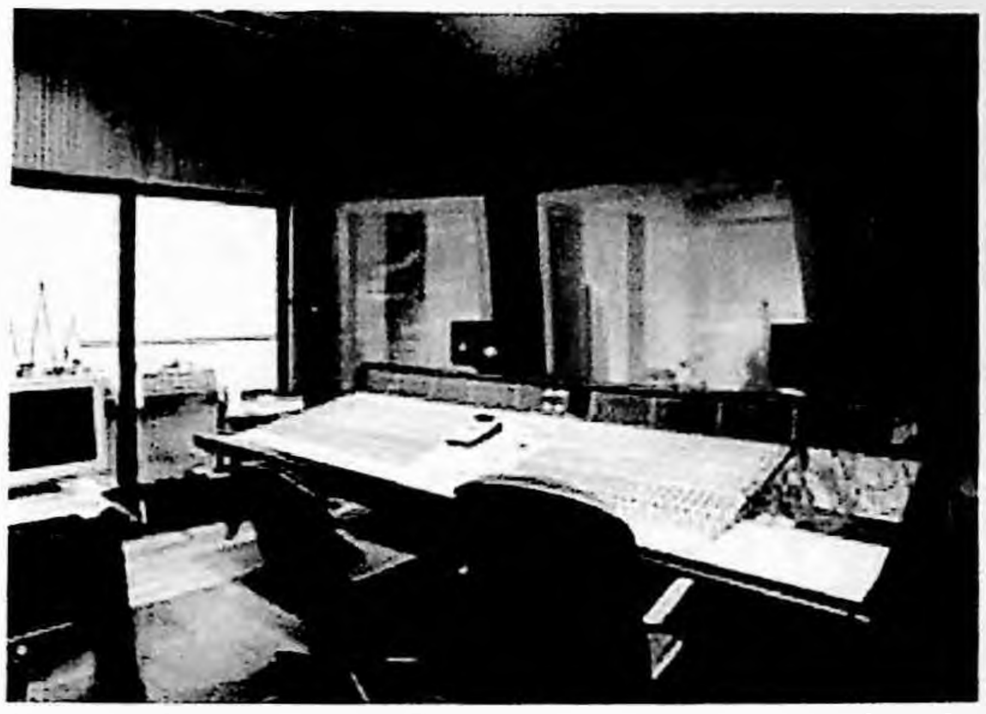


Imagem 4.22: *Sala técnica do estúdio MCR, com os monitores embutidos e difusores do tipo "Schröeder" acima, na parede à esquerda (Foto: Divulgação).*

A sala técnica (Imagem 4.22) possui monitores embutidos e difusores do tipo "Schröeder". A sala de gravação (Imagem 4.23) é ampla, com piso flutuante em assoalho de tábuas corridas, paredes de tijolos aparentes, absorvedores porosos (para altas e médias freqüências) e placas vibrantes (para baixas freqüências).

Imagem 4.23: *Sala de gravação do estúdio MCR, com placa vibrante na parede, atrás do piano (Foto: Divulgação).*

O tratamento da sala de masterização foi feito predominantemente com absorvedores de altas freqüências (Imagem 4.24).

Imagem 4.24: *Sala de masterização do estúdio MCR (Foto: Divulgação).*

Segundo ESCOBAR (2001), "a segunda etapa resumiu-se à criação do pátio tratado paisagisticamente, que interliga as construções e serve como espaço de convivência para os funcionários" (Imagem 4.25).

Imagem 4.25: *Vista do pátio coberto que interliga as construções (Foto: Divulgação).*

ESCOBAR (2001) prossegue: "O restauro do casarão correspondeu à terceira etapa do projeto. A fachada de 9m de altura, com frisos, cornijas e outros ornamentos originais bastante danificados, foi recuperada" (Imagem 4.26).

A varanda lateral, marcada pelo ritmo dos vãos de portas e janelas, recebeu cobertura estruturada por perfis metálicos e fechamento com vidro (Imagem 4.27). O projeto manteve a modulação original dos ambientes que deveriam abrigar o novo programa.

Imagem 4.26: Fachada restaurada do sobrado(Foto: Divulgação).

O trabalho incluiu a reforma geral da construção e das instalações, com a substituição do piso de madeira apoiado em vigas-barrotes pela laje de concreto sustentada por vigas e pilares metálicos.

Imagem 4.27: Varanda lateral com cobertura de vidro sobre estrutura metálica (Foto: Divulgação).

Na quarta – e última – etapa de implantação foi executado o projeto paisagístico no recuo lateral, com fonte e churrasqueira para servir como área de convivência.

4.1.6. Abbey Road Studios

Por toda a importância que tiveram na história da música popular inglesa e mundial, a partir da segunda metade do século XX, os estúdios Abbey Road, em Londres, na Inglaterra, são como uma lenda.

O complexo possui, atualmente, quatro estúdios (Studio One, Studio Two, Studio Three, e Penthouse), cada um deles com características e dimensões que os tornaram conhecidos em todo o mundo.

O Estúdio Um possui uma das maiores salas de gravação do mundo construídas especialmente para esse fim. Em seus 456m^2 de área é perfeitamente possível acomodar uma orquestra sinfônica completa, e um coro de até 120 cantores (Imagem 4.28).

Imagem 4.28: *Sala de gravação do Estúdio Um, em Abbey Road (Fonte: http://www.abbeyroad.com.uk).*

Sua sala técnica foi recentemente ampliada para proporcionar um ambiente de trabalho mais espaçoso e confortável para os técnicos e clientes, além de acomodar equipamentos para mixagem em dois canais, (estéreo), seis canais (*surround* 5.1) e oito canais (*new surround* 7.1).

Também foram construídas duas pequenas salas de gravação para locuções e dublagens, e uma série de espaços de apoio, como uma sala de estar com vista para a sala de gravação, escritório privativo, sala de reuniões e sanitários completos (Figura 4.05).

No Estúdio Um foram gravadas as trilhas sonoras de filmes de sucesso em todo o mundo, entre eles: *Harry Potter* e a pedra filosofal, O Senhor dos Anéis, *Shrek*, *Star Wars I* e *Notting Hill*

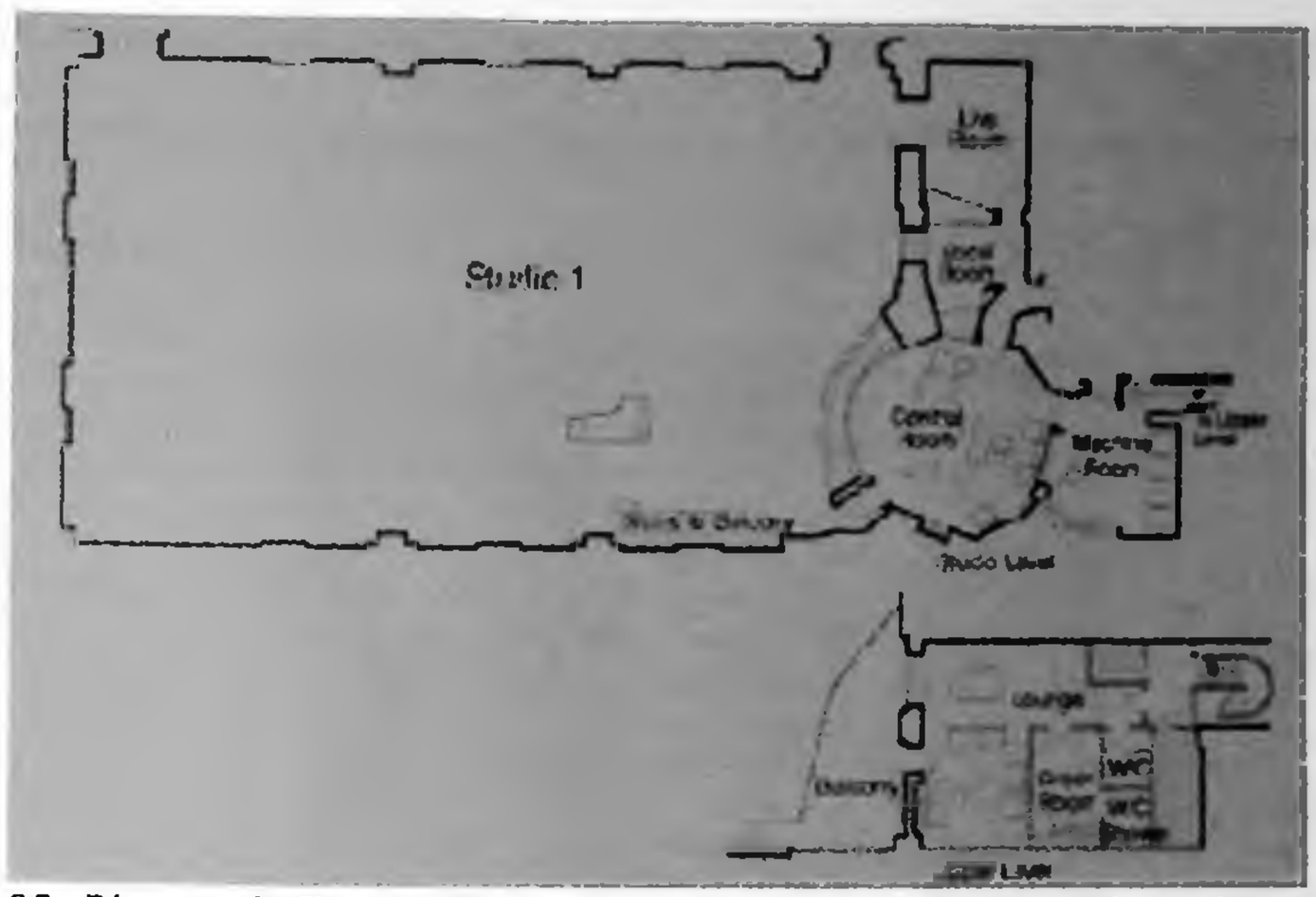


Figura 4.05: *Plantas do Estúdio Um, em Abbey Road. A sala técnica (Control Room), a sala de gravação principal (Studio 1), a sala de gravação de vocais (Vocal Booth), a sala "viva" (Live Room), e a sala de máquinas (Machine Booth) ficam num mesmo nível. Um nível acima ficam a sala de estar, escritório, copa e sanitários (Fonte: http://www.abbeyroad.com.uk).*

O Estúdio Dois possui uma das salas de gravação mais famosa do mundo, devido às suas características acústicas que muitos tentaram copiar. Seus 190m^2 de área e os painéis móveis de revestimento das paredes fazem dela um espaço versátil, tanto para gravações de grupos de música pop (com todos os músicos tocando juntos), como para acomodar uma orquestra de até 55 músicos (Figura 4.06).

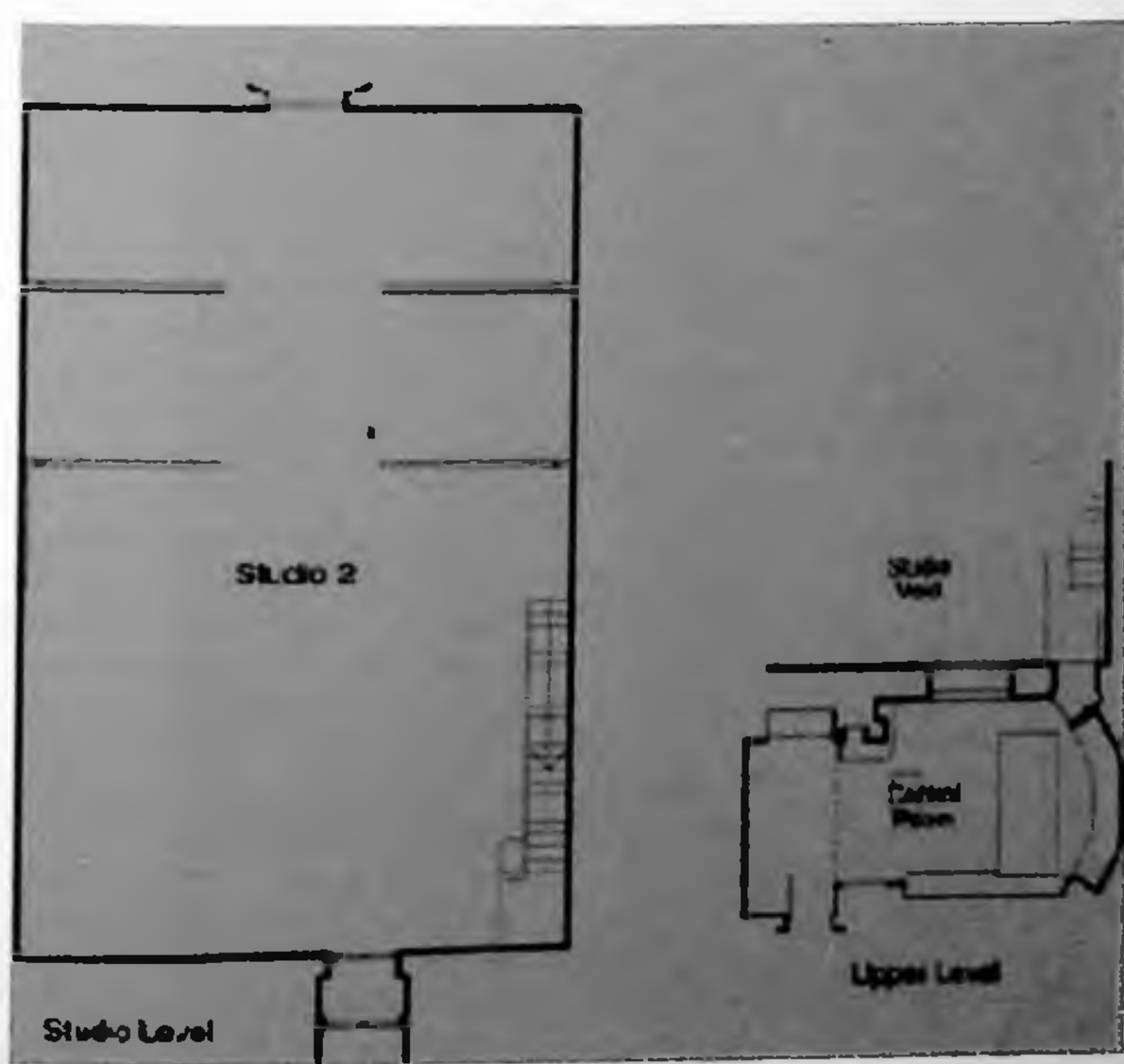


Figura 4.06: *Plantas do Estúdio Dois, em Abbey Road, com painéis móveis na sala de gravação (Fonte: http://www.abbeyroad.com.uk).*

Sua sala técnica, que se encontra um nível acima do nível de piso da sala de gravação, com vista panorâmica de todo o ambiente, foi reformada em 1996, a partir de um projeto do arquiteto japonês Sam Toyoshima (Imagem 4.29).

Imagem 4.29: *Sala técnica do Estúdio 2, em Abbey Road, com vista para a sala de gravação (Fonte: http://www.abbeyroad.com.uk).*

O Estúdio Três possui uma sala de gravação com 75m^2 de área, suficiente para acomodar um grupo de até 15 músicos. Seu pé-direito alto (7,15m) e seus recursos de versatilidade acústica proporcionam tempos de reverberação compatíveis com grande parte dos estilos musicais (Figura 4.07).

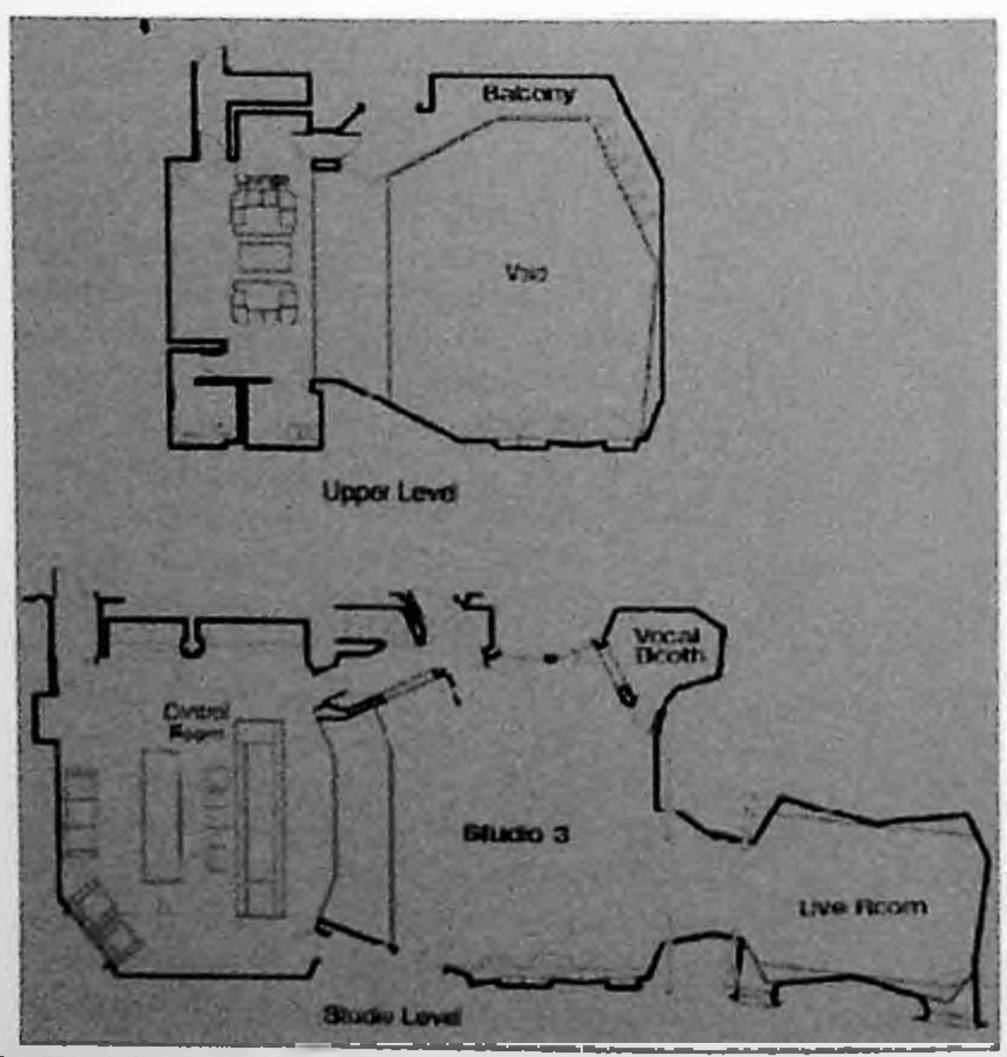


Figura 4.07: *Plantas do Estúdio Três, em Abbey Road. A sala técnica (Control Room), a sala de gravação principal (Studio 3), a sala de gravação de vocais (Vocal Booth), e a sala "viva" (Live Room) ficam num mesmo nível. Um nível acima fica a sala de estar, a copa e os sanitários (Fonte: http://www.abbeyroad.com.uk).*

Recentemente reformada, a partir do projeto do arquiteto Sam Toyoshima, a sala de gravação do Estúdio Três ganhou uma pequena saleta exclusivamente para gravação de vocais, e uma sala um pouco maior, com superficies não-paralelas, totalmente revestidas de espelhos, chamada de *live room*.

Sua sala técnica é uma das maiores da cidade de Londres, com recursos de mixagem em dois e seis canais (Imagem 4.30). Um ambiente anexo a ela acomoda equipamentos analógicos e digitais. Sala de estar, copa, e sanitários privativos completam o conjunto.

Imagem 4.30: *Sala técnica do Estúdio 3, em Abbey Road, com vista para a sala de gravação*

(Fonte: http://www.abbeyroad.com.uk).

O Estúdio Penthouse é o mais recente dos quatro. Construído no último pavimento do edificio (quase um sótão), seu projeto tirou partido da luz natural (Imagem 4.31).

Imagem 4.31: *Sala técnica do Estúdio Penthouse, em Abbey Road*
(Fonte: http://www.abbeyroad.com.uk).

É basicamente uma sala técnica, com recursos para mixagens em dois canais (*stereo*), seis canais (*surround* 5.1) e oito canais (*new surround* 7.1). Uma pequena sala de gravação (*studio/lounge*) anexa permite locuções e dublagens e funciona como um ambiente de estar (Figura 4.08).

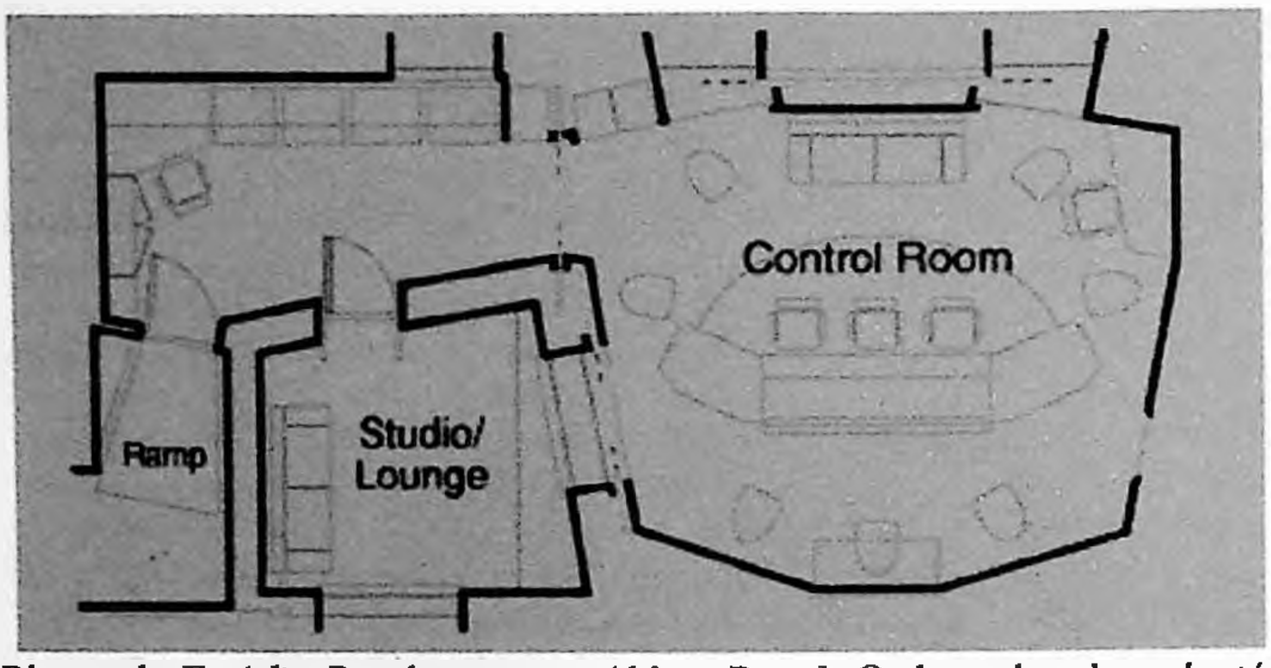


Figura 4.08: *Planta do Estúdio Penthouse, em Abbey Road. O desenho da sala técnica apresenta absoluta simetria, recomendável para mixagens em dois canais (stereo), seis canais (surround 5.1) e oito canais (new surround 7.1). No desenho, estão representados os sete monitores do sistema 7.1 (Fonte: http://www.abbeyroad.com.uk).*

Segundo Peter Cobbin[3], engenheiro de gravação sênior de Abbey Road, "as trilhas sonoras dos filmes *Harry Potter* e a pedra filosofal, O Senhor dos Anéis, *Shrek*, *Star Wars I* e *Notting Hill*, gravadas no Estúdio Um, foram mixadas no Estúdio Penthouse, por ser a sala técnica que apresenta a melhor acústica interna, dentre as demais, além de contar com mais opções em termos de equipamentos".

4.1.7. Air Studios

Os Estúdios Air, também em Londres, na Inglaterra, têm à sua frente um dos mais importantes nomes da indústria fonográfica do mundo, Sir George Martin[4].

---

[3] Informação obtida por telefone

[4] Em 1950, George Martin inicia sua carreira como produtor musical; em 1955 se torna o coordenador do selo "Parlophone", da gravadora EMI, e produz Stan Getz; de 1962 a 1970 produz todos os discos dos Beatles; em 1969 inicia a construção dos Estúdios Air, em Londres; em 1971 abre sua própria editora musical: a George Martin Music; em 1991 inicia as obras de reforma do Lyndhurst Hall, para onde seriam transferidos os Estúdios Air um ano depois; em 1995 inicia o projeto "The Beatles Anthology", uma vasta coleção de reedições de gravações antigas e raras do quarteto de Liverpool; em 1997 produz o concerto "Music for Montserrat", realizado no Royal Albert Hall, com a presença de artistas famosos como Paul McCartney, Elton John, Eric Clapton e Sting; em 1999 é indicado a fazer parte do "American Rock'n'Roll Hall of Fame", por sua valiosa contribuição a esse gênero musical.

Maestro, compositor, produtor, arranjador, e responsável direto pelo resultado técnico de todos os álbuns dos Beatles, George Martin fundou seu próprio estúdio em 1969.

Em 1992, os Estúdios Air passaram a funcionar no local em que se encontram até hoje. Trata-se de um edifício em estilo Vitoriano – que, originalmente, abrigava uma igreja e uma escola de missionários – construído em 1885 (projeto do arquiteto inglês Alfred Waterhouse, 1830-1905), chamado Lyndhurst Hall, localizado em Hampstead, e que foi transformado em um complexo de estúdios para gravação de trilhas de filmes, vídeos e DVDs, música pop e rock, música clássica, e eventos ao vivo (Imagem 4.32).

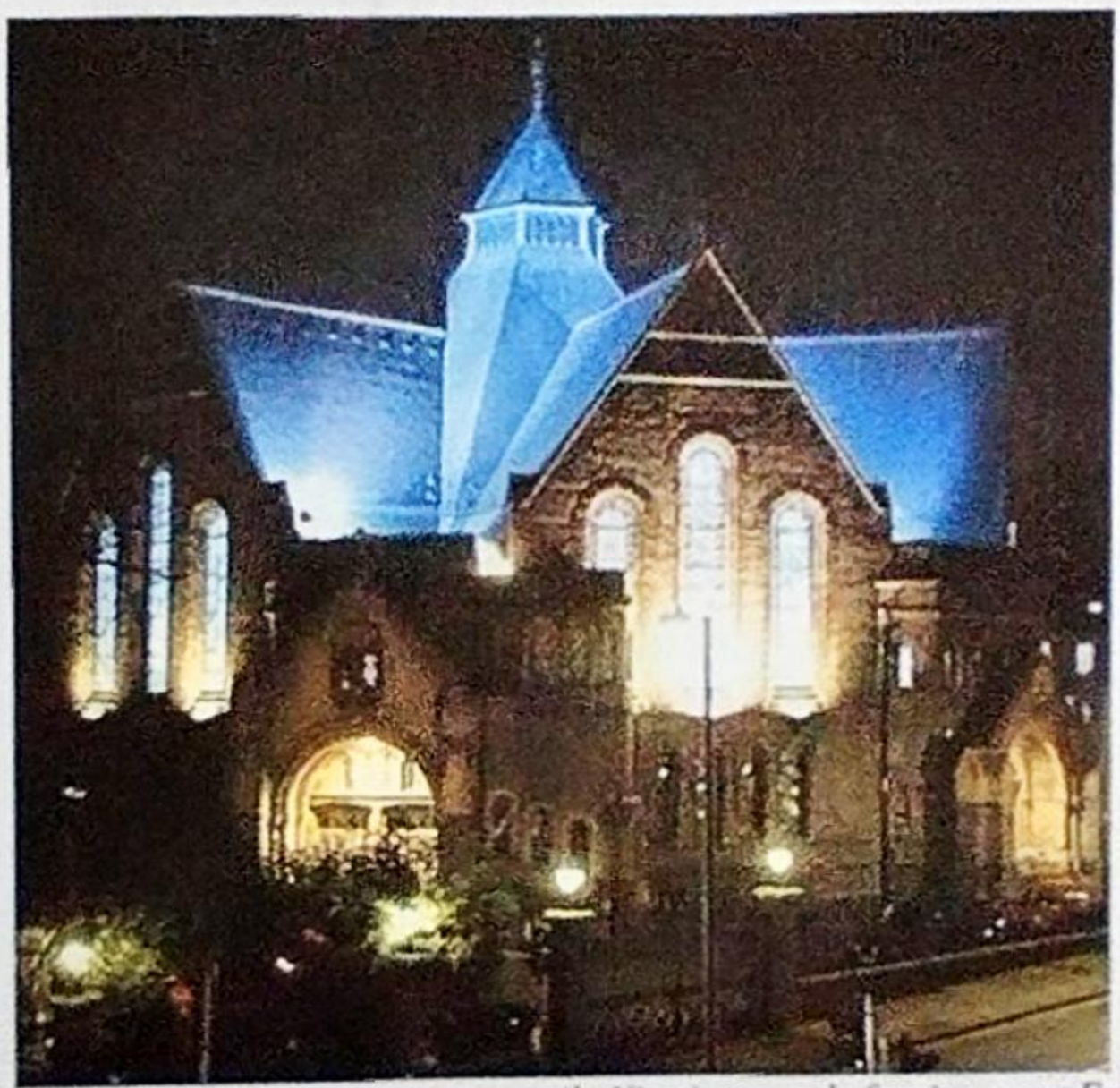


Imagem 4.32: *Vista externa do edifício em estilo Vitoriano, onde funcionam os Estúdios Air, em Hampstead, Londres, Inglaterra (Fonte: http://www.airstudios.com).*

A sala de gravação do estúdio Lyndurst Hall é bastante flexível para receber uma orquestra sinfônica completa, orquestras de câmara e de música barroca, além de corais com até 120 cantores. Com grandes dimensões, a sala proporciona tempos de reverberação mais elevados, que também a tornam para também gravar trilhas sonoras de filmes, espetáculos de rádio e TV (Imagem 4.33).

Imagem 4.33: *Vista da sala de gravação do estúdio Lyndhurst Hall, preparada para a gravação de uma orquestra (Fonte: http://www.airstudios.com).*

A sala principal, de formato hexagonal, com 300m^2 de área, mais duas salas isoladas (para gravação de vocais e instrumentos eletrônicos), três galerias suspensas, e possibilidades de variação acústica, compõem o espaço de gravação (Figura 4.09).

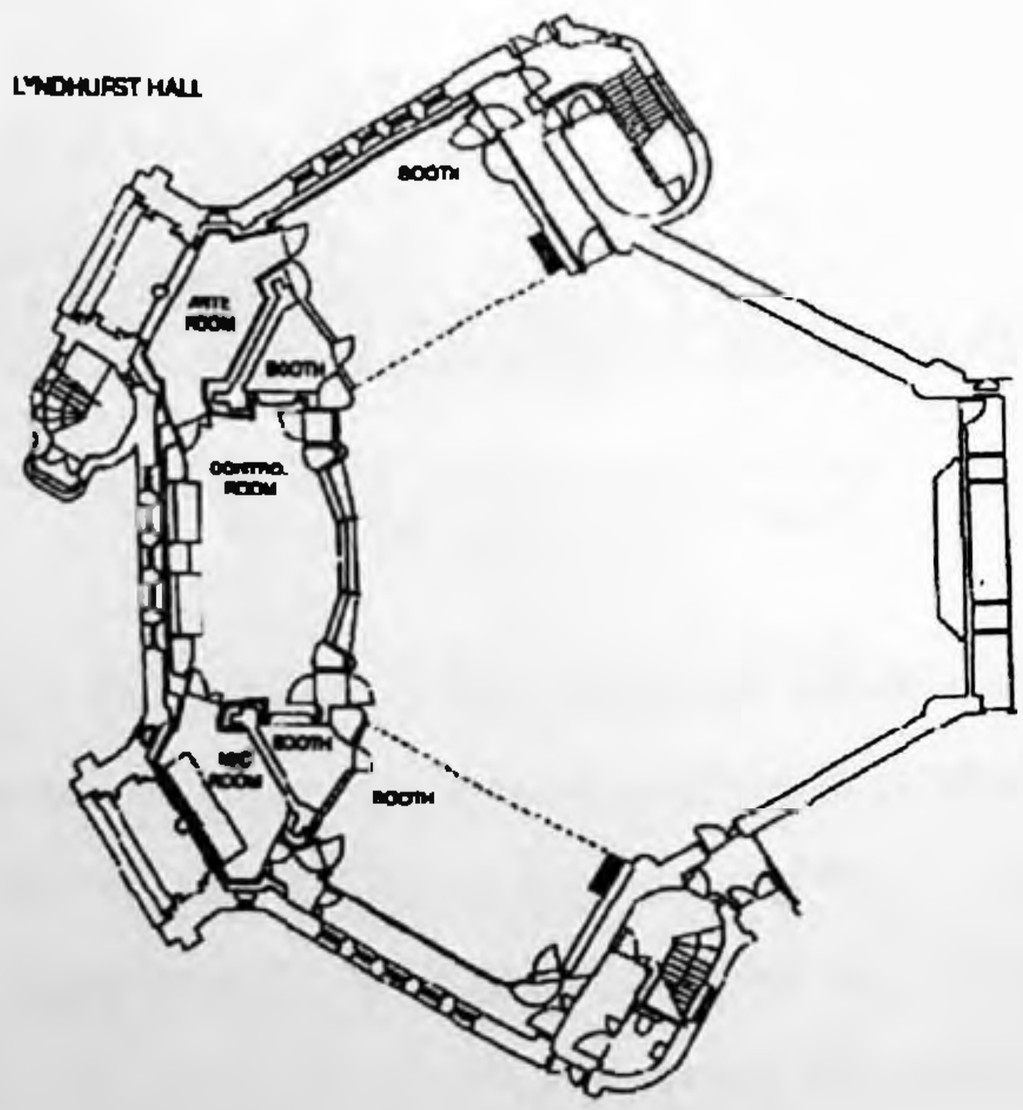


Figura 4.09: *Planta do estúdio Lyndhurst Hall (Fonte: http://www.airstudios.com).*

A sala técnica, situada no mesmo nível da sala de gravação, possui 50m2 e um ambiente separado para acomodar equipamentos de gravação e amplificação (Imagem 4.34). Os monitores são embutidos e o amplo visor – de vidros duplos, com diferentes espessuras, não paralelos entre si – garante contato visual entre os músicos e os técnicos.

Imagem 4.34: *Sala técnica do estúdio Lyndhurst Hall, com vista para a sala de gravação (Fonte: http://www.airstudios.com).*

O Estúdio 1 possui uma sala de gravação de 140m^2 de área, com piso flutuante, cuja versatilidade acústica o torna apropriado para gravar pop e rock, bem como orquestras de até 50 músicos, corais e solistas (Imagem 4.35).

Imagem 4.35: *Sala de gravação do Estúdio 1, com iluminação natura e difusores policilíndricos no forro (Fonte: http://www.airstudios.com).*

A iluminação é natural, a sala possui um órgão Hammond B3 e um piano Bosendorfer modelo "Grand Piano".

Por intermédio de um sistema de divisórias móveis com altos índices de isolamento acústico, a sala de gravação pode ter seu volume adaptado às necessidades do programa que vai ser gravado, ou dividida em várias saletas acusticamente isoladas entre si (Imagem 4.36).

Imagem 4.36: *Sala de gravação do Estúdio 1, com divisórias móveis que regulam o volume da sala e, portanto, o seu tempo de reverberação, de acordo com o programa a ser gravado (Fonte: http://www.airstudios.com).*

Três salas isoladas para gravação de guitarras elétricas e instrumentos que produzem altos níveis sonoros completam os ambientes (Figura 4.10)

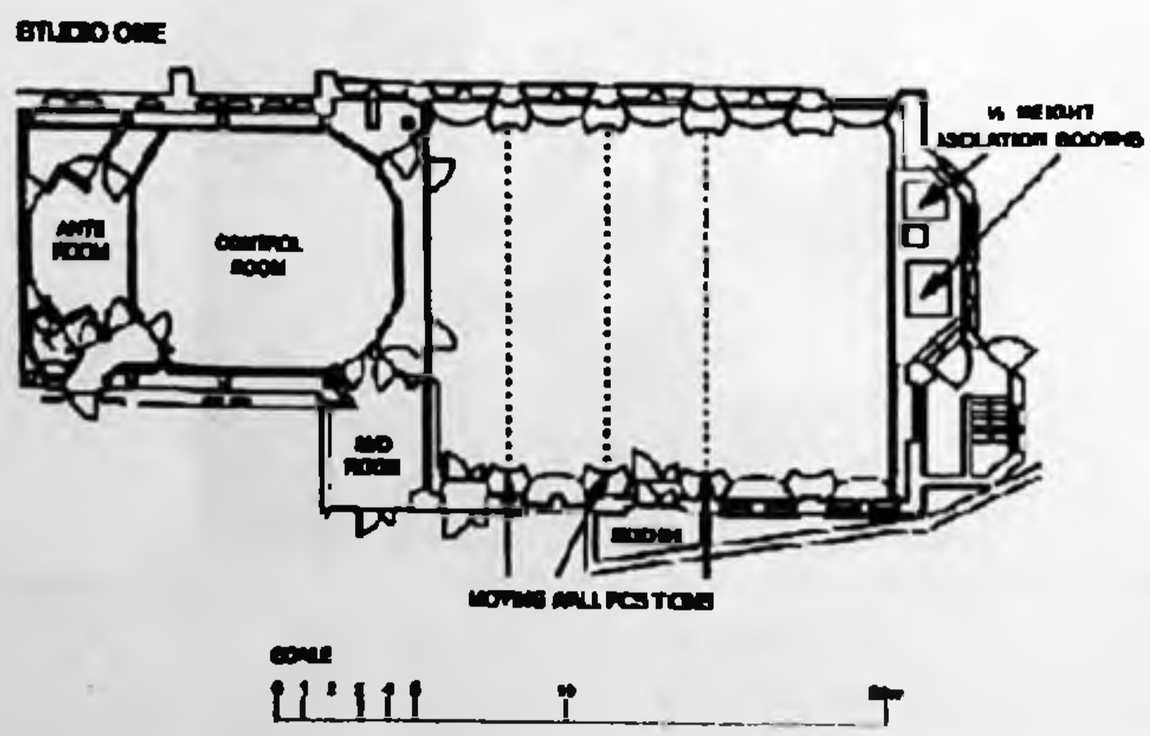


Figura 4.10: *Planta do Estúdio 1(Fonte: http://www.airstudios.com).*

A sala técnica do Estúdio 1 é simétrica em relação ao seu eixo longitudinal, possui monitores embutidos e está preparada para mixagens em dois canais. Localizada no mesmo nível da sala de gravação. Seu projeto foi feito a partir da filosofia chamada *ESS*, com difusores sonoros do tipo "Schröeder" ao lado do visor (Imagem 4.37).

Imagem 4.37: *Sala técnica do Estúdio 1, com difusores do tipo "Schröeder" nas paredes, e forro com superfícies com inclinações em diversos ângulos, para melhor difusão das primeiras reflexões na sala (Fonte: http://www.airstudios.com).*

O Estúdio 2 (Imagem 4.38) e o Estúdio 3 são, na verdade, duas salas técnicas destinadas a mixagens em dois e em seis canais.

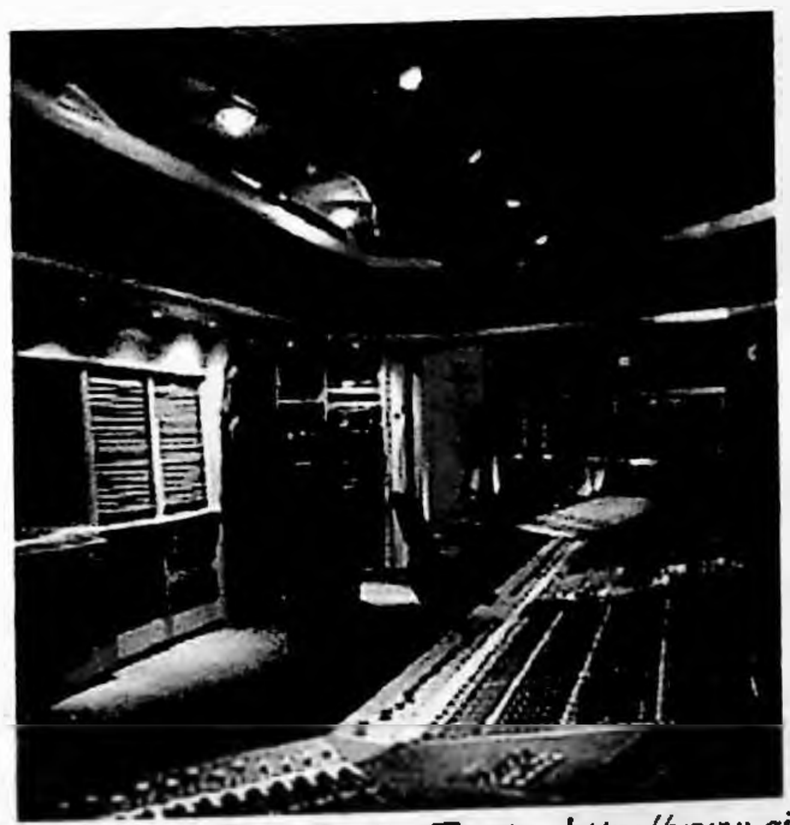


Imagem 4.38: *Sala técnica do Estúdio 2 (Fonte: http://www.airstudios.com).*

Ambos (Estúdio 2 e Estúdio 3) possuem uma saleta anexa, para locução e dublagens eventuais, além de um terceiro espaço, destinado a acomodar equipamentos de amplificação e gravação. A sala técnica do Estúdio 3, projetada segundo a filosofia de projeto chamada *ESS*, possui difusores do tipo "Schröeder" nas superfícies à frente e atrás do técnico (Imagem 4.39).

Imagem 4.39: *Sala técnica do Estúdio 3 (Fonte: http://www.airstudios.com).*

Os Estúdios Dub A (Imagem 4.40) e Dub B são destinados à dublagem e pós-produção de programas e documentários para a televisão, com recursos de mixagem em dois, seis e oito canais.

Imagem 4.40: *Sala técnica do Estúdio Dub A, vista do local de acomodação de produtores e diretores (Fonte: http://www.airstudios.com).*

Ambas possuem poltronas localizadas atrás do técnico, para acomodar produtores e diretores que acompanham locuções e dublagens durante longos períodos de tempo. Segundo o consultor de acústica responsável pelo projeto, Angus McPherson[5], "como nessa etapa da produção audiovisual o que está em jogo é a inteligibilidade da palavra dos atores e sua sincronia com a imagem, os estúdios de dublagem possuem tempos de reverberação próximos de 0,2s, com paredes e forro revestidos de materiais porosos, altamente eficientes na absorção dos sons de altas e médias freqüências".

[5] Informação obtida por telefone

O Estúdio Soundesign (Imagem 4.41) é, na verdade, um laboratório destinado a criar e manipular praticamente todo tipo de som ou ruído para televisão, vídeo, DVD, CDRoms e videogames.

Imagem 4.41: *Estúdio Soundesign, de criação e modificação de sons (Fonte: http://www.airstudios.com).*

Por ser conectado a todos os demais estúdios do edificio, o Estúdio Soundesign pode registrar desde os sons mais simples até um coral de 120 cantores, provenientes de qualquer uma das salas do complexo, o que potencializa as possibilidades de criação de sons ali.

Imagem 4.42: *Recepção dos Estúdios Air (Fonte: http://www.airstudios.com).*

O projeto de restauração do edificio e de arquitetura dos estúdios foi feito pelo escritório Munroe Associates Architects (Imagem 4.42).

4.1.7. Dark Horse Studios

Os Estúdios Dark Horse estão instalados em uma fazenda nos arredores da cidade de Nashville, no estado do Tenessee, nos Estados Unidos da América (Imagem 4.43), e foram projetados por Gary Hedden, consultor de acústica. O complexo é formado por quatro estúdios: The Lodge, The Cabin, The Barefoot e The Protools Room.

Imagem 4.43: *Vista externa dos estúdios Dark Horse, Nashville, TN, EUA (Foto: Divulgação).*

Conversamos com o proprietário, Robbin Crow, que é arquiteto, e ele nos disse que uma de suas exigências ao consultor de acústica foi que todos os ambientes possuíssem iluminação natural.

Imagem 4.44: *Vista externa dos estúdios Dark Horse, Nashville, TN, EUA (Foto: Divulgação).*

O resultado é um conjunto de espaços acusticamente bem resolvidos, que atendem às expectativas de artistas e produtores que procuram um lugar calmo e distante do dia-a-dia das grandes cidades para produzir seus trabalhos (Imagem 4.44).

O estúdio The Lodge é o maior dos quatro, com uma sala técnica que pode acomodar até seis pessoas durante as sessões de gravação ou mixagem (Imagem 4.45). O pé-direito alto e a luz natural que entra pelas janelas dos ambientes tornam as sessões de gravação menos cansativas.

Imagem 4.45: *Sala técnica do estúdio The Lodge (Foto: Divulgação).*

A sala de gravação do estúdio The Lodge mede 7,5x6,5m, e possui pé-direito de 8m (Imagem 4.46). Há ainda uma segunda sala de gravação (3,5x4,5x4,5m) e um *box* de bateria.

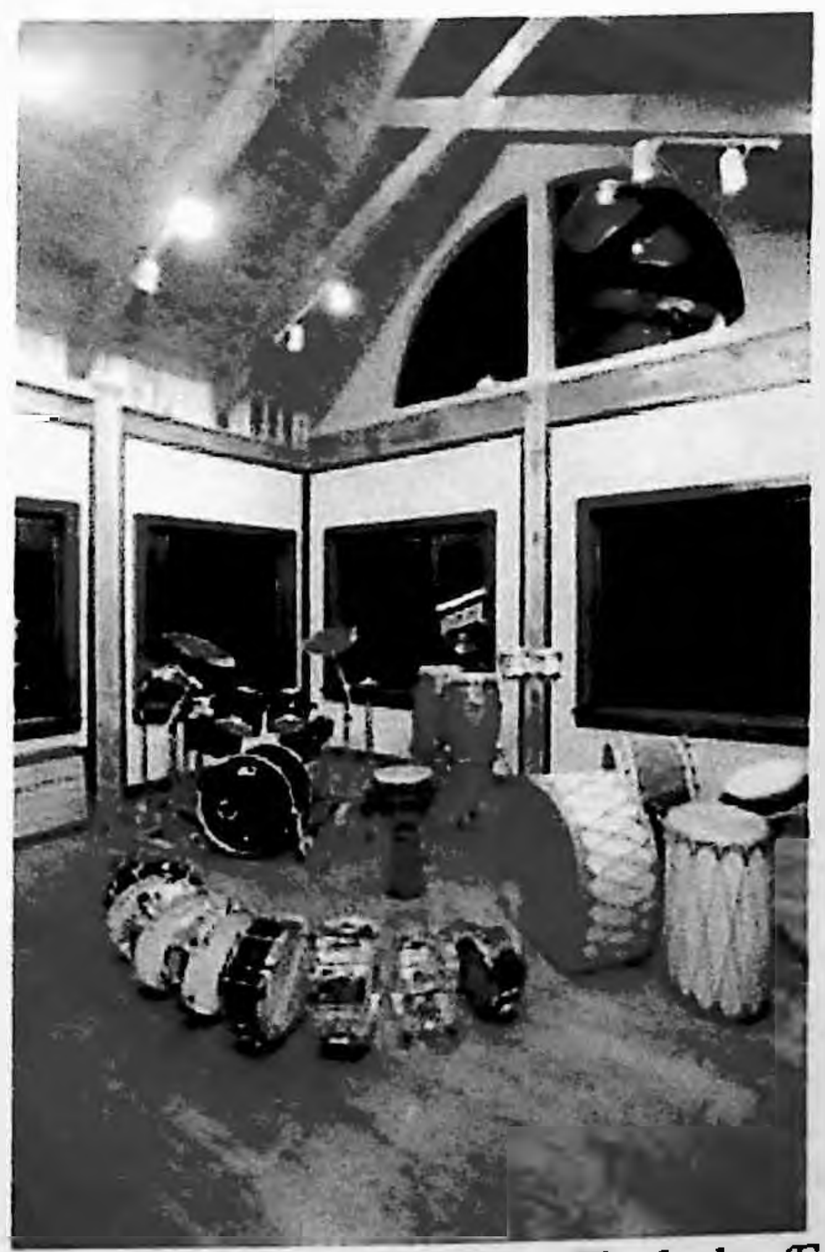


Imagem 4.46: *Sala de gravação do estúdio The Lodge (Foto: Divulgação).*

O estúdio The Cabin foi instalado em uma edificação separada do bloco principal (Imagem 4.47). Além da sala técnica (Imagem 4.48) e da sala de gravação principal, o estúdio possui mais quatro salas de gravação menores, cada uma delas com tempos de reverberação diferentes, para permitir o registro de diversos tipos de música.

Imagem 4.47: *Vista externa dos estúdios Dark Horse. À direita, o estúdio The Cabin (Foto: Divulgação).*

A sala de gravação principal do estúdio The Cabin mede 7,5x5,5m, com pé-direito de 6m. As demais salas medem 4,5x4x3,7m (Sala 2), 5x4x5m (Sala 3), 4,5x3x3,8m (Sala 4), e 4x3x3,4m (Sala 5).

Imagem 4.48: *Sala técnica do estúdio The Cabin (Foto: Divulgação).*

O estúdio The Barefoot possui uma sala técnica (Imagem 4.49) e duas salas de gravação.

Segundo o proprietário, Robbin Crow[6], "a iluminação natural, presente em todos os ambientes, é uma característica importante no projeto dos Estúdios Dark Horse. Além disso, o fato de os estúdios serem instalados em edificações existentes – que foram reformadas e adaptadas para tal – resultou em ambientes aconchegantes, quase caseiros".

Imagem 4.49: *Sala técnica do estúdio The Barefoot (Foto: Divulgação).*

The Protools Room é um estúdio digital, composto por uma sala técnica, uma sala de gravação, e uma sala de máquinas que acomoda o *mainframe* necessário para rodar o sistema operacional de gravação digital, e demais equipamentos.

Além da sala técnica e das salas de gravação, cada um dos quatro estúdios possui uma sala de estar e uma copa. E, como fica afastado da cidade (distante aproximadamente meia-hora de carro de Nashville), o Dark Horse possui acomodação em apartamentos para os clientes que vêm de outras regiões e não querem se deslocar diariamente entre o estúdio e o centro da cidade, onde se localizam os hotéis (Imagem 4.50).

Imagem 4.50: *Vista de um dos apartamentos à disposição dos clientes (Foto: Divulgação).*

[6] Informação obtida por telefone

4.2. ESTUDO DE CASO

A bibliografia disponível estabelece poucos parâmetros objetivos, tanto para o projeto de estúdios e salas de gravação, quanto para uma eventual análise de seu desempenho do ponto-de-vista acústico.

Como vimos no capítulo anterior, o nível de ruído de fundo no interior da sala (PNC) [BERANEK *et al* (1971)] e o seu tempo de reverberação (RT_{60}) [BERANEK (1962); SCHRÖEDER (1965); POLACK (1992)] são os parâmetros comumente apresentados como definidores da qualidade acústica de um estúdio. Inicialmente, pretendíamos verificar apenas o resultado de tais grandezas, mas optamos por acrescentar o EDT *(Early Decay Time)*, que tem se mostrado um parâmetro mais correlacionado com a sensação auditiva em salas para a música e para a palavra falada.

4.2.7. Objetivo principal do estudo

O principal objetivo deste estudo de caso foi analisar – e discutir – os resultados da apropriação de grandezas acústicas para se qualificar o desempenho de salas de gravação e salas técnicas, e verificar a necessidade – ou não – de se estabelecer parâmetros adicionais, quer seja para a qualificação desse tipo de sala, quer seja para seus projetos.

4.2.8. Objetivos secundários do estudo

Os objetivos secundários deste estudo de caso foram:

4.2.8.1. Analisar comparativamente os resultados obtidos na apropriação do nível de ruído de fundo, *EDT* e *T30* em salas técnicas, considerando dois casos específicos, e verificar a sua compatibilidade com as principais filosofias de projeto para esses ambientes: *LIVE, DEAD, LEDE, RFZ, CID e ESS*;

4.2.8.2. Analisar comparativamente os resultados obtidos na apropriação do nível de ruído de fundo, EDT e T30 em salas de gravação, considerando dois casos específicos.

4.2.3. Descrição do procedimento

Analisamos as características acústicas – obtidas *in-loco* – de duas salas de gravação e duas salas técnicas dos Estúdios Mosh, em São Paulo, por intermédio da apropriação de seu nível de ruído de fundo, EDT, e T30. Efetuamos medições nos ambientes do Estúdio C (Figura 4.03, acima) e do Estúdio A (Figuras 4.08 e 4.09, acima) que, apesar das diferenças entre as características espaciais e os equipamentos disponíveis em cada um deles, ambos têm atendido às necessidades técnicas do mercado profissional de gravação.

O equipamento utilizado nas medições foi um ***NC-10 Sound Analyzer***, fabricado pela empresa alemã *Cortex Instruments GmbH* (Anexo IV), devido à sua portabilidade e à sua facilidade de operação, o que tornou as sessões de análise mais objetivas.

4.2.4. Análise do resultado das medições

Os estúdios A e C são bastante diferentes entre si (Tabela 4.01), principalmente do ponto de vista de suas dimensões internas e do equipamento instalado em cada um. A sala técnica e a sala de gravação do Estúdio A são maiores e melhor equipadas que as do Estúdio C. Segundo BERANEK *et al* (1971), em estúdios de gravação nos quais os microfones são posicionados afastados das fontes sonoras, como no caso da gravação de orquestras, o nível de ruído de fundo deve ser de, no máximo, 30 dB(A). Já em estúdios onde os microfones são posicionados próximos às fontes sonoras, característica das gravações de música popular e rock, o nível de ruído de fundo deve ser de, no máximo 34 dB(A).

	Estúdio A		***Estúdio C***	
	Sala técnica	*Sala de gravação*	*Sala técnica*	*Sala de gravação*
Área (m2)	50,0	80,0	20,0	16,0
Pé direito (m)	2,90	4,00	2,70	2,70
Nível de ruído de fundo (dBA)	38	35	39	38

Tabela 4.01: *Área, pé direito e nível de ruído de fundo nos estúdios A e C (Mosh)*

Os resultados obtidos nas avaliações dos níveis de ruído de fundo, em ambas as salas de gravação, demonstram que estão um pouco acima dos níveis preconizados por BERANEK *et al* (1971) para estúdios profissionais, sendo que a sala de gravação do Estúdio A apresentou melhor desempenho nesse quesito.

Especificamente para salas técnicas, BERANEK *et al* (1971) não estipula os níveis de ruído de fundo considerados admissíveis. Entretanto, é possível concluir que ambas as técnicas visitadas apresentaram níveis de ruído de fundo superiores àqueles apropriados nas respectivas salas de gravação, em função do ruído provocado pelos equipamentos eletroeletrônicos que se encontravam ligados no momento de nossa visita, como computadores, gravadores e amplificadores.

Contrariando as recomendações da bibliografia disponível, as salas de gravação analisadas têm, internamente, a forma de um paralelepípedo, sem quebra de paralelismo entre as suas superfícies, o que nos remete de imediato à seguinte questão: até que ponto a "quebra" do paralelismo entre as superfícies de um determinado ambiente é necessária para garantir a qualidade do resultado de uma gravação feita ali?

COOPER (1976) recomenda que o tempo de reverberação (RT_{60}) em salas de gravação destinadas, predominantemente, a rock e música popular deve situar-se entre 0,25s e 0,75s (0,45s é ideal) em 500Hz e 1KHz.

Para EVEREST (1994), o objetivo em estúdios de locução é garantir que o tempo de reverberação (RT_{60}) se mantenha praticamente o mesmo em todo o espectro audível. Entretanto, isso é muito difícil de ser conseguido, especialmente nas freqüências mais baixas. Nas altas freqüências, esse ajuste é mais fácil, por intermédio da instalação ou remoção – conforme a necessidade – de materiais porosos. Em se tratando de baixas freqüências, a situação é bem diferente, pois os absorventes são, em geral, volumosos e difíceis de serem instalados, principalmente se não tiverem sido previstos no projeto do ambiente.

SPRING *et al* (1970) verificou que, a partir dos tempos de reverberação obtidos em uma sala de gravação, para as bandas de freqüências de 500Hz e 1KHz, seriam admissíveis os seguintes percentuais para as freqüências mais baixas: tempo de reverberação até 80% maior na banda de freqüência de 63Hz; até 20% maior em 125Hz; e, até 5% maior em 250Hz.

Segundo WALKER (1995), pesquisadores da *BBC – British Broadcast Corporation*, de Londres, observaram que, a partir de opiniões subjetivas, era possível estabelecer níveis de tolerância maiores para tempos de reverberação de sons de baixas freqüências, em percentuais relativos àqueles obtidos para os sons situados nas faixas de 500Hz e 1KHz, o que garantiria "sonoridade" à música tocada nesses ambientes.

Os resultados de EDT e T30 de cada uma das salas de gravação visitadas em relação a uma curva ideal (RT_{60}), construída a partir das afirmações de SPRING *et al* (1970), COOPER (1976), e WALKER (1995), são apresentados abaixo (Gráfico 4.01 e 4.01a):

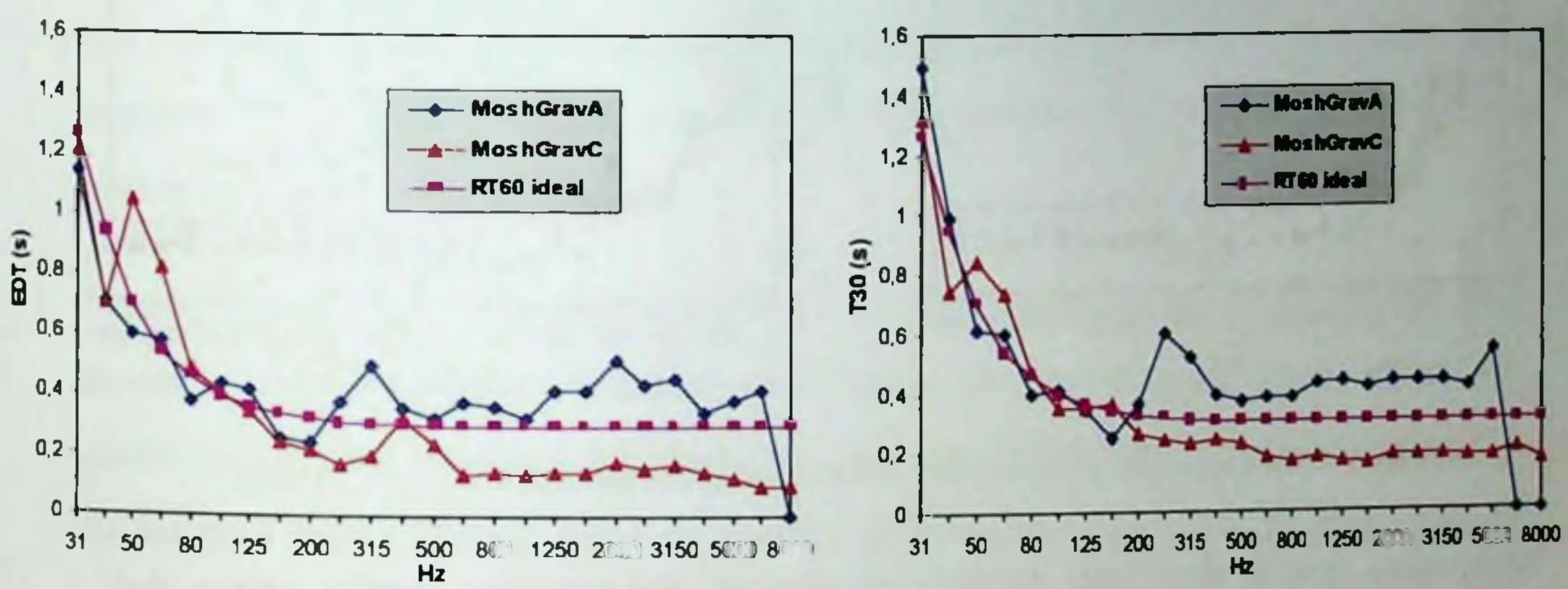


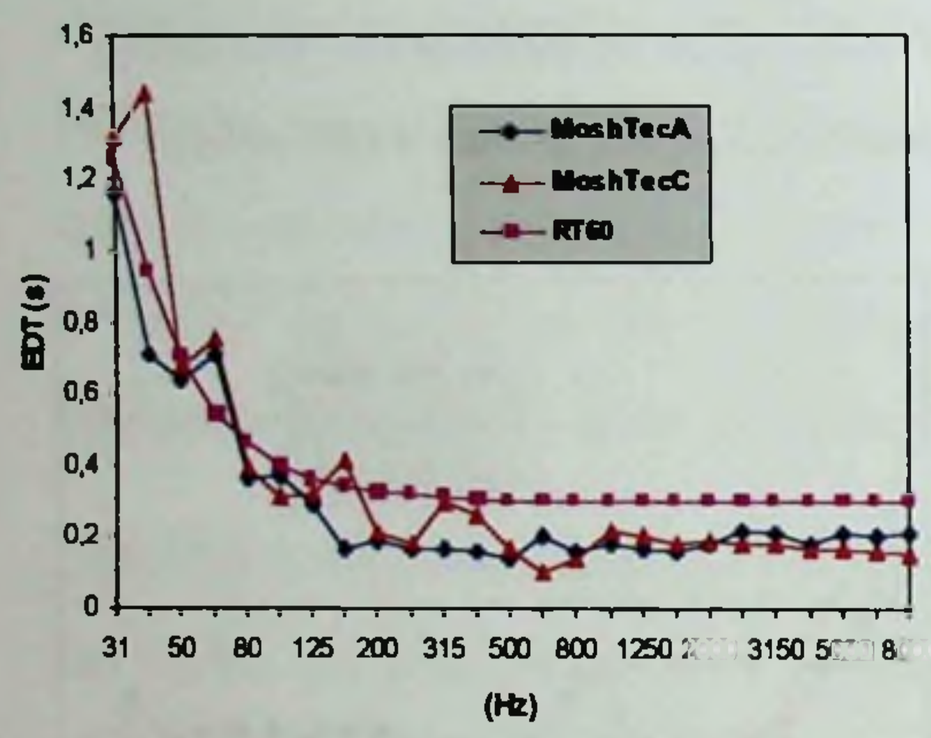
Gráfico 4.01 e 4.01a: *EDT e T30 medidos nas salas de gravação dos estúdios A e C (Mosh).*

Observamos que a sala de gravação do estúdio A apresenta alguns modos de baixas freqüências, entre 250Hz e 400 Hz, que não são adequadamente atenuados. Já na sala de gravação do estúdio C, o mesmo problema aparece entre 50Hz e 80Hz.

O fato de, a partir de 250 Hz, a curva correspondente à sala de gravação do estúdio A permanecer acima da curva ideal e, a do estúdio C, abaixo, deve-se, provavelmente, às diferenças entre as suas dimensões internas, uma vez que espaços maiores admitem tempos de reverberação maiores.

Entretanto, como as curvas de EDT e T30 são similares em ambas as salas de gravação, podemos inferir que seus campos sonoros têm características de campo difuso.

Os resultados de EDT e T30 das salas técnicas visitadas, em relação a uma mesma curva ideal (RT_{60}) – construída a partir das afirmações de SPRING *et al* (1970), COOPER (1976), e WALKER (1995), visto que a bibliografia disponível não é conclusiva em termos do tempo de reverberação ideal em salas técnicas – são apresentados abaixo (Gráfico 4.02e 4.02a):



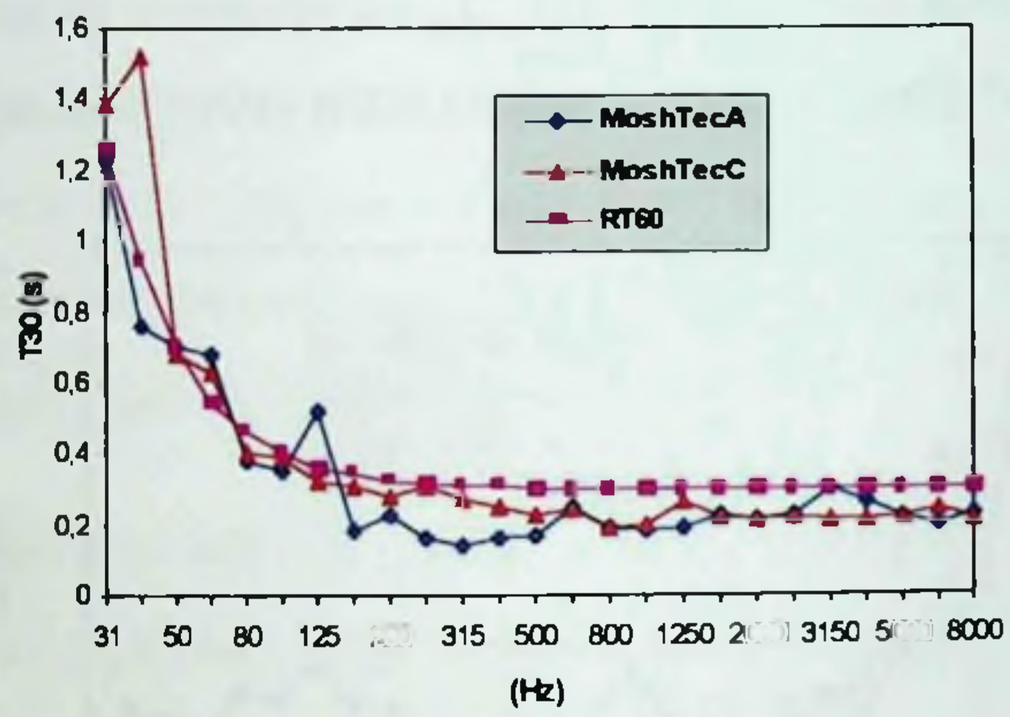


Gráfico 4.02 e 4.02a: *EDT e T30 medidos nas salas técnicas dos estúdios A e C (Mosh).*

Observamos que as duas salas técnicas apresentam desempenho similar acima dos 500Hz. Em ambos os casos,os valores medidos ficaram abaixo daqueles contidos na curva construída a partir das recomendações de SPRING *et al* (1970), COOPER (1976), e WALKER (1995). Isso revela que essas salas foram projetadas e construídas para apresentar tempos de reverberação muito baixos, em torno de 0,2s.

Abaixo dos 500Hz, a sala técnica do estúdio A se mostra mais bem resolvida do ponto de vista da absorção de baixas freqüências. Já a curva correspondente à sala técnica do estúdio C revela que, nesse ambiente, alguns modos abaixo dos 80Hz não foram atenuados.

A exemplo de suas respectivas salas de gravação, as curvas de EDT e T30 são similares em ambas as salas técnicas, o que nos permite inferir que seus campos sonoros também possuem características de campo difuso.

4.2.5. Conclusões deste estudo de caso

As grandezas acústicas medidas (nível de ruído de fundo, EDT e T30) não se mostraram suficientes para determinar a qualidade acústica de salas de gravação e salas técnicas em estúdios. Medir, analisar e compreender o fenômeno das primeiras reflexões, principalmente nas salas técnicas, pode ser decisivo na sua correta qualificação acústica.

Segundo WALKER (1995), "um efeito do tipo primeiras reflexões, que pode ser bastante prejudicial ao resultado acústico da área onde se situa o ponto de audição, na sala técnica, está diretamente relacionado às inúmeras primeiras reflexões provenientes das superfícies de objetos dispostos entre a fonte sonora (alto-falante) e o técnico ou engenheiro de som, como a grande superfície metálica da mesa de mixagem, por exemplo".

Será necessário, portanto, conhecer as características do *ITDG – Initial Time-Delay Gap* de cada uma delas, o que irá requerer a obtenção da resposta impulsiva do ambiente no ponto de audição, devido à influência que as características do *ITDG* têm na percepção da imagem estereofônica, fator primordial no trabalho do técnico e do engenheiro de som.

Referências bibliográficas

1. ALDRED, John. "Manual of sound recording", 2nd edition, Fountain Press Ltd., London, UK (1971).

2. ALMEIDA, Marília Sant'Anna de. "Em sintonia com a música". In: Revista Design & Interiores, ano 2, nº 09, pp 50-54 (1988).

3. ALMEIDA, Marília Sant'Anna de. "Estúdio premiado". In: Revista Design & Interiores, ano 6, nº 34, pp 60-64 (1993).

4. BERANEK, L. L. "Music, Acoustics, and Architecture". John Willey & Sons, New York, NY (1962).

5. BERANEK, Blazier and Figwer. "Preferred Noise Criterion (PNC) curves and their application to rooms", In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 50, pp 1223-1228 (1971).

6. CIPRIANO, Renato. "Acústica para salas de controle em surround". In: Áudio, Música & Tecnologia, nº 121, pp 96-102 (2001).

7. COOPER, Jeff. "Building a recording studio", 5th edition 1996. Synergy Group Inc., Los Angeles (1976).

8. D'ANTONIO, P. & Cox, T. J. "Room optimiser: a computer program to optimise the placement of listener, loudspeakers, acoustical surface treatment, and room dimensions in critical listening rooms". 103rd Convention of the Audio Engineering Society, preprint 4555, paper H-6, New York (1997).

9. DAVIS, D. "The role of Initial Time-Delay Gap in the acoustic design of control rooms for recording and reinforcing systems". 64th Audio Engineering Society Convention, USA (1979).

10. DAVIS, D. & Davis, C. "The *LEDE* concept for the control acoustic and psychoacoustics parameters in control rooms". In: Journal of the Audio Engineering Society, Vol.28, no. 9, pp 585-595 (1980).

11. DAVIS, C. & Meekes, G. E. "History and development of the *LEDE* control room concept". 66th Audio Engineering Society Convention. Los Angeles, CA (1982).

12. ELSEA, Peter. "Tratamiento acustico para el project studio". In: MIX Magazine en español, NovDec/97, pp 20-27 (1997).

13. ESCOBAR, Miriam. "Dois casarões, unidos após cem anos". In: Revista Projeto & Design, nº 261, Nov/01, pp 45-52 (2001).

14. EVEREST, F. Alton. "The master handbook of acoustics – 3rd edition". Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1994).

15. NEWELL, Phillip. "Recording spaces". Focal Press (a division of Reed Educational and Professional Publishing, Ltd.), Woburn, MA (1998).

16. PARRY, Andrew. "Early sound scattering & studio control room design". Sound On Sound Ltd., Cambridge, UK (1998).

17. PASSERI Jr., L. & Bistafa, S. R. "Análise e diagnóstico das características acústicas de estúdios e salas de gravação profissionais". XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Rio de Janeiro, RJ (2002).

18. POLACK, J. D. "Modifying Chambers to play billiards: the foundations of reverberation theory". In: Acustica, Vol. 76, Nº 1, pp 257-272 (1992).

19. SCHRÖEDER, M. R. "New method for measuring reverberation time". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 37, pp 409-412 (1965).

20. SPRING, N. F. & Randall, K. E. "Permission bass rise in talk studios". BBC Engineering, vol. 83, pp 29-34 (1970).

21. WALKER, R. "Controlled image design: the management of stereophonic image quality", BBC's Research and Development Report (1995).

22. WHITE, Paul. "The sound on sound book of creative recording II". Sanctuary Publishing Ltd., London, UK (1999).

Quinto Capítulo

Conclusões e recomendações para futuras pesquisas

5.1. CONCLUSÕES

Vimos que estúdios de gravação de áudio demandam soluções acústicas muito particulares, cujas necessidades vão além dos aspectos que envolvem o conforto de seus usuários. Conhecer tais necessidades, e atendê-las com um desenho eficiente, bem resolvido, e esteticamente interessante é o grande desafio para os arquitetos.

De uma forma mais específica em relação a cada um dos assuntos abordados em nosso trabalho, pudemos concluir o seguinte:

5.1.1. Em relação ao projeto

A principal conclusão deste trabalho em relação ao projeto de salas de gravação, salas técnicas e salas de masterização diz respeito à necessidade de uma abordagem bastante específica, por parte dos arquitetos, quando chamados a dar sua solução para o projeto de um estúdio de gravação de áudio.

Apesar da bibliografia disponível apresentar poucos parâmetros objetivos para o projeto desses ambientes técnicos em estúdios, é necessário que se adote uma linha de trabalho que garanta o atendimento de tais parâmetros ainda na gênese do projeto. Soluções *a posteriori* de problemas de acústica em estúdios costumam ser caras e raramente eficientes.

A correta solução acústica de estúdios de gravação de áudio, ainda que baseada somente nos parâmetros disponíveis, implica em decisões de desenho que terão conseqüências nos aspectos estéticos e de conforto do espaço construído. E, neste caso, o partido arquitetônico assume um papel decisivo.

5.1.2. Em relação ao ruído

Estúdios comerciais de gravação de áudio profissional são os que requerem os maiores índices de isolamento sonoro, o que implica em cuidados especiais na escolha de seu local de construção ou instalação. A proximidade em relação a fontes de ruído de grande intensidade e/ou a locais sujeitos à incidência de vibrações não é recomendável.

Como regra geral, para os estúdios que serão construídos em lotes urbanos, é recomendável que os ambientes da edificação nos quais o isolamento acústico é menos importante (como recepção, espera, escritório, sanitários e copa), sejam dispostos de modo que funcionem como uma espécie de barreira acústica em torno dos ambientes destinados a gravar e reproduzir música.

O cálculo do isolamento acústico de salas de gravação de estúdios de áudio deve levar em conta não só o ruído de fundo mas, também, os ruídos ocasionais – o ruído de fundo não pode conter elementos de natureza impulsiva, cíclica ou tonal.

É recomendável que o nível máximo de ruído de fundo para salas de gravação de estúdios de áudio seja igual ou inferior ao descrito na curva *PNC 15*, ou seja, 15 dB de nível de ruído de fundo, em 1.000 Hz. Em salas técnicas e em salas de masterização, é recomendável que esse nível não exceda aquele descrito na curva *PNC 20*.

Os cuidados com o isolamento de ruídos em salas de gravação são relativamente mais importantes que em salas técnicas e em salas de masterização, pois sons aparentemente imperceptíveis pelo ouvido humano são facilmente captados pelo microfone, e imediatamente transferidos para a gravação.

A necessidade de isolamento sonoro em salas técnicas e em salas de masterização dá-se na medida em que é preciso garantir uma certa liberdade de trabalho aos seus ocupantes, independentemente das atividades que estão sendo desenvolvidas nos ambientes adjacentes a elas – principalmente a sala de gravação, no caso do seu isolamento em relação à sala técnica.

5.1.3. Em relação ao tempo de reverberação

O cálculo do tempo de reverberação de um determinado ambiente é sempre estimado, e o valor obtido por intermédio da fórmula de Sabine constitui-se numa estimativa satisfatória, na maioria dos casos.

A sala de gravação deve ser projetada levando-se em conta o tipo predominante de música que se pretende gravar nela, ou possuir recursos de versatilidade acústica.

Em se tratando de música, o aumento no tempo de reverberação de baixas freqüências é, normalmente bem aceito, por garantir uma certa "sonoridade" à música, principalmente em salas de concerto. É recomendável, portanto, que o ambiente "participe" do resultado sonoro do material gravado, quando se trata de música sem amplificação, como é o caso de música clássica. Presumivelmente, algum acréscimo no tempo de reverberação em baixas freqüências, em salas de destinadas à gravação de música clássica, é tolerável.

Em salas de gravação planejadas para trabalhar predominantemente com música pop e rock (com instrumentos amplificados e a grande maioria das melodias interpretadas por vocais), uma maior neutralidade do ambiente, decorrente de tempos de reverberação mais baixos, é recomendável. Neste caso, tempos de reverberação maiores para os sons de baixas freqüências não são recomendáveis.

Em salas de gravação, destinadas à locução e à gravação da palavra falada, o tempo de reverberação deve ser baixo, e não deve apresentar diferenças significativas entre as bandas de freqüências ao longo de todo o espectro audível.

É recomendável que o tempo de reverberação (500 Hz) de salas de gravação esteja situado dentro dos seguintes intervalos, de acordo com seu uso predominante:

- Gravação de música sem amplificação e orquestras: entre 0,6s e 1,2s;
- Gravação de música pop e rock, com uso de amplificadores: entre 0,2s e 0,6s;
- Gravação da palavra falada e locução: entre 0,3s e 0,6s).

As propriedades acústicas de salas técnicas e de salas de masterização não podem interferir na percepção do material gravado, por parte do técnico. Sua resposta em freqüências e seu tempo de reverberação não podem variar de maneira acentuada, de um ponto a outro do ambiente.

Como não há consenso, entre os diversos autores, a respeito dos tempos de reverberação médios considerados ideais em salas técnicas, é recomendável que se trabalhe com valores intermediários em relação àqueles obtidos a partir das fórmulas propostas por RETTINGER (1977) e CIPRIANO (2001).

É recomendável, ainda que preliminarmente, adotar os mesmos parâmetros propostos por RETTINGER (1977) e CIPRIANO (2001) para a determinação dos tempos de reverberação em salas de masterização.

5.1.4. Em relação à difusão

A difusão sonora tem-se mostrado um como um dado importante na qualificação acústica de pequenos ambientes, como as salas técnicas e as salas de masterização, na medida em que suas dimensões internas não são capazes de acomodar determinados modos de freqüências abaixo de 300Hz e, portanto, não são capazes de garantir um campo sonoro difuso.

É recomendável, portanto, buscar condições favoráveis à difusão sonora, por intermédio da forma das salas, do não-paralelismo entre superfícies opostas, de irregularidades geométricas, da instalação de difusores e da correta aplicação de materiais e dispositivos de absorção sonora.

Salas de gravação, destinadas a gravar pop e rock, devem permitir a isolação entre os sons dos instrumentos, ao invés de misturá-los, o que provoca vazamento entre os canais e compromete o conceito de gravação multi-pista. Salas de gravação, destinadas a gravar orquestras e música sem amplificação, devem contribuir para a sensação de "conjunto" e, portanto, é recomendável que sejam ambientes que apresentem condições favoráveis à difusão sonora.

Salas técnicas e salas de masterização também requerem condições favoráveis à difusão sonora. Em salas técnicas, é muito importante que o som dos monitores seja ouvido – perfeita e igualmente – em diversos pontos do ambiente, de modo que o técnico possa mover-se para acessar equipamentos e periféricos, sem perder a real referência sonora da gravação. Produtores e músicos presentes na sala devem ter a mesma percepção do técnico, para que possam avaliar a qualidade do material gravado a partir dos mesmos referenciais sonoros.

A instalação de difusores tipo "Schröeder", principalmente na parede oposta ao visor que separa a sala técnica da sala de gravação, tem-se mostrado um recurso eficiente – e amplamente utilizado – no condicionamento acústico de salas técnicas

5.1.5. Em relação à geometria

O 'Gráfico de Bolt' tem-se mostrado uma referência satisfatória na determinação da proporção entre as medidas internas de ambientes, principalmente em salas de gravação. Salas que apresentem as três dimensões aproximadas devem, portanto, ser evitadas.

Superfícies côncavas são altamente desaconselháveis, pois resultam na concentração do som em alguns pontos em prejuízo de outros. Salas cúbicas constituem-se num anátema.

Salas técnicas e salas de masterização devem ser irregulares, com superfícies opostas não paralelas entre si, e apresentar simetria bilateral em relação ao seu eixo longitudinal. Em salas técnicas destinadas a mixagens em seis ou oito canais, a simetria quadrilateral é recomendada.

O posicionamento dos monitores tem-se mostrado como um fator importante na qualidade acústica de salas técnicas e salas de masterização. Monitores embutidos em paredes apresentam melhores resultados que monitores expostos.

5.1.6. Em relação às filosofias de projeto

Salas de gravação podem ser divididas em três tipos (salas "vivas", com tempos de reverberação maiores, salas "mortas", com tempos de reverberação menores, e salas dotadas de "versatilidade acústica", cujo tempo de reverberação pode ser ajustado ao tipo de música a ser gravada), de acordo com a sua atividade predominante.

Salas técnicas podem ser: *Live, Dead, LEDE, RFZ, ESS,* e *CID*. As duas primeiras (*Live* e *Dead*) filosofias não são recomendáveis, por não serem capazes de atender às necessidades de difusão sonora e percepção da imagem multicanal, por parte do técnico. As demais apresentam vantagens e desvantagens, que devem ser analisadas em função do uso predominante da sala.

Salas de masterização não tem sido objeto de uma análise mais aprofundada do ponto de vista de seu projeto, o que tem levado alguns autores a adotar parâmetros semelhantes àqueles empregados no projeto de salas técnicas.

5.1.7. Em relação aos parâmetros de avaliação da qualidade acústica dos ambientes

Nível de ruído de fundo, tempo de reverberação (T30), e *Early Decay Time* (EDT) não se mostraram suficientes, ainda que preliminarmente, para avaliar e determinar a qualidade acústica de salas de gravação e salas técnicas em estúdios de áudio.

O EDT (JORDAN, 1980), que tem demonstrado ser um parâmetro mais correlacionado com a sensação auditiva em salas para a música e para a palavra falada, não tem sido levado em conta pela maioria dos autores no que se refere à análise de ambientes em estúdios de gravação.

Medir, analisar e compreender o fenômeno das primeiras reflexões, principalmente em salas técnicas, poderá ser decisivo na sua correta qualificação acústica. Portanto, acreditamos que será necessário conhecer também as características do *ITDG – Initial Time-Delay Gap* desses ambientes, obtido a partir de sua resposta impulsiva.

5.2. SUGESTÕES DE TEMAS PARA FUTURAS PESQUISAS

Durante o desenvolvimento deste trabalho, procuramos voltar nossa atenção ao seu principal objetivo, que foi reunir informações e recomendações que subsidiassem a elaboração de projetos de estúdios de gravação de áudio.

Entretanto, nesse período, deparamo-nos com diversas questões que concorreram para a formulação das seguintes sugestões de temas para futuras pesquisas:

5.2.1. Arquitetura de salas técnicas e o seu *ITDG*

Concluímos que, para uma análise mais aprofundada da qualidade acústica de salas, será necessário conhecer as características do seu *ITDG – Initial Time-Delay Gap*, por intermédio da obtenção da resposta impulsiva do ambiente no ponto de audição, devido à influência que as características do *ITDG* têm na percepção da imagem estereofônica, fator primordial no trabalho do técnico e do engenheiro de som.

A partir de um universo cientificamente analisável, a pesquisa seria feita em salas técnicas de estúdios de gravação em várias cidades brasileiras e, se possível, na Inglaterra e nos EUA, onde estão instalados alguns dos melhores estúdios do mundo.

Utilizando equipamento apropriado, efetuaríamos medições nessas salas para apropriar seu nível de ruído, *EDT*, *T30* e *ITDG*. Uma matriz de avaliação de salas seria proposta para cruzar os resultados obtidos nessas medições com informações de seu projeto e do ambiente construído, a fim de compreender quais decisões do projeto de arquitetura realmente interferem na resposta impulsiva em pontos diferentes de uma sala, e o quanto a resposta impulsiva da sala efetivamente contribui para o resultado das qualidades acústicas percebidas pelos usuários.

5.2.2. Parâmetros subjetivos e parâmetros objetivos para a análise de ambientes em estúdios de gravação

Dissemos acima que alguns dos parâmetros objetivos, associados a sensações subjetivas, relacionados por SIEBEIN *et al* (1997), poderiam subsidiar um eventual trabalho de

investigação dessa associação em ambientes menores, como aqueles que compõem a maioria dos estúdios de gravação.

Os parâmetros que, em nossa opinião, nos parecem relacionados com algumas das sensações subjetivas descritas pelos diversos autores, em relação à qualidade acústica de ambientes de estúdios de gravação são:

- ST_1, que pode estar relacionado uma maior ou menor sensação de "conjunto" dos músicos tocando seus instrumentos durante uma sessão de gravação;
- *BR(EDT)* e o *TR(EDT)*, que podem estar relacionados com as sensações de músicos tocando na sala de gravação, ou dos engenheiros e produtores na sala técnica.
- E o *ITDG*, por sua vez, que também pode estar relacionado à qualidade da percepção sonora na sala técnica.

Assim como a sugestão de futura pesquisa descrita acima, para esta também seria necessário contar com um universo de amostras cientificamente analisável, além de equipamentos adequados para as medições.

5.2.3. Análise comparativa do desempenho acústico de quatro filosofias de projeto de salas técnicas de estúdios de gravação de áudio

O objetivo desta pesquisa seria colocar lado a lado as quatro filosofias de projeto de salas técnicas mais conhecidas e utilizadas: *LEDE, RFZ, ESS* e *CID*.

Evidentemente que, se comparássemos ambientes com dimensões, materiais e equipamentos diferentes uns dos outros, o resultado seria pouco significativo, dadas as inúmeras variáveis em jogo.

Nossa sugestão – ambiciosa, diga-se – consiste em, num primeiro momento, desenvolver quatro projetos de salas técnicas (cada um deles baseado numa das filosofias), para um mesmo ambiente, utilizando o máximo possível de materiais comuns aos quatro.

Em seguida, cada um dos projetos seria construído nesse local, um de cada vez. Depois de pronta, a sala técnica seria utilizada normalmente durante um determinado período, enquanto medições seriam feitas. Findo esse período, a construção seria desfeita para dar lugar à filosofia seguinte, que depois daria seu lugar à outra e, esta, à última das quatro.

Terminado esse período (estimado em, no mínimo, dois anos para construir, testar, e demolir as quatro opções), com base nos resultados das medições e nas sensações subjetivas de um universo cientificamente analisável de usuários, esses dados seriam cruzados para tentar demonstrar o que essas filosofias têm em comum, e quais as vantagens reais de cada uma delas.

Glossário

Absorção sonora: Dissipação, condução e transmissão da energia sonora, nas mudanças de meio de propagação, ou simplesmente dissipação dessa energia, ao se propagar em um meio homogêneo e isotrópico.

Absorvedor suspenso: Cada um dos dispositivos de absorção sonora, geralmente na forma de painéis suspensos ao teto ou às paredes laterais, distribuídos espacialmente em um recinto, com a finalidade de reduzir níveis de som ou de ruído ambiente.

Ambiente surdo: Aquele onde a reverberação dos sons é muito reduzida pela presença de materiais e objetos fortemente absorventes do som.

Ambiente vivo: Aquele onde a reverberação dos sons é favorecida pela predominância no contorno de superfícies refletoras do som, normalmente de materiais duros e lisos.

Amplitude: Em ondas sonoras mais simples (aquelas correspondentes aos tons puros), a pressão do ar varia alternadamente, para mais e para menos, em relação à pressão atmosférica normal. Essa variação de pressão (para mais e para menos) pode ser representada pela distância da curva que descreve esse movimento, em relação ao nível normal (ou zero). A essa distância, medida num dado momento ao longo do tempo, chamamos de amplitude da onda.

Bandas de freqüências: Cada um dos intervalos em que a faixa de freqüências audíveis costuma ser subdividida para permitir a análise parcelada de sons e ruídos. As bandas de freqüência de uso mais generalizado são as "bandas de oitavas" e "bandas de terços de oitavas". As primeiras são mais apropriadas a análises de acústica relacionada à música. Para uma análise que requer mais precisão, esse espectro é dividido em faixas mais estreitas, ou seja, as bandas de terços de oitavas. As freqüências *(f)* adotadas, por convenção, para a análise do espectro sonoro por bandas de oitavas são as seguintes:

f(Hz)	31,5	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.000

Barreira acústica: Obstáculo contraposto à livre propagação do som.

Coloração: Fenômeno que ocorre em determinados recintos, resultante da existência de ondas estacionárias ou de ressonâncias da própria sala, quando é possível perceber que algumas freqüências levam mais tempo para deixar de serem ouvidas, ou seja, permanecem por mais tempo no ambiente, perceptíveis aos nossos ouvidos.

Comprimento de onda: É a distância absoluta que uma determinada onda sonora necessita para perfazer um ciclo completo de compressão e expansão. A velocidade (V), a freqüência (f), e o comprimento de onda (λ) são definidos pela fórmula:

$$V = f(\lambda)$$

Como no ar a velocidade do som é constante, a freqüência e o comprimento de onda são inversamente proporcionais entre si, ou seja, quanto maior a freqüência de um som, menor será seu comprimento de onda.

Condicionamento acústico de um recinto: Conjunto de providências necessárias à otimização das características acústicas de um determinado recinto, tendo em vista a função a que se destina.

Contorno de um recinto: Conjunto de superfícies que limitam fisicamente o seu espaço interno (superfícies das paredes, piso, forro, caixilhos e de itens circunstanciais de revestimento, depositados ou aplicados, como tapetes, cortinas, lambris e outros. Os trechos de superfície recobertos por esses revestimentos deixam de ser considerados como integrantes do contorno).

Decibel (ou dB): Sistema logarítmico de classificação de intensidades sonoras, onde todas as intensidades são consideradas múltiplos do limiar da audição humana. Se tentássemos relacionar os sons de acordo com a gama de intensidades que eles produzem, seria necessário uma escala com bilhões de valores, dada a extensão da capacidade auditiva do ser humano. E um sistema como esse seria muito difícil de ser utilizado na prática. Por isso, foi criado um sistema que condensa essa vasta gama de intensidades sonoras numa escala mais fácil de ser utilizada, chamada de sistema decibel. No sistema decibel, todas as intensidades são consideradas múltiplos do limiar da audição. Cada múltiplo (de 10) é chamado de Bel.

Por exemplo: se a intensidade sonora de um determinado som corresponde a três múltiplos de dez (10x10x10), ou seja, 1.000 vezes maior que o limiar da audição, esta intensidade corresponde a 3 Bels; analogicamente, se a intensidade sonora de um outro som corresponde a seis múltiplos de dez (10x10x10x10x10x10), ou seja, 1.000.000 de vezes maior que o limiar da audição, esta intensidade corresponde a 6 Bels; e, assim, sucessivamente. Como o Bel é uma unidade muito grande, foi necessário dividi-lo em dez sub-unidades, cada uma delas chamada de decibel (dB). Nos exemplos anteriores, o primeiro corresponderia a uma intensidade de 30 dB e, o segundo, a uma intensidade de 60 dB.

Decibel (A) (ou dBA): Escala ponderada criada para medir níveis de pressão sonora, levando em conta as variações de sensibilidade do ouvido humano em cada freqüência. A principal característica dessa escala é ajustar os níveis objetivos (medidos em dB), por banda de freqüência, àqueles realmente percebidos pelo ouvido humano.

Difração sonora: Alteração parcial na frente de onda de som ao transpor um obstáculo, por encurvamento dos raios sonoros que tangenciam esse obstáculo.

Distorção harmônica: O ouvido humano, muitas vezes, adiciona seus próprios harmônicos aos sons de maior intensidade. Um tom puro de 500Hz em volume - ou intensidade sonora - suficientemente elevado, produzirá no ouvido harmônicos de 1000Hz e 1500Hz, entre outros. Nesta situação, alguns harmônicos que, normalmente, não seriam percebidos pelo ouvido, são claramente destacados. Por isso, essa produção de harmônicos que não estão presentes no sinal original é chamada de distorção harmônica.

Ensaio acústico: Conjunto de procedimentos normalizados, ou objetivamente organizados, necessários à obtenção, análise e informação de dados representativos de um fenômeno sonoro.

Fase: Como as ondas são fenômenos que se repetem, elas podem ser divididas em intervalos regulares de ocorrência, que são medidos em graus. Cada comprimento de onda completo corresponde a 360 graus do percurso da onda.

Se duas ondas iniciam seu percurso num mesmo momento, dizemos que elas estão em fase. Às ondas que iniciam seus percursos em momentos distintos, dizemos que estão fora de fase.

Forma: Os harmônicos presentes numa onda sonora qualquer são os responsáveis por lhe conferir sua forma característica. A representação gráfica de uma onda sonora relativa a um tom fundamental qualquer tem a forma de uma senóide. A adição de um segundo harmônico cria uma forma nova, um pouco mais complexa. Sucessivamente, adição de mais e mais harmônicos vai criando formas de onda cada vez mais complexas. Por isso, em geral, a forma de uma onda qualquer é determinada pela complexidade de sua estrutura harmônica.

Freqüência: A velocidade com que as ondas são regularmente produzidas a partir de uma mesma fonte sonora é chamada de freqüência *(f)* de vibração. Essa velocidade é medida em ciclos por segundo *(cps)* ou hertz *(Hz)*. O período de tempo levado por um ciclo completo é chamado de período *(t)* de vibração. Os seres humanos são capazes de escutar as freqüências compreendidas no intervalo entre 20Hz e 20kHz. Este intervalo é chamado de espectro audível.

Freqüência centro-de-banda: Freqüência indicativa de uma banda de freqüências, na qual ocupa uma posição mediana ou de "centro". O "centro" de uma banda de oitava, ou de terço de oitava, é uma freqüência preferencial cujo valor é, aproximadamente, a média geométrica dos valores extremos do intervalo.

Harmônico: Diz-se do fenômeno periódico cuja freqüência é um múltiplo inteiro da freqüência de outro. O tom fundamental (200Hz) é chamado de primeiro harmônico. Seus sucessivos múltiplos são chamados de segundo harmônico (400Hz), terceiro harmônico (600Hz), quarto harmônico (800Hz) e, assim, sucessivamente.

Inteligibilidade: Porcentagem das seqüências sonoras emitidas por uma fonte e que são percebidas corretamente por um ouvinte.

Intensidade sonora: Sons, vozes e ruídos têm sua origem a partir de vibrações. A uma dada distância, a partir de uma fonte sonora pontual qualquer, sua onda sonora possui

uma intensidade característica. Essa intensidade diminui na medida em que a distância em relação à fonte aumenta. A intensidade de um campo sonoro é definida como o fluxo de potência acústica (medida em *watts*) através de uma área dada (medida em metros quadrados). Portanto, a intensidade sonora é sempre medida em watts por metro quadrado (W/m^2). Para que um som seja ouvido, ele deve possuir uma intensidade mínima igual ou superior a 0,000.000.000.001 watts por metro quadrado ($10^{-12}W/m^2$), o chamado limiar da audição. O ouvido humano é sensível a uma vasta gama de intensidades sonoras, que vão de $10^{-12}W/m^2$ a $10^3W/m^2$, aproximadamente.

Fonte	*Intensidade (W/m^2)*
Banda de rock no palco	10
Som de um violão (a 1m de distância)	0,000.01
Voz humana (conversa a 1m de distância)	0,000.001
Sussurro (a 1m de distância)	0,000.000.000.1

Intimidade acústica: Sensação de maior ou menor grau de envolvimento de um ouvinte com um fato sonoro, especialmente música, sensação essa determinada pelo espaço acústico ou recinto em que esse fato sonoro ocorre.

Isolamento sonoro de um recinto numa faixa de freqüências, em relação a um recinto contíguo ou em relação ao meio externo: Redução do nível médio de pressão sonora (expresso em decibels: dB), na faixa de freqüências em questão, proporcionada pelo conjunto de elementos construtivos que abrigam, em termos sonoros, este recinto em relação a outro contíguo, ou ao meio externo.

Material acústico: Qualquer material, considerado em termos de suas propriedades acústicas. Inadequadamente, tornou-se costume chamar de materiais acústicos, quase exclusivamente, os materiais absorventes sonoros especiais, ou seja, aqueles especialmente propostos com a finalidade de absorver sons.

Nível sonoro contínuo equivalente: Nível sonoro contínuo que, num certo intervalo de tempo, representa a mesma quantidade de energia sonora, que a soma das parcelas de energia correspondentes às flutuações de nível sonoro efetivamente ocorridas naquele período.

NRC: Sigla da expressão *Noise Reduction Coefficient* (Coeficiente de Redução Sonora, em português), que é uma média aritmética dos coeficientes de absorção sonora (α) de um determinado material, em 250, 500, 1000 e 2000Hz. Trata-se de um número que procura expressar a eficiência de um dado material na absorção de médias freqüências. Não representa, como a tradução em português parece sugerir, a diferença de níveis sonoros entre duas condições ou entre dois ambientes.

Ondas estacionárias: São ondas sonoras cujas vibrações originais são reforçadas por suas próprias reflexões nas superfícies internas de um ambiente. Os ambientes, em geral, possuem diversas ondas estacionárias e, portanto, estão sujeitos a esse fenômeno.

Ondas sonoras: Ondas de pressão que se propagam num meio elástico, tendo a freqüência situada entre 20 E 20.000 Hz e que são as responsáveis pelos fenômenos acústicos. Quando, por exemplo, uma das cordas de um violão é colocada em vibração (a partir do toque do dedo ou da palheta), o ar a sua volta reage de maneira elástica. Ele é, alternadamente, comprimido e expandido, devido ao movimento rápido de vai-e-vem da corda vibrando. A um ciclo completo de compressão e rarefação do ar (em torno da fonte) chamamos de onda sonora.

Porosidade: Relação entre o volume ocupado por ar (passível de vazão) e o volume total do material (definição conforme TB-143).

Pressão sonora: O fenômeno pressão está diretamente associado à intensidade e pode ser medido a partir de um microfone. As medidas acústicas dadas em dB são, de fato, níveis de pressão sonora, ao invés de níveis de intensidade sonora.

Ressoador: Objeto oco avulso, ou câmara de ar de um elemento do contorno de um recinto, dotado de gargalo, ou de um ou mais orifícios, através dos quais o ar em seu interior pode ser posto em oscilações forçadas (ressonância) numa faixa estreita de freqüências, por uma excitação sonora externa, fenômeno esse que pode ser usado para reforço ou redistribuição do som no recinto.

Ressonância: É o fenômeno pelo qual um determinado objeto é levado a vibrar quando sujeito a um som cuja freqüência corresponda à freqüência de ressonância desse objeto.

Todos os objetos, independentemente de seu tamanho, possuem uma freqüência de ressonância natural, determinada parcialmente por sua massa e sua flexibilidade. O exemplo do copo de cristal que vibra até se quebrar, a partir da emissão de um som com uma determinada freqüência é clássico e ilustra exatamente o fenômeno.

Reverberação: Reverberação é o declínio gradual do som num ambiente, após a(s) fonte(s) sonora(s) parar(em) de produzi-lo(s). O tempo que o som leva para ser reduzido em 60 dB, a partir de sua intensidade inicial, num determinado ambiente, é chamado de tempo de reverberação.

Reverberação do som num recinto: Reflexão do som, várias e sucessivas vezes, no contorno do recinto e nas superfícies de tudo o que nele estiver contido.

Ruído: Ruído é todo tipo de som considerado indesejável.

Ruído aéreo: Ruído produzido e transmitido através do ar.

Ruído ambiente: Superposição de ruídos, normalmente de naturezas diferentes e origens distintas, próximas ou remotas, dentre os quais nenhum é objeto de interesse, ou consideração específica.

Ruído de fundo: Conjunto de sons e ruídos que ocorrem conjuntamente com o fato sonoro objeto de interesse ou de consideração específica.

Ruído de impacto: Ruído produzido por percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar.

Som: Animais e seres humanos possuem uma membrana que limita o ouvido médio do externo (o tímpano). Nos seres humanos, essa membrana possui 0,1mm de espessura e 0,67cm2 de área. O som, portanto, é a sensação causada pela vibração do tímpano. Quando um objeto qualquer é levado a vibrar, uma série de impulsos é criada no ar que rodeia esse objeto (também chamado de fonte). Quando tais impulsos se chocam com o tímpano, fazendo-o vibrar, essa sensação é imediatamente transformada em sinais elétricos que são, então, enviados ao cérebro, que os decodifica.

Som aéreo: Som produzido e transmitido através do ar.

Som direto: Som que, emitido por uma fonte, chega diretamente ao ouvinte, antes de quaisquer reflexões em superfícies existentes à sua volta.

Som reverberado: Som que, emitido por uma fonte, chega ao ouvinte após múltiplas e sucessivas reflexões no contorno do recinto onde esse ouvinte se encontra, bem como nas superfícies de tudo o que estiver contido nesse recinto.

STC: Sigla da expressão *Sound Transmission Class* (em português: Classe de Transmissão Sonora), é um número que procura expressar a eficiência de um edifício (ou de um material de construção) na redução da propagação do som aéreo através dele. É normalmente medido – e apresentado – em bandas de freqüências de terços de oitavas e, quanto maior ele for – numa determinada banda de freqüências – mais eficiente é a construção (ou o material) na redução da propagação do som aéreo, nessa banda.

Tempo de reverberação: Tempo necessário para que a densidade média de energia acústica contida num volume dado, caia a 10^{-6} do valor inicial (60dB) a partir do instante em que a fonte de excitação for extinta.

Tempo ótimo de reverberação: Tempo de reverberação considerado ótimo em função do volume do recinto e do tipo de audiência nele destinado.

Timbre: Qualidade distintiva de sons de mesma altura e intensidade, e que resulta dos harmônicos coexistentes com o som fundamental. Qualquer nota produzida por um determinado instrumento musical contém diversos componentes da freqüência fundamental e de seus harmônicos. Isso varia de instrumento para instrumento e são essas diferentes combinações e nuances as responsáveis por diferenças nos timbres (ou na tonalidade) dos diversos instrumentos musicais.

Transmissão sonora indireta: Aplica-se muito caracteristicamente para os ensaios de determinação das isolações sonoras de partições. Transmissão de som aéreo do recinto de emissão para o de recepção, por meios outros que não através da partição comum a ambos.

Velocidade do som: É a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar, à temperatura de 21°C, partir de uma fonte qualquer, que equivale a 344,42m/s (aproximadamente 345m/s). Essa velocidade pode variar significativamente, para mais ou para menos, em função das condições de temperatura e umidade do ar. Em materiais sólidos, como a madeira e o aço, por exemplo, o som propaga-se muito mais rapidamente por eles serem mais elásticos que o ar.

Bibliografia

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.151-87. Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade.

2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.152-87. Níveis de ruído para conforto acústico.

3. ALDRED, John. "Manual of sound recording", 2nd edition, Fountain Press Ltd., London, UK (1971).

4. ALMEIDA, Marília Sant'Anna de. "Em sintonia com a música". In: Revista Design & Interiores, ano 2, nº 09, pp 50-54 (1988).

5. ALMEIDA, Marília Sant'Anna de. "Estúdio premiado". In: Revista Design & Interiores, ano 6, nº 34, pp 60-64 (1993).

6. ANDO, Y. "Concert hall acoustics". Springer, Berlim, Germany (1985).

7. ARAU-Puchades, H. "An improved reverberation formula". In: Acustica, Vol. 65, nº 4, pp 163-180 (1988).

8. ARDLEY, Neil. "Music". Dorling Kindersley, Ltd. London, UK (1988).

9. BARING, João G. de A. Contribuições para a correta resolução acústica dos edifícios. Dissertação de mestrado, FAUUSP (1981).

10. BARRON, M. & Marshall, A. H. "Spatial impression due to Early Lateral Reflections in concert halls: the derivation of a physical measure". In: Journal of Sound and Vibration, nº 77, pp 211-232 (1981).

11. BARRON, M. "Auditorium acoustics and architectural design". E & Fn Spon, London, UK (1993).

12. BERANEK, Blazier and Figwer. "Preferred Noise Criterion (PNC) curves and their application to rooms", In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 50, pp 1223-1228 (1971).

13. BERANEK, L. L. "Music, Acoustics, and Architecture". John Willey & Sons, New York, NY (1962).

14. BERANEK, Leo Leroy. "Concert hall acoustics". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 92, pp 01-39 (1992).

15. BERANEK, Leo Leroy. "Music, acoustics and architecture". John Wiley & Sons, Inc. New York, USA (1962).

16. BISTAFA, Sylvio R. "The acoustics for speech of eight auditoriums in the city of São Paulo". First Pan-American/Iberian meeting on acoustics, Cancún, MX (2002).

17. BOLT, R. H. "Note on normal frequency statistics for rectangular rooms". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 18, nº 1, pp 130-133 (1946).

18. BONELLO, O. J. "A new criterion for the distribution of normal room modes". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 29, pp 597-606 (1981).

19. BONER, C. P. "Performance of broadcast studios designed with surfaces of plywood". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 13, pp 244-247 (1942).

20. BURNS, William. Noise and man. John Murray, London, UK (1973).

21. CERVONE, R. P., Chiang, W., Siebein, G. W., Doddington, H. & Schwab, W. "The subjective and objective evaluation of three rooms for music listening". In: Journal of the Acoustical Society of America, Supplement 1, Vol. 88, 120th JASA Meeting, San Diego, CA (1990).

22. CERVONE, Richard. "Subjective and objective methods for evaluating the acoustical quality of buildings for music". Master's thesis. University of Florida, Gainesville, FL (1990).

23. CHIANG, W. "Effects on architectural parameters on six acoustical measures in auditoria". Ph.D. Dissertation, University of Florida, Gainesville, FL (1994).

24. CIPRIANO, Renato. "Acústica para salas de controle em surround". In: Áudio, música & tecnologia, nº 121, pp 96-102 (2001).

25. COHEN, Elizabeth & Fielder, L. [illegible] environments". In: Journal of the [illegible] (1992).

26. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente [illegible] 08/03/90. Assunto: poluição sonora ambiental [illegible]

27. COOPER, Jeff. "Building a recording studio [illegible] Inc., Los Angeles (1976).

28. CREMER, L. & Müller, H. A. "Principles and [illegible] Vols. 1 e 2 (English version). Applied Science [illegible]

29. D'ANTONIO, P. & Cox, T. J. "Room optimizer: a computer program to optimise the placement of loudspeakers, acoustical [illegible] and room dimensions in critical listening rooms". 85th Convention of the Audio Engineering Society, preprint 4555, paper [illegible] New York [illegible]

30. DAVIS, C. & Meekes, G. E. "History and development of the [illegible] room concept". 66th Audio Engineering Society Convention [illegible] (1982).

31. DAVIS, D. "The role of Initial Time-Delay Gap in the [illegible] rooms for recording and reinforcing systems". 64th Convention, USA (1979).

32. DAVIS, D. & Davis, C. "The LEDE concept: [illegible] psychoacoustics parameters in control rooms". In: Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 28, no. 9, pp. [illegible] (1980).

33. EGAN, M. D. "Architectural acoustics". New York [illegible]

34. EGAN, M. David. Concepts in architectural acoustics. New York [illegible]

35. ELSEA, Peter. "Tratamiento acústico para [illegible] en español, Nov/Dec/97, pp. 40-47 (1997).

36. ESCOBAR, Miriam. "Dois casarões, unidos após cem anos". In: Revista Projeto & Design, nº 261, Nov/01, pp 45-52 (2001).

37. EVEREST, F. A. & Shea, M. "How to build a small budget recording studio from scratch – 2nd edition (1988)", Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1979).

38. EVEREST, F. Alton. "The master handbook of acoustics – 3rd edition", Tab Books, McGraw-Hill, Inc. (1994).

39. EYRING, C. F. "Reverberation time in dead rooms". In: Journal of the Audio Engineering Society, Vol.21, pp 69-82 (1932).

40. FITZROY, D. "Reverberation formulae which seems to be more accurate with non-uniform distribution of absorption". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol.31, pp 893-897 (1959).

41. GADE, A. C. " Acoustical survey of eleven European concert halls". Report #44, The acoustics laboratory, Technical University of Denmark, Copenhagen (1989).

42. GILFORD, C. L. S. "The acoustic design of talk studios and listening rooms". Institute of Electronics and Engineering, Vol. 106B, pp. 245-258 (1959).

43. HO, Henry. "Produção no estúdio: desvendando os mistérios da gravação". In: Rock Brigade, nº 193, Ago/02, pp 38-39 (2002).

44. JORDAN, V. L. "Acoustical design of concert halls and theaters". Applied Science, London, UK (1980).

45. KUTTRUFF, H. "Nachhall und effective absorption in räumen mi diffuser wandreflexion". In: Acustica, Vol. 35, nº 3, pp 141-153, (1976).

46. KUTTRUFF, H. "Room acoustics - 3rd edition". Elsevier Science Publishers, Ltd. (1991).

47. LAROUSSE Grande Enciclopédia. Editora Nova Cultural Ltda. São Paulo, SP (1998).

48. LORD, Peter & Templeton, Duncan. "The architecture of sound: designing places of assembly". The Architectural Press, London, UK (1986).

49. LORD, Peter and Duncan Templeton. Detailing for acoustics. Architectural press, London (1986).

50. LOUDEN, M. M. "Dimension ratios of rectangular rooms with good distribution of eigentones". In: Acustica, Vol. 24, pp 101-103 (1971).

51. MAGRAB, E. B. Environmental noise control. John Wiley & Sons, NY (1975).

52. MANKOWSKY, V. S. "Acoustics of studios and auditoria". Focal Press, Ltd., London, UK (1971).

53. McCARTHY, Bob. "Factores acusticos: reflexiones". In: MIX Magazine en español, SetOut/98, pp 36-42 (1998).

54. MILLINGTON, G. "A modified formula for reverberation" In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 4, pp 69-82 (1932).

55. NEUBAUER, Reinhard O. "Prediction of reverberation time in rectangular rooms with non uniformly distributed absorption using a new formula". TecniAcustica 2000, Madrid, Spain (2000).

56. NEWELL, Phillip. "Recording spaces". Focal Press (a division of Reed Educational and Professional Publishing, Ltd.), Woburn, MA (1998).

57. PARRY, Andrew. "Early sound scattering & studio control room design", Sound On Sound Ltd., Cambridge (1998).

58. PARRY, Andrew. "Early sound scattering & studio control room design". Sound On Sound Ltd., Cambridge, UK (1998).

59. PASSERI Jr., L. & Bistafa, S. R. "Análise e diagnóstico das características acústicas de estúdios e salas de gravação profissionais". XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Rio de Janeiro, RJ (2002).

60. PMB – Prefeitura do Município de Bauru (SP). Lei 2.423/82.

61. PMC – Prefeitura do Município de Campinas (SP). Decreto 5.441, de 30/06/78.

62. PMC – Prefeitura do Município de Campinas (SP). Lei 2.516, de 16/06/61.

63. PMPA – Prefeitura do Município de Porto Alegre (RS). Decreto 8.185, de 07/03/83.

64. PMPA – Prefeitura do Município de Porto Alegre (RS). Lei complementar nº 65, de 22/12/81.

65. PMRJ – Prefeitura do Município do Rio de Janeiro (RJ). Decreto 5.412, de 24/10/85.

66. PMRJ – Prefeitura do Município do Rio de Janeiro (RJ). Lei 646, de 05/11/84.

67. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 11.567, de 30/10/74.

68. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 17.494/81.

69. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 34.569, de 06/10/94.

70. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 34.741, de 09/12/94.

71. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 35.928, de 06/03/96.

72. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Decreto 41.190/02.

73. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Lei 11.501, de 11/04/94.

74. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Lei 11.780, de 30/05/95.

75. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Lei 11.986, de 16/01/96.

76. PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo. Lei 8.106, de 30/08/74.

77. POLACK, J. D. "Modifying chambers to play billiards: the foundations of reverberation theory". In: Acustica, Vol. 76, Nº 1, pp 257-272 (1992).

78. RANDALL, K. E. & Ward, F. L. "Diffusion of sound in small rooms". Institute of Electronics and Engineering, Vol. 107B (1960).

79. REICHARDT, W., Abdel, A. & Schmidt, W. "Clarity". In: Acustica, Vol. 32, nº 126 (1975).

80. RETTINGER, Michael. "On the acoustics of control rooms". Audio Engineering Society – AES preprint, nº 1261 (1977).

81. SABINE, W. C. "Collected papers on acoustics". Harvard University Press, (1927).

82. SCHRÖEDER, M. R. "New method for measuring reverberation time". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 37, pp 409-412 (1965).

83. SCHWIND, David R. "Room acoustics: basic principles of reflection, diffusion and absorption". In: MIX Magazine, Vol.21, nº 8, pp 58-70 (1997).

84. SEPMEYER, L. W. "Computed frequency and angular distribution of the normal modes of vibration in rectangular rooms". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 37, nº 3, pp 413-423 (1965).

85. SETTE, W. H. "A new reverberation time formula". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 4, pp 193-210 (1933).

86. SIEBEIN, G. W. & Gold, M. A. "The concert hall of the 21st century: historic precedent and virtual reality". Architecture: material and imagined, Proceedings of the 85th ACSA Annual Meeting. Association of Collegiate Schools of Architecture, Washington, DC, pp 52-61 (1997).

87. SIEBEIN, G. W. & Kinzey Jr., B. Y. "Recent innovations in acoustical design and research". In: Architectural acoustics: principles and practice (edited byWilliam Cavanaugh & Joseph Wilkes), John Wiley & Sons, Inc., New York, NY (1999).

88. SIEBEIN, G. W. "A method to evaluate the acoustical consequences of conceptual decision in the studio design process". Proceedings of the 1986 ACSA Technology Conference, ACSA, Washington, DC (1988).

89. SOMERVILLE, T. & Ward, F. L. "Investigation of sound diffusion in rooms by means of a model". In: Acustica, Vol.1, nº1, pp 40-48 (1951).

90. SOUTHALL, B., Vince, P. & Rouse A. "Abbey Road: the story of the world's most famous recording studios". Omnibus Press, London, UK (1997).

91. SPRING, N. F. & Randall, K. E. "Permissible bass rise in talk studios". BBC Engineering, nº 83, pp 29-34 (1970).

92. TEMPLETON, Duncan and David Saunders. Acoustic design. Architectural press, London, UK (1986).

93. TOHYAMA, M., Suzuki, H., e Ando, Y. "The nature and technology of acoustic space". Academic Press, London, UK (1995).

94. VOLKMANN, J. E. "Polycylindrical diffusers in room acoustical design". In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 13, pp 234-243 (1942).

95. WALKER, R. "Controlled image design: the management of stereophonic image quality", BBC's Research and Development Report (1995).

96. WHITE, Paul. "The sound on sound book of creative recording II". Sanctuary Publishing Ltd., London, UK (1999).

Anexos

Anexo I

Avaliação do ruído ambiente em recintos de edificações visando o c onforto dos usuários - Procedimento

Março 1999Projeto 02:135.01-004

Acústica - Avaliação do ruído ambiente em recintos de edific ações visando
o conforto dos usuários - Procedimento

Origem: NBR 10152:1987 e errata de Junho 1992
CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:135.01 - Comissão de Estudo de Desempenho Acústico de Edificações
02:135.01-004 - Acoustics - Accceptable noise levels in room s inside
buildings.
Descriptors: Acoustics. Acoustic measurements.
Esta Norma é prevista para substituir a NBR 10152:1987

Palavras-chave: Acústica. Medições acústicas. Ruído ambient e. Ruído em
edificações5 páginas

SUMÁRIO

Prefácio
1. Objetivo
2. Referências normativas
3. Definições
4. Equipamentos de medição
5. Procedimentos de medição
6. Avaliação do ruído

Anexo
A - Método alternativo para a determinação do LAeq

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de
Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos
Comitês Brasileiros (CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS),
são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos
setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (
universidades, laboratórios e outros).
Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos CB e ONS , circulam
para Votação Nacional entre os associados da ABNT e demais interessados.
O anexo A é de caráter normativo.

1 Objetivo
1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do
ruído ambiente num determinado recinto de uma edificação.

1.2 Esta Norma especifica o método de medição e os intervalos em que devem se
situar os níveis de ruído, conforme a finalidade mais característica de
utilização do recinto.
NOTA) O método de avaliação envolve medições do Nível de Pressão Sonora
Equivalente LAeq; em decibels ponderados em "A", comumente chamado dB(A).

1.3 Esta Norma não se aplica à:
a) avaliação de riscos de perda de audição em decorrência do excesso de ruído.
NOTA 1) A esse respeito existe legislação específica do Ministério do Trabalho.
b) avaliação de ruído de vizinhança provocado por fontes passíveis de
regularização.
NOTA 2) A esse respeito existem exigências específicas indicadas nas Referências
Normativas
c) medição de ruído com caráter impulsivo, ou ruído com componentes tonais,
produzido no próprio recinto, ou oriundo de recinto contíguo.
d) à medição de ruído de ar condicionado.
NOTA 3) A esse respeito, existem exigências específicas indicadas nas
Referências Normativas.

2 Referências normativas
As normas relacionadas a seguir contém disposições que, ao serem c itadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma Brasileira. As ediçõ es indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas ci tadas a seguir. A ABNT possui a informação das Normas Brasileiras em vigor em um dado momento.

IEC 60651:1979 - Sound level meters
IEC 60804:1985 - Integrated averaging sound level meters
IEC 60942 :1988 - Sound calibrators
NBR 10151:1999- Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas v isando o conforto da comunidade
NBR 6401:1980 - Instalações centrais de ar condicionado para confo rto - Parâmetros básicos de projeto.

3 Definições
Para os efeitos desta Norma aplicam-se as seguintes definições:
3.1 nível de pressão sonora equivalente, LAeq, em dB(A): É o nível que, na hipótese de poder ser mantido constante durante o período de mediç ão, acumularia a mesma quantidade de energia acústica que os diversos níveis vari áveis acumulam no mesmo período.

3.2 nível de ruído ambiente Lra: É o nível de pressão sonora equiv alente, em dB(A), no local e horário considerados, na ausência do ruído gerad o por fonte sonora interferente.

3.3 fonte sonora interferente: É a de ocorrência alheia, ou tempor ária, em relação à finalidade mais característica de utilização do recinto em que se avalia o ruído ambiente.

3.4 ruído com caráter impulsivo: É todo ruído que contém impulsos, que são picos de energia acústica, com duração menor do que um segundo e que se repete a intervalos maiores do que um segundo.

3.5 ruído com componentes tonais: É o ruído que contém sibilos, chiados,
zumbidos ou rangidos.

4 Equipamentos de medição
4.1 Medidor de nível sonoro
O medidor de nível de pressão sonora, ou o sistema de medição, deve atender às
especificações da norma IEC 60651 para tipo 0, tipo 1, ou tipo 2. Recomenda-se que o equipamento possua recursos para medição de nível de pressão
sonora equivalente, em dB(A), conforme IEC 60804.

4.2 Calibrador acústico
O calibrador acústico deve atender às especificações da norma IEC 60942, devendo
ser classe 2, ou superior.

4.3 Calibração e ajuste dos instrumentos
O medidor de nível de pressão sonora e o calibrador acústico devem ter
certificado de calibração da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou do Instituto
Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), renovado,
no mínimo, a cada dois anos.

Uma verificação e eventual ajuste do medidor de nível de pressão sonora, ou do
sistema de medição, deve ser realizada pelo operador do equipamento, com o
calibrador acústico, imediatamente antes e após cada medição, ou conjunto de
medições relativas ao mesmo evento.

5 Procedimentos de medição
5.1 Condições gerais
Não deve ser efetuada medição de nível de ruído ambiente, num recinto de
edificação, na existência de fontes sonoras interferentes.

Todos os valores medidos do nível de pressão sonora, devem ser aproximados ao
valor inteiro mais próximo.

5.2 Condições específicas
As medições devem ser efetuadas a uma distância de, no mínimo, 1,0 m de
quaisquer superfícies como paredes, teto, piso e móveis.

O Nível de Ruído Ambiente Lra deve ser o resultado da média aritmé tica dos
valores medidos em, pelo menos, três posições distintas, sempre qu e possível,
afastadas entre si de, pelo menos, 0,5m.

Caso o equipamento não execute medição automática do LAeq, deve se r utilizado o
procedimento contido no Anexo A.

6 Avaliação do ruído
A avaliação do Nível de Ruído Ambiente Lra é feita por comparação com os valores
indicados na Tabela 1.
\Tabela 1

Tabela 1: Intervalos apropriados para o Nível de Ruído Ambiente L ra, em dB(A),
num recinto de edificação, conforme a finalidade mais característi ca de
utilização desse recinto.

Tipo de recintoNível de ruído ambiente
Lra em dB(A)
Academias de ginástica (procure pelo tipo de recinto específ ico da
academia)
Anfiteatros para esportes, shows, e cultos religiosos (sem o cupação)40 -
55
Auditórios para música sinfônica e ópera (sem ocupação)£ 25
Auditório para palestras (sem ocupação)30-40
Auditórios (outros/sem ocupação)25-35
Berçários e creches (sem ocupação)30-40
Bibliotecas35-45
Cinemas (sem ocupação)30-40
Clínicas (procure pelo tipo de recinto da clínica)
Clubes (procure pelo tipo de recinto do clube)
Consultórios de fonoaudiologia (sem ocupação)£ 30
Consultórios de psicoterapia (sem ocupação)£ 35
Consultórios médicos e dentários (sem ocupação)35-45
Enfermarias em hospitais35-45
Escolas (procure pelo recinto escolar específico)
Escritórios para projeto40-50
Escritórios privativos (sem ocupação)35-45
Escritórios de atividades diversas45-55
Estúdios grandes para rádio, TV e gravação (sem ocupação)£ 3

0
Estúdios pequenos para rádio, TV e gravação (sem ocupação)£
35
Ginásios para esporte (procure "Anfiteatros para esporte")
Hospitais (procure pelo recinto hospitalar específico)
Hotéis (procure pelo tipo do recinto do hotel)
Igrejas (sem ocupação)£ 40
Laboratórios45-55
Lojas de departamentos e lojas em shopping center40-50
Lojas de promoções50-60
Lojas de eletrodomésticos55-65
Museus (sem ocupação)£ 40
Quartos em apartamentos residenciais e em hotéis (sem ocupaç
ão)30-40
Quartos em hospitais35-45
Restaurantes intimistas35-45
Restaurantes populares50-60
Restaurantes (outros), refeitórios, cantinas e lanchonetes40
-50
Saguões de aeroportos, estações rodoviárias, metroviárias e
ferroviárias50-60
Saguões em geral45-55
Salas de aula (sem ocupação)35-45
Salas de dança e ginástica rítmica em academias (sem ocupaçã
o)40-50
Salas de espera40-50
Salas de estar em residências (sem ocupação)35-45
Salas de jogos carteados35-45
Salas de jogos (outros)45-55
Salas de musculação em academias (sem ocupação)35-45
Salas de treino e competição em academias (sem ocupação)45-5
5
Salas de música, TV e home theater30-40
Salas de reunião30-40
Salas de cirurgia30-40
Salas de computadores45-60
Teatros25-35

ANEXO A (normativo)
Método alternativo para determinação do laeq

A.1 Se o medidor de nível sonoro não tiver a função LAeq, o nível de pressão
sonora equivalente (Laeq) deve ser calculado pela fórmula:

onde:

Li é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada
10 segundos, durante pelo menos cinco minutos;
n é o número total de leituras.

Anexo II

S2.1 A S2.9 - PERMITIDOS EM:

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote (m)	Área mínima do lote (m²)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo lateral mínimo		Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação máx.	Coef. de aprov. máx.
					Até o 2º pav.	Acima do 2º pav.			
Z2	Sujeito a controle Especial	10	250	6	3 m de ambos os lados		6	0.5	1.0
Z3, Z12	Conforme			5	1.5 m apenas de um lado	3 m de ambos os lados	5		2.5
Z4					—			0.7	3.0
Z5				—	—		3 m acima do 2º Pav.	0.8	3.5
Z6	Sujeito a controle Especial	20	1.000	6	3 m de ambos os lados		6	0.7	1.5
Z7	Conforme	50	5.000	10	5 m de ambos os lados		10	0.4	0.8
Z11	Sujeito a controle especial	12	500	6	3 m de ambos os lados		6	0.5	1.0
ZML-I (Bras-Breser)	Conforme	Vide Art. 2º - Lei 9094/84							

S2.5 - Motéis e
S2.6 - Drive-in, cinema e lanchonete ao ar livre, somente poderão localizar-se em Z8.100 - Zona rural. (Lei 9.799/84)
Nos lotes da zona Z7, ocupados pela categoria de Uso S2, será exigida arborização de 40% de sua área total

§ 1º - Art. 20 - Lei 9.300/81

S2.1 - PERMITIDO EM:

É permitida a instalação em edificações regularmente existentes anteriormente à 31/12/81 com área superior a 250 m²

§ 2º - Art. 1º Lei 9.411A

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote (m)	Área mínima do lote (m²)	Recuo de frente mínima (m)	Recuo lateral mínimo		Recuo de fundo (m)	Taxa de ocupação máx.	Coef. de aproveit. máx.
					até o 2º pav. (m)	acima do 2º pav. (m)			
Z13, Z17	Conforme	10	250	5	1,5	33 m de ambos os lados	5	0,5	1,0

S2.2 - PERMITIDO EM:

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote (m)	Área mínima do lote (m²)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo lateral mínimo		Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação máx.	Coef. de aprov. máx.
					Até o 2º pav.	Acima do 2º pav.			
Z14	Conforme	25	2.000	10	3 m de ambos os lados		10	0.26	0.26

S2.5; S2.6 - PERMITIDOS EM:

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote (m)	Área mínima do lote (m2)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo lateral mínimo		Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação máx.	Coef. de aprov. máx.
					Até o 2º pav.	Acima do 2º pav.			
Z16	Conforme	50	5.000	10	10 m de ambos os lados		10	0.1	0.2

S2.5 - Motéis e
S2.6 - Drive-in, cinema e lanchonete ao ar livre, somente poderão localizar-se em Z8.100 - Zona Rural. (Lei 9.799/84)

S2.1; S2.2; S2.3; S2.4; S2.5; S.2.7 - PERMITIDOS EM:

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote (m)	Área mínima do lote (m2)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo lateral mínimo		Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação máx.	Coef. de aprov. máx.
					Até o 2º pav.	Acima do 2º pav.			
Z 18	Sujeito a controle especial	12	500	6	3 m de ambos os lados		6	0.5	1.0 *

S2.5 - Motéis somente poderão localizar-se em Z8.100 Zona Rural. (Lei 9.799/84)
(*) Z18 com restrição de gabarito em 25 m de altura.

S2.8 - PERMITIDO EM:

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote (m)	Área mínima do lote (m2)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo lateral mínimo		Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação máx.	Coef. de aprov. máx.
					Até o 2º pav.	Acima do 2º pav.			
Z18-003	Conforme	10	250	5	1.5 m um lado	3 m de ambos os lados	5	0.5	1.0 *

(*) Z18 com resitrição de gabarito em 25 m de altura.

S2.9 - ESTACIONAMENTO - PERMITIDO EM:

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote (m)	Área mínima do lote (m2)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo lateral mínimo		Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação máx.	Coef. de aprov. máx.
					Até o 2º pav.	Acima do 2º pav.			
Z17 Z18	Conforme	10	250	6	3 m de ambos os lados		6	0.5	1.0 *

(*) com restrição de gabarito em 25 m de altura.

S2.1 A S2.9 - PERMITIDOS EM

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote (m)	Área mínima do lote (m^2)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo lateral mínimo: Até o 2.º pav.	Recuo lateral mínimo: Acima do 2.º pav.	Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação máx.	Coef. de aprov. máx.
Z8-002	Vide Artigo 4.º da Lei 8.328/75								
Z8-006 Z8-029	Conforme	(b)	(b)	10	10m de ambos os lados		10	0.025	0.10
Z8-007-02 Z8-007-08 Z8-007-11	Conforme	15	500	6	—	3 m de ambos os lados	6	0.5	3.0
Z8-007-05 Z8-007-12	Conforme	20	1.000	6	—	3 m de ambos os lados	6	0.4	3.0
Z8-007-07	Conforme	(b)	(b)	10	5 m de ambos os lados		5	0.25	1.0
Z8-007-10 Z8-007-13	Conforme	20	1.000	6	3 m de ambos os lados		6	0.5	2.0
Z8-008 Z8-009 Z8-015	Sujeito a controle especial	50	5.000	6	3 m de ambos os lados		6	0.5	1.0
Z8-013	Sujeito a controle especial	20	1000	6	3 m de ambos os lados		6	0.4	1.0
Z8-030 Z8-034	Vide Artigos 7.º, 8.º, 9.º, 10, 11 da Lei 8.328/75								
Z8-040-02	Conforme	12	500	6	3 m de ambos os lados		6	0.5	1.0
Z8-057	Conforme	25	2.500	10	3 m de ambos os lados		10	0.5	1.0
Z8-060-01 Z8-060-03	Sujeito a controle especial	20	1.000	6	3 m de ambos os lados		6	0.7	1.5
Z8-060-02	Conforme	(b)	(b)	6	2 m de ambos os lados	3 m de ambos os lados	6	0.2	0.4
Z8-068	Conforme	30	1.500	10	10 m de ambos os lados		10	0.5	1.0

(b) Não serão permitidos novos parcelamentos.
S2.5 Motéis e,
S2.6 Drive-In ,Cinema e Lanchonete ao ar livre.Somente poderão localizar-se em Z8.100 - Zona Rural. (Lei 9.799/84)

S2.1, S2.2, S2.4, S2.5 E S2.7 - PERMITIDOS EM:

Zona de uso	Classificação de uso	Frente mínima do lote .(m)	Área mínima do lote (m^2)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo lateral mínimo: Até o 2.º pav.	Recuo lateral mínimo: Acima do 2.º pav.	Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação	Coef. de aprov.
Z8-070	Conforme	30	1.500	10 m de todas as divisas e alinhamentos				0.5	2.5

S2.5 Motéis - Somente poderão localizar-se em Z8.100 - Zona Rural. (Lei 9.799/84)

S2 - EM RELAÇÃO ÀS VIAS CORREDORES

Corredores de Uso Especial	Características de Dimensionamento, Recuos e Aproveitamento do Lote											
	Nº de Pav. máx.	Gabarito máx. (m)	Frente mínima do terreno (m)	Área mínima do terreno (m²)	Recuo de frente mínimo (m)	Recuo Lateral Mínimo: Até o 2º Pav	Recuo Lateral Mínimo: Acima do 2º Pav	Recuo de fundo mínimo (m)	Taxa de ocupação máx	Coef. de aprov. máx.	Nº de Vagas	Profundidade do corredor (m)
Z8CRI-I Somente atividades descritas no Item A.	2	10	10	250	6	3 m apenas de um lado		6	0.5	1.0	uma para cada m²	40
Z8CRI-I Somente atividades descritas no Item B.						3 m de ambos os lados				2.0		
Z8CRI-II Somente atividades descritas no Item C.						3 m apenas de um lado				1.0		
Z8CRI-II Somente atividades descritas no Item B.						3 m de ambos os lados				2.0		
Z8CR2	3	15								1.0	Quadro 4A	
Z8CR3 Usos não permitidos oficina mecânica: funilaria, pintura, autoelétrico, borracharia	—	—			5	—	3 m de ambos os lados	5	0.7	3.0		50
Z8CR4	São os mesmos da Zona Lindeira Quando lindeiro à ZI - Aplicam-se as disposições exigidas para Z8-CRI-I Ver Art. 21 - Lei 9.049/80 e Art. 10 - Lei 9.411/81											
Z8CR5	Quando lindeiro à Z.1, aplicam-se as disposições exigidas para Z.8-CR1-II.											
Z8CR6	NÃO É PERMITIDO											

Z8CRI - Z8CR5 - Z8CR6 - Observar Lei 9.846/85 (Nova redação do Art. 39 Lei 8.001/73 - Restrições Contratuais)

S2.5 - Motéis e S2.6 - Cinema, lanchonete ao ar livre, drive-in, somente poderão localizar-se em Z8-100 - Zona Rural.

OBS: Item A, B e C - Ver detalhe na página seguinte.

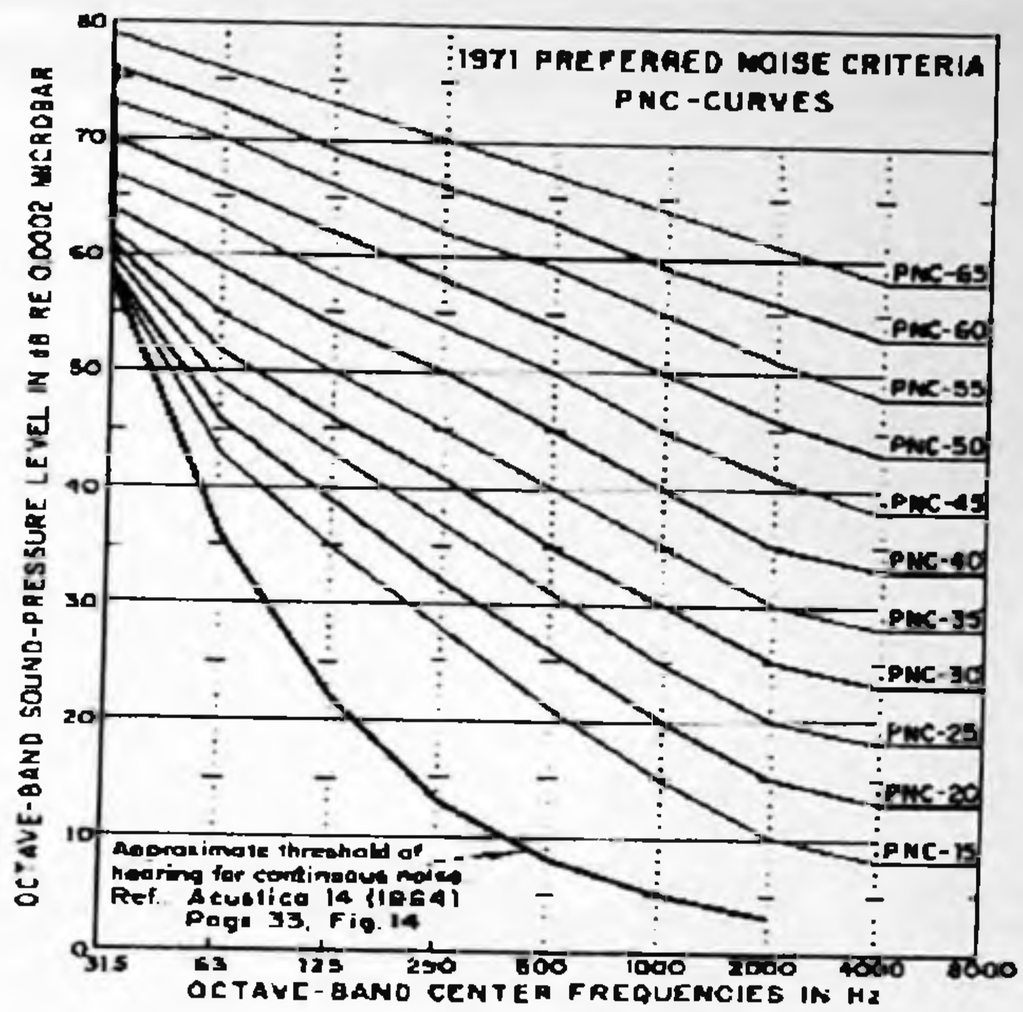
Lei 9.799/84

Anexo III

TIPO DE RECINTO E EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS ENVOLVIDAS	PNC	dB(A)
Auditórios para grandes orquestras; teatros para óperas; auditórios para recitais *Exigência de clara distinção dos sons mais débeis*	< ou = 15	< ou = 26
Estúdios de rádio ou televisão; estúdios de gravação *Exigência de condições favoráveis ao uso de microfones em posições afastadas das fontes*	< ou = 20	< ou = 30
Grandes auditórios; grandes teatros; grandes igrejas *Exigência de condições de audição muito boas*	< ou = 20	< ou = 30
Estúdios de rádio ou televisão; estúdios de gravação *Exigência de condições favoráveis ao uso de microfones apenas em posições próximas às fontes*	< ou = 25	< ou = 34
Pequenos auditórios; pequenos teatros; pequenas igrejas; salas para ensaios; auditórios para congressos e conferências *Exigência de condições de audição muito boas*	< ou = 35	< ou = 42
Salas de reunião ou auditórios para até 50 (cinqüenta) pessoas *Exigência de condições de audição muito boas, sem o uso de amplificação eletroacústica*	< ou = 35	< ou = 42
Dormitórios; salas de repouso; hospitais; residências; apartamentos; hotéis *Exigência de condições favoráveis ao sono, descanso e descontração*	25 a 40	34 a 47
Escritórios privados ou semi-privados; pequenas salas para conferências; salas de aula; bibliotecas *Exigência de boas condições de audição*	30 a 40	38 a 47
Salas de estar; salas de convivência (em casas ou apartamentos) *Exigência de boas condições para áudio de rádio e televisão*	30 a 40	38 a 47
Grandes escritórios; áreas de recepção; lojas; refeitórios; restaurantes; etc. *Exigência de condições moderadamente boas de audição*	35 a 45	42 a 52
Saguões; laboratórios de múltiplas atividades; escritórios de desenho de engenharia; secretarias *Exigência de condições razoáveis de audição*	40 a 50	47 a 56
Oficinas de manutenção; sala de computadores; cozinhas; lavanderias *Exigência de condições moderadamente razoáveis de audição*	45 a 55	52 a 61
Oficinas; garagens; sala de controle em usinas de energia elétrica; etc. *Exigência apenas de condições aceitáveis de conversação direta ou por telefone (níveis superiores a PNC-60 devem ser evitados em escritórios e locais onde houver necessidade de comunicação oral)*	50 a 60	56 a 66
Locais de trabalho onde a conversação direta ou por telefone não é necessária, mas onde não deve haver risco de perda de audição	60 a 75	66 a 80

Curvas **PNC**

Curvas PNC definidas por Beranek, Blazier e Figwer, 1971.



Bandas de freqüência (Hz)

	31.5	63.0	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PNC - 15	58	43	35	28	21	15	10	8	8
PNC - 20	59	46	39	32	26	20	15	13	13
PNC - 25	60	49	43	37	31	25	20	18	18
PNC - 30	61	52	46	41	35	30	25	23	23
PNC - 35	62	55	50	45	40	35	30	28	28
PNC - 40	64	59	54	50	45	40	35	33	33
PNC - 45	67	63	58	54	50	45	41	38	38
PNC - 50	70	66	62	58	54	50	46	43	43
PNC - 55	73	70	66	62	59	55	51	48	48
PNC - 60	76	73	69	66	63	59	56	53	53
PNC - 65	79	76	73	70	67	64	61	58	58

Níveis SPL por banda de oitava associados às curvas PNC definidas por Beranek, Blazier e Figwer, 1971.

Appendix E

Numerical Values for NC and RC Curves

For convenience when performing computations with noise criteria or room criteria data, the following tables list sound pressure levels in dB at 125 to 4000 Hz for both NC and RC curves from Chap. 4.

NC Table

	Sound Pressure Level (dB)					
Curve	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
NC-65	75	71	68	66	64	63
NC-60	71	67	63	61	59	58
NC-55	67	62	58	56	54	53
NC-50	64	58	54	51	49	48
NC-45	60	54	49	46	44	43
NC-40	56	50	45	41	39	38
NC-35	52	45	40	36	34	33
NC-30	48	41	35	31	29	28
NC-25	44	37	31	27	24	22
NC-20	40	33	26	22	19	17
NC-15	36	29	22	17	14	12
Threshold*	22	13	8	5	3	..

RC Table

	Sound Pressure Level (dB)					
Curve	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RC-50	65	60	55	50	45	40
RC-45	60	55	50	45	40	35
RC-40	55	50	45	40	35	30
RC-35	50	45	40	35	30	25
RC-30	45	40	35	30	25	20
RC-25	40	35	30	25	20	15
Threshold*	22	13	8	5	3	..

*Approximate threshold of hearing for continuous noise by listeners with normal hearing.

Egan's R List 2

1. ball	21. dial	41. hen	61. peep	81. tap
2. bar	22. dig	42. huff	62. peeve	82. them
3. bob	23. dine	43. hush	63. phase	83. then
4. bong	24. ditch	44. jar	64. pull	84. title
5. book	25. doubt	45. job	65. put	85. tine
6. boot	26. dowel	46. joy	66. raid	86. tong
7. booth	27. drain	47. joys	67. raze	87. toot
8. bout	28. em	48. kirk	68. rich	88. tooth
9. bowel	29. en	49. leap	69. rig	89. tout
10. boy	30. fade	50. leave	70. ream	90. towel
11. boys	31. far	51. made	71. roe	91. toy
12. brain	32. foam	52. maize	72. root	92. toys
13. bull	33. fob	53. mew	73. rough	93. weave
14. crane	34. foe	54. muff	74. rush	94. weep
15. cue	35. foot	55. mush	75. ruth	95. while
16. curb	36. full	56. mute	76. sack	96. whine
17. curd	37. gall	57. new	77. sap	97. wig
18. curse	38. gong	58. newt	78. slain	98. witch
19. curt	39. grain	59. oh	79. tack	99. yak
20. cute	40. hem	60. ohm	80. tall	100. yap

Reference

L. L. Beranek, *Acoustic Measurements*, Wiley, New York, 1949, p. 792.

Anexo IV

TL DATA FOR COMMON BUILDING ELEMENTS*

Building Construction	Transmission Loss (dB) 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	STC Rating	IIC Rating†
Walls[2-6]‡								
Monolithic								
1. 3/8-in plywood (1 lb/ft²)	14	18	22	20	21	26	22	
2. 26-gauge sheet metal (1.5 lb/ft²)	12	14	15	21	21	25	20	
3. 1/2-in gypsum board (2 lb/ft²)	15	20	25	31	33	27	28	
4. 2 layers 1/2-in gypsum board, laminated with joint compound (4 lb/ft²)	19	26	30	32	29	37	31	
5. 1/32-in sheet lead (2 lb/ft²)	15	21	27	33	39	45	31	
6. Glass-fiber roof fabric (37.5 oz/yd²)	6	9	11	16	20	25	16	
Interior								
7. 2 by 4 wood studs 16 in oc with 1/2-in gypsum board both sides (5 lb/ft²)	17	31	33	40	38	36	33	
8. Construction no. 7 with 2-in glass-fiber insulation in cavity	15	30	34	44	46	41	37	
9. 2 by 4 staggered wood studs 16 in oc each side with 1/2-in gypsum board both sides (8 lb/ft²)	23	28	39	46	54	44	39	
10. Construction no. 9 with 2 1/4-in glass-fiber insulation in cavity	29	38	45	52	58	50	48	
11. 2 by 4 wood studs 16 in oc with 5/8-in gypsum board both sides, one side screwed to resilient channels, 3-in glass-fiber insulation in cavity (7 lb/ft²)	32	42	52	58	53	54	52	
12. Double row of 2 by 4 wood studs 16 in oc with 3/8-in gypsum board on both sides of construction, 9-in glass-fiber insulation in cavity (4 lb/ft²)	31	44	55	62	67	65	54	
13. 6-in dense concrete block, 3 cells, painted (34 lb/ft²)	37	36	42	49	55	58	45	
14. 8-in lightweight concrete block, 3 cells, painted (38 lb/ft²)	34	40	44	49	59	64	49	
15. Construction no. 14 with expanded mineral loose fill in cells	34	40	46	52	60	66	51	
16. 6-in lightweight concrete block with 1/2-in gypsum board supported by resilient metal channels on one side, other side painted (26 lb/ft²)	35	42	50	64	67	65	53	
17. 2 1/2-in steel channel studs 24 in oc with 5/8-in gypsum board both sides (6 lb/ft²)	22	27	43	47	37	46	39	
18. Construction no. 17 with 2-in glass-fiber insulation in cavity	26	41	52	54	45	51	45	
19. 3 5/8-in steel channel studs 16 in oc with 1/2-in gypsum board both sides (5 lb/ft²)	26	36	43	51	48	43	43	
20. Construction no. 19 with 3-in mineral-fiber insulation in cavity	28	45	54	55	47	54	48	
21. 2 1/2-in steel channel studs 24 in oc with two layers 5/8-in gypsum board one side, one layer other side (8 lb/ft²)	28	31	46	51	53	47	44	
22. Construction no. 21 with 2-in glass-fiber insulation in cavity	31	43	55	58	61	51	51	
23. 3 5/8-in steel channel studs 24 in oc with two layers 5/8-in gypsum board both sides (11 lb/ft²)	34	41	51	54	46	52	48	
24. Construction no. 23 with 3-in mineral-fiber insulation in cavity	38	52	59	60	56	62	57	
Exterior:								
25. 4 1/2-in face brick (50 lb/ft²)	32	34	40	47	55	61	45	
26. Two wythes of 4 1/2-in face brick, 2-in airspace with metal ties (100 lb/ft²)	37	37	47	55	62	67	50	
27. Two wythes of plastered 4 1/2-in brick, 2-in airspace with glass-fiber insulation in cavity	43	50	52	61	73	78	59	
28. 2 by 4 wood studs 16 in oc with 1-in stucco on metal lath on outside and 1/2-in gypsum board on inside (8 lb/ft²)	21	33	41	46	47	51	42	
29. 6-in solid concrete with 1/2-in plaster both sides (80 lb/ft²)	39	42	50	58	64	67	53	
Floor-Ceilings[2,3]								
30. 2 by 10 wood joists 16 in oc with 1/2-in plywood subfloor under 25/32-in oak on floor side, and 5/8-in gypsum board nailed to joists on ceiling side (10 lb/ft²)	23	32	36	45	49	56	37	32

Building Construction	Transmission Loss (dB) 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	STC Rating	IIC Rating†
31. Construction no. 30 with 5/8-in gypsum board screwed to resilient channels spaced 24 in oc perpendicular to joists	30	35	44	50	54	60	47	39
32. Construction no. 31 with 3-in glass-fiber insulation in cavity	36	40	45	52	58	64	49	46
33. 4-in reinforced concrete slab (54 lb/ft²)	48	42	45	56	57	66	44	25
34. 14-in precast concrete tees with 2-in concrete topping on 2-in slab (75 lb/ft²)	39	45	50	52	60	68	54	24
35. 6-in reinforced concrete slab (75 lb/ft²)	38	43	52	59	67	72	55	34
36. 6-in reinforced concrete slab with 3/4-in T&G wood flooring on 1 1/2 by 2 wooden battens floated on 1-in glass fiber (83 lb/ft²)	38	44	52	55	60	65	55	57
37. 18-in steel joists 16 in oc with 1 5/8-in concrete on 5/8-in plywood under heavy carpet laid on pad, and 5/8-in gypsum board attached to joists on ceiling side (20 lb/ft²)	27	37	45	54	60	65	47	62
Roofs[2]								
38. 3 by 8 wood beams 32 in oc with 2 by 6 T&G planks, asphalt felt built-up roofing, and gravel topping	29	33	37	44	55	63	43	
39. Construction no. 38 with 2 by 4s 16 in oc between beams, 1/2-in gypsum board supported by metal channels on ceiling side with 4-in glass-fiber insulation in cavity	35	42	49	62	67	79	53	
40. Corrugated steel, 24 gauge with 1 3/8-in sprayed cellulose insulation on ceiling side (1.8 lb/ft²)	17	22	26	30	35	41	30	
41. 2 1/2-in sand and gravel concrete (148 lb/ft³) on 28 gauge corrugated steel supported by 14-in-deep steel bar joists with 1/2-in gypsum plaster on metal lath attached to metal furring channels 13 1/2 in oc on ceiling side (41 lb/ft²)	32	46	45	50	57	61	49	
Doors[2]								
42. Louvered door, 25 to 30% open	10	12	12	12	12	11	12	
43. 1 3/4-in hollow-core wood door, no gaskets, 1/4-in air gap at sill (1.5 lb/ft²)	14	19	23	18	17	21	19	
44. Construction no. 43 with gaskets and drop seal	19	22	25	19	20	29	21	
45. 1 3/4-in solid-core wood door with gaskets and drop seal (4.5 lb/ft²)	29	31	31	31	39	43	34	
46. 1 3/4-in hollow-core 16 gauge steel door, glass-fiber filled, with gaskets and drop seal (7 lb/ft²)	23	28	36	41	39	44	38	
Glass[1,2]								
47. 1/8-in monolithic float glass (1.4 lb/ft²)	18	21	26	31	33	22	26	
48. 1/4-in monolithic float glass (2.9 lb/ft²)	25	28	31	34	30	37	31	
49. 1/2-in insulated glass: 1/8- + 1/8-in double glass with 1/4-in airspace (3.3 lb/ft²)	21	26	24	33	44	34	28	
50. 1/4- + 1/8-in double glass with 2-in airspace	18	31	35	42	44	44	39	
51. Construction no. 50 with 4-in airspace	21	32	42	48	48	44	43	
52. 1/4-in laminated glass, 30-mil plastic interlayer (3.6 lb/ft²)	25	28	32	35	36	43	35	
53. Double glass: 1/4-in laminated + 3/16-in monolithic glass with 2-in airspace (5.9 lb/ft²)	25	34	44	47	48	55	45	
54. Double glass: 1/4-in laminated + 3/16-in monolithic glass with 4-in airspace (5.9 lb/ft²)	36	37	48	51	50	58	48	
55. Double glass: 1/4-in laminated + 1/4-in laminated with 1/2-in airspace (7.2 lb/ft²)	21	30	40	44	46	57	42	

† IIC (*impact isolation class*) is a single-number rating of the impact sound transmission performance of a floor-ceiling construction tested over a standard frequency range. The higher the IIC, the more efficient the construction will be for reducing impact sound transmission. INR (*impact noise rating*) previously was used as the single-number rating of impact noise isolation. To convert the older INR data to IIC, add 51 to the INR number.

‡ A wide range of TL and STC performance can be achieved by gypsum wallboard constructions. Refer to ASTM E 90 laboratory report and literature from manufacturers for specific details such as type of gypsum board; gauge, width, and spacing of steel studs; glass-fiber or mineral-fiber insulation thickness and density; and complete installation recommendations.

TABLE 2.2 Sound Absorption Data for Selected Acoustical Materials[a]

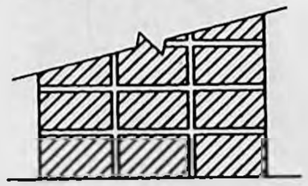
DESCRIPTION	THICKNESS, INCHES	MOUNTING TYPE	UNIT SIZE, INCHES	SOUND ABSORPTION COEFFICIENTS, HZ 125	250	500	1000	2000	4000	WEIGHT, LB/FT²	NRC
Board, Blanket, and Batt Products											
Glass fiber blanket, 3 pcf	1	A	Roll	0.06	0.25	0.54	0.75	0.84	0.90	(0.25)	0.60
Glass fiber blanket, 3 pcf	1½	A	48 × 96 48 × 120	0.35	0.46	0.86	0.98	0.99	0.99	(0.38)	0.90
Semirigid glass fiber board, 1.7 pcf	3	A	24 × 48	0.43	0.83	0.99	0.95	0.97	0.99	(0.42)	0.95
Glass fiber blanket, 2 pcf	3½	A	Rolls	0.38	0.90	0.99	0.93	0.94	0.99	(0.58)	0.95
Glass fiber blanket, 2 pcf	5	A	Rolls	0.68	0.99	0.99	0.94	0.99	0.97	(0.83)	1.00
Glass fiber blanket, 2 pcf	6	A	Rolls	0.88	0.99	0.99	0.96	0.99	0.99	(1.0)	1.00
Glass fiber blanket, 0.75 pcf	1	A	Roll	0.12	0.18	0.51	0.72	0.78	0.86	(0.75)	0.55
Glass fiber insulation board, 6 pcf	1	A	24 × 48	0.02	0.27	0.63	0.85	0.93	0.95	(0.50)	0.65
Glass fiber insulation board, 6 pcf	2	A	24 × 48	0.16	0.71	0.99	0.99	0.99	0.99	(1.0)	0.95
Glass fiber insulation board, 6 pcf	3	A	24 × 48	0.54	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	(1.5)	1.00
Glass fiber insulation board, 6 pcf	4	A	24 × 48	0.75	0.99	0.99	0.99	0.97	0.98	(2.0)	1.00
Glasswool blanket with perforated foil facing	1	A	Roll	0.55	0.69	0.99	0.99	0.99	0.99	(0.55)	1.00
Glasswool blanket with unperforated foil facing	1	A	Roll	0.56	1.03	0.93	0.41	0.21	0.14	(0.55)	0.65
Ceiling Tiles and Panels											
Fissured mineral fiber ceiling tile	¾	E-400	12 × 12	0.49	0.53	0.53	0.75	0.92	0.99	(1.3)	0.70
Fissured mineral fiber tiles and panels	¾	E-400	24 × 48	0.34	0.36	0.71	0.85	0.68	0.64	(1.3)	0.65
Glass fiber panels	1	E-400	24 × 48	0.55	0.89	0.73	0.99	0.99	0.99	(0.5)	0.90
Mineral fiber panels	⅝	E-400	24 × 48	0.29	0.39	0.54	0.79	0.78	0.60	(1.05)	0.60
Cloth-faced, glass fiber panels	¾	E-400	24 × 48	0.71	0.87	0.62	0.86	0.96	0.99	(0.35)	0.85
Membrane-faced glass fiber panels	1½	E-400	24 × 48	0.57	0.79	0.77	0.90	0.71	0.47	(0.30)	0.80
Prefinished fabric-faced glass fiber panels	1	E-400	24 × 48	0.83	0.88	0.80	0.99	0.99	0.99	(0.25)	0.95
Duct Liners											
Glass fiber duct liner	1	F-25	Roll	0.23	0.47	0.61	0.79	0.88	0.91	(0.25)	0.70
Glass fiber duct liner	1½	F-25	Rolls	0.37	0.63	0.80	0.90	0.89	0.90	(0.37)	0.80
Glass fiber duct liner	2	F-25	Rolls	0.36	0.79	0.96	0.99	0.93	0.97	(0.50)	0.90
Mat-faced duct liner	½	A	Roll	0.09	0.14	0.40	0.60	0.73	0.82	(0.08)	0.45
Mat-faced, duct liner	1	A	Roll	0.08	0.26	0.58	0.84	0.96	0.99	(0.15)	0.65
Mat-faced, duct liner	1½	A	Rolls	0.17	0.53	0.87	0.99	0.99	0.95	(0.19)	0.85
Mat-faced, duct liner	2	A	Rolls	0.22	0.69	0.99	0.99	0.99	0.99	(0.22)	0.95
Foam Materials											
Polyurethane foam panels	1	A	54 × 24 ft	0.17	0.25	0.73	0.99	0.99	0.99	(0.17)	0.75
Polimide foam panels	2	A	96 × 96	0.23	0.51	0.96	0.99	0.93	0.96	(0.25)	0.85
Wedge-shaped polyurethane foam panels	2	A	24 × 48 48 × 48	0.08	0.25	0.61	0.92	0.95	0.92	(0.34)	0.75
Wedge-shaped polyurethane foam panels	3	A	24 × 48 48 × 48	0.14	0.43	0.98	0.99	0.99	0.99	(0.51)	0.85

Perforated Metal or Fabric-Faced Panels											
Perforated metal, backed by 1.5 pcf film-faced glass fiber	2	A	24 × 108	0.44	0.62	0.94	0.99	0.79	0.59	(1.5)	0.85
Perforated metal, backed by 1.5 pcf film-faced glass fiber	2	A	24 × 108	0.21	0.66	0.99	0.99	0.99	0.90	(1.5)	0.95
Perforated metal, backed by 1.5 pcf unfaced glass fiber	2	E-400	24 × 48	0.63	0.71	0.98	0.99	0.99	0.99	(1.8)	0.95
Perforated metal, backed by 1.5 pcf unfaced glass fiber	3	E-400	24 × 48	0.56	0.84	0.99	0.99	0.92	0.82	(1.8)	0.95
Structural wood fiber roof deck	1½	A	48 × 96	0.07	0.22	0.48	0.82	0.64	0.96	(2.4)	0.55
Structural wood fiber roof deck	2	A	48 × 96	0.15	0.26	0.62	0.94	0.64	0.92	(3.5)	0.60
Structural wood fiber roof deck	2½	A	48 × 96	0.20	0.31	0.72	0.84	0.77	0.90	(4.5)	0.65
Structural wood fiber roof deck	3	A	48 × 96	0.21	0.41	0.99	0.75	0.99	0.97	(5.3)	0.80
Special Masonry Units											
Slotted concrete blocks, empty	4	A	8 × 16	0.12	0.85	0.36	0.36	0.42	0.35	(23)	0.50
Slotted concrete blocks, empty	6	A	8 × 16	0.62	0.84	0.36	0.43	0.27	0.30	(26)	0.45
Slotted concrete blocks, empty	8	A	8 × 16	0.97	0.44	0.38	0.39	0.50	0.25	(32)	0.40
Slotted concrete blocks, with metal septa in cavities	8	A	8 × 16	0.99	0.97	0.61	0.37	0.56	0.39	(38)	0.70
Slotted concrete block, with glass fiber in cavities	12	A	8 × 16	0.48	0.83	0.86	0.54	0.47	0.44	(62)	0.65
Slotted concrete block, with metal septa and glass fiber in cavities	12	A	8 × 16	0.57	0.76	1.09	0.94	0.54	0.59	(70)	0.80
Sound-diffusing concrete block	12	A	8 × 16	0.76	0.51	0.57	0.34	0.24	0.26	(76)	0.40
Hollow perforated ceramic clay tile with glass fiber in cavities	4	A	8 × 16	0.19	0.64	0.73	0.62	0.20	0.10	(25.9)	0.55
Sprayed-on Materials											
Cellulose fiber, textured finish	½	A		0.15	0.16	0.46	0.87	0.99	0.99	(0.25)	0.65
Cellulose fiber, textured finish	¾	E-400		0.25	0.36	0.74	0.98	0.99	0.99	(0.38)	0.75
Cellulose fiber, textured finish	1	A		0.12	0.38	0.88	0.99	0.99	0.99	(0.50)	0.80
Acoustical plaster, Portland cement base	1	A		0.18	0.35	0.64	0.73	0.73	0.77	(3.4)	0.60
Unit Panels or Baffles[b]											
Hanging panels, 1.5 pcf glass fiber in polyethylene casing 0.002 in. thick	1½	Hung	24 × 48	0.32	0.59	1.49	1.53	1.36	0.59	(0.1)	—
Hanging panels, 2.70 pcf glass fiber in polyethylene casing 0.003 in. thick	1½	Hung	24 × 48	0.32	0.62	1.27	1.48	0.86	0.46	(0.39)	—
Two-sided wedge-shaped polyurethane foam, panels	3	Hung	31 × 48	0.58	0.47	0.84	1.26	1.61	1.80	(0.8)	—
Two-sided wedge-shaped melamine foam, panels	3	Hung	24 × 48	0.74	0.78	1.42	1.76	1.83	1.84	(0.4)	—

[a] The performance data in this table have been compiled from a variety of sources including the editor's and chapter author's files. They are intended as a guide *not* a substitute for laboratory or field data from other reliable sources.

[b] The sound absorption provided by baffles and panels hung vertically from the structure, depends on how closely they are spaced and other parameters. Therefore, information on such test conditions should be obtained from the manufacturer. There is no standard method for measuring and rating the sound-absorptive characteristics of these units. These tabulated sound absorption coefficients are obtained by dividing the total absorption of each unit by the total area of each unit. NRC values are not appropriate.

TABLE 2.3 Airborne Sound Isolation Performance Data for Selected Partition Systems[a]

CONSTRUCTION DESCRIPTION	SOUND TRANSMISSION CLASS[b] (STC)	SURFACE WEIGHT (PSF)	OVERALL THICKNESS (IN.)	FIRE-RESISTIVE RATING[b] (HR)
Poured Concrete				
3-in. solid concrete	47	39	3	½ (est.)
6-in. solid concrete, ½ in. plaster both sides	53	80	7	3 (est.)
Masonry Units				
15-in. solid concrete blocks, ½ in. plaster both sides	63	184	16	>4
4½-in. brick, ½ in. plaster both sides	42	55	5½	2½
9-in. brick, ½ in. plaster both sides	52	100	10	>4
12-in brick 	56	121	12	>4

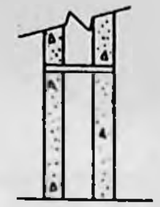
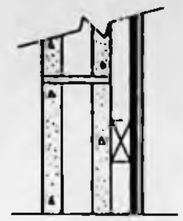
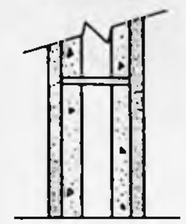
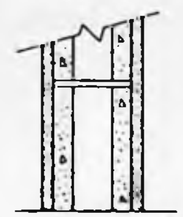
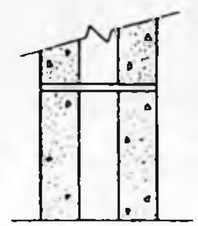
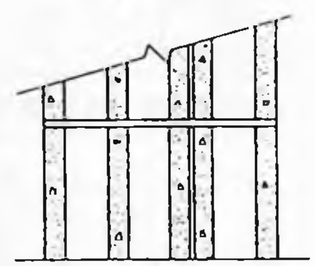
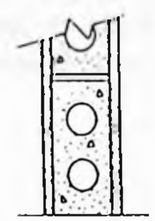
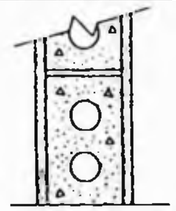
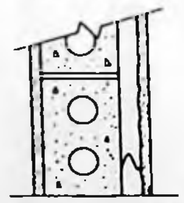
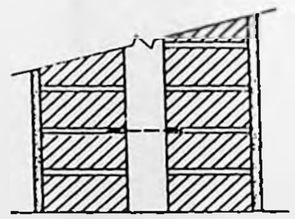
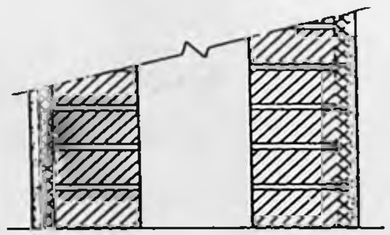
3⅝-in. lightweight hollow cement block painted both sides		44	26.1	3¾	1½ (est.)
3⅝-in. lightweight hollow cement block, ¼-in. plywood covered lead on 1 × 2 wood furring strips one side		50	31	5	1½ (est.)
3-in. cinder block, ⅝ in. plaster both sides		45	32.2	4¼	1½
4-in. cinder block ⅝ in. plaster both sides		46	35.8	5¼	2
6-in. hollow concrete block		43 (unpainted) 45 (painted)	34	6	1 (est.)
12-in. hollow concrete block		48	79	12	4
3-in. hollow gypsum block, ½-in. plaster both sides		40	21.5	4	3

TABLE 2.3 *(Continued)*

CONSTRUCTION DESCRIPTION		SOUND TRANSMISSION CLASS[b] (STC)	SURFACE WEIGHT (PSF)	OVERALL THICKNESS (IN.)	FIRE-RESISTIVE RATING[b] (HR)
4-in. hollow gypsum block, ½-in. plaster both sides		42	23.4	5	4
4-in. hollow gypsum block, ½-in. plaster one side, ½-in. resilient plaster other side		53	31	6	4
Double 4½-in. brick wall, 2-in. cavity ½-in. plaster both outsides		49 (w/wire ties) 54 (no wire ties)	100	12	>4
Double 4½-in. brick wall, 6-in. cavity (no wire ties), ½-in. plaster on wood fiberboard both outsides		62	120	18	>4
Double 4½-in. hollow clay tile wall, 2½-in. cavity (w/wire ties), ½-in. plaster both outsides		43	50	12	3 (est.)

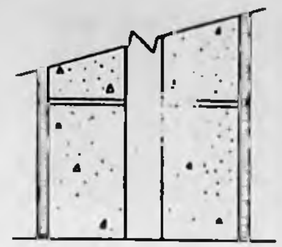
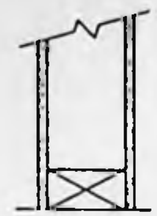
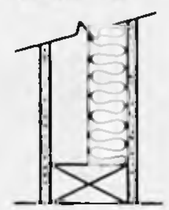
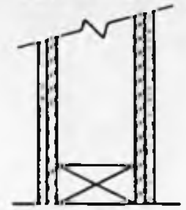
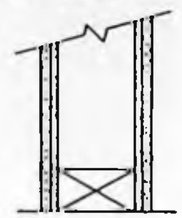
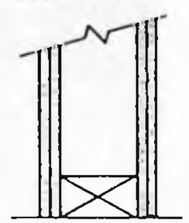
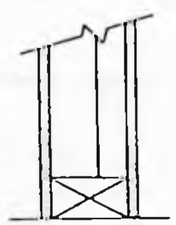
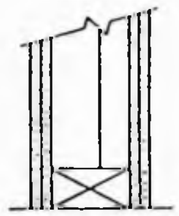
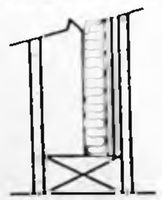
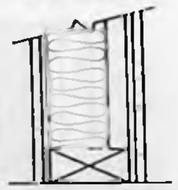
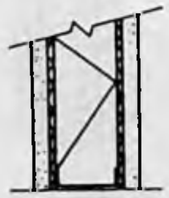
Double 4-in. solid cinder block wall, 2-in. cavity (no wire ties), ½-in. plaster both outsides		52	70	11	>4
Wood Stud Walls					
2 × 4 wood studs 16 in. o.c. ½ in. gypsum board both sides		32	5.9	$4\frac{5}{8}$	¾
As above w/2-in. cavity insulation		35	6	$4\frac{5}{8}$	¾ (est.)
2 × 4 wood studs 16 in. o.c., ½-in. gypsum board laminated to ½-in. fiberboard both sides		37	8.5	$5\frac{1}{4}$	—
2 × 4 wood studs 16 in. o.c., ½-in. plaster on ⅜-in. gypsum lath both sides		46	13.4	$5\frac{3}{4}$	¾
2 × 4 wood studs 16 in. o.c., two layers ½-in. gypsum board both sides		40	8.2	$5\frac{1}{2}$	1
2 × 3 staggered wood studs 8 in. o.c., ½-in. gypsum board both sides		44	6.2	5	½ (est.)

TABLE 2.3 *(Continued)*

CONSTRUCTION DESCRIPTION		SOUND TRANSMISSION CLASS[b] (STC)	SURFACE WEIGHT (PSF)	OVERALL THICKNESS (IN.)	FIRE-RESISTIVE RATING[b] (HR)
2 × 3 staggered wood studs in 8 in. o.c., two layers ½-in. gypsum board both sides		44	13.4	6½	1½ (est.)
2 × 4 staggered wood studs 8 in. o.c., ½-in. gypsum board both sides. 1-in. cavity insulation		46	13.8	5¾	½
2 × 4 slotted wood studs 16 in. o.c. ½-in. plaster on ⅜-in. gypsum lath both sides, 3-in. cavity insulation		45	14.2	5⅜	1 (est.)
2 × 4 wood studs 16 in. o.c., ⅝-in. gypsum board on resilient channels both sides		47	6.7	6⅛	1 (est.)
2 × 4 wood studs 16 in. o.c., ½-in. gypsum board laminated to ⅝-in. gypsum board on resilient channels both sides		48	9	6¾	1 (est.)
Metal Stud Walls					
3½-in. wire studs 16 in. o.c., ⅞-in. plaster on metal lath both sides		39	19.6	5¼	1¼ (est.)

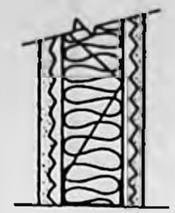
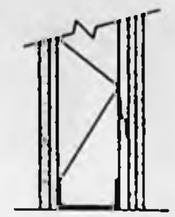
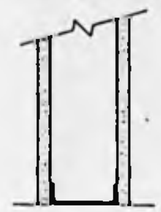
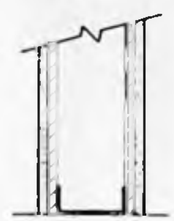
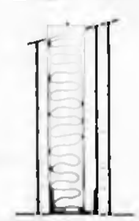
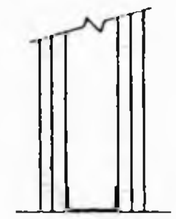
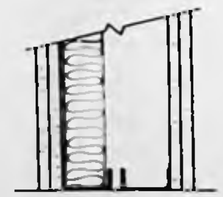
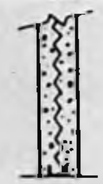
3¼-in. wire studs 16 in. o.c., ⅞-in. plaster on metal lath both sides, 3-in. cavity insulation		39	21.1	5¼	1½ (est.)
3¼-in. wire studs 16 in. o.c., ½-in. plaster on ⅜-in. gypsum lath both sides (one side on resilient clips)		43	13	5½	¾ (est.)
3⅝-in. metal channel studs, 24 in. o.c., ⅝-in. gypsum board both sides		41	6	4⅞	1
3⅝-in. metal channel studs 24 in. o.c., two-layer ⅝-in. gypsum board both sides		47	11.4	6⅛	2
3⅝-in. metal channel studs 24 in. o.c., ½-in. gypsum board laminated to ½-in. fiberboard both sides		50	6.2	5⅝	1½ (est.)
2½-in. metal channel studs 24 in o.c., ⅝-in. gypsum board both sides		36	6	3¾	1 (est.)
2½-in. metal channel studs 24 in o.c., ⅝-in. gypsum board both sides, 2-in. cavity insulation		41	6.1	3¾	1 (est.)

TABLE 2.3 *(Continued)*

CONSTRUCTION DESCRIPTION		SOUND TRANSMISSION CLASS[b] (STC)	SURFACE WEIGHT (PSF)	OVERALL THICKNESS (IN.)	FIRE-RESISTIVE RATING[b] (HR)
2⅝-in. metal channel studs 24 in. o.c., two layers ⅝-in. gypsum board both sides		45	10.2	4⅞	1½ (est.)
2⅝-in. metal channel studs 24 in. o.c., two layers ⅝-in. gypsum board both sides, 2-in. cavity insulation		51	10.2	4⅞	2 (est.)
Double 2⅝-in. metal studs 24 in. o.c., w/½-in. gap, ⅝-in. gypsum board both outsides, 2-in. cavity insulation		52	6.2	7	1½ (est.)
Double 2⅝-in. metal studs 24 in. o.c. w/½ in. 2 layers gap. ⅝-in. gypsum board both outsides, 2-in. cavity insulation		57	10.3	8⅛	2 (est.)
Solid Plaster Walls					
2-in. sanded gypsum plaster on metal mesh		36	18.3	2	1
2-in. gypsum perlite plaster on metal mesh		31	8.8	2	1¼ (est.)

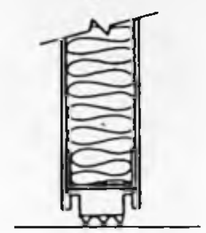
$2\frac{1}{4}$-in. laminated gypsum board wall, $\frac{5}{8}$ in. both sides of 1-in. core		36	10.2	$2\frac{1}{4}$	1
Interior Doors					
$1\frac{3}{4}$-in. hollow core wood door		17 20 (w/gasketing)	1.5	$1\frac{3}{4}$	—
$1\frac{3}{4}$-in. solid core wood door		20 26 (w/gasketing)	4	$1\frac{3}{4}$	—
$1\frac{3}{4}$-in. rated acoustical wood door		38	8	$1\frac{3}{4}$	—
4-in. rated acoustical metal door		53	23	4	—
Windows					
$\frac{3}{32}$-in. single glass		27	2	$\frac{3}{32}$	—
$\frac{1}{4}$-in. single glass		30	4	$\frac{1}{4}$	—

TABLE 2.3 *(Continued)*

CONSTRUCTION DESCRIPTION		SOUND TRANSMISSION CLASS[b] (STC)	SURFACE WEIGHT (PSF)	OVERALL THICKNESS (IN.)	FIRE-RESISTIVE RATING[b] (HR)
¼-in. single laminated glass		33	4	¼	—
⅜-in. single laminated glass		36	5	⅜	—
½-in. thermal insulating glass (⅛-in. glass, ¼-in. airspace ⅛-in. glass)		26	4	½	—
2½-in. double glass (¼-in. glass, 2-in. airspace, ¼-in. glass)		42	8	2½	—
4½-in. double glass (¼-in. glass, 4-in. airspace, ¼-in. glass)		45	8	4½	—

[a] The performance data in this table have been compiled from a variety of sources including the editor's and chapter author's files. They are intended as a guide, *not* a substitute for laboratory or field data from other reliable sources.

[b] Sound isolation and fire-resistive ratings are sensitive to variations in details of erection of the partition system from the sample tested in the laboratory. Values given in this table are for general guidance in determining performance ranges. In preparing contract specifications refer to the laboratory test reports for specific constructions.

Source: W. J. Cavanaugh, "Acoustical Control in Buildings" in *Building Construction: Materials and Types of Construction*, 5th ed., W. C. Huntington and R. E. Mickadeit, Eds., Table 10.2, pp 398–407, Wiley, New York, 1981.

TABLE 2.4 Impact and Airborne Sound Isolation Performance Data for Selected Floor/Ceiling Assemblies[a]

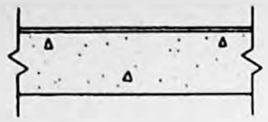
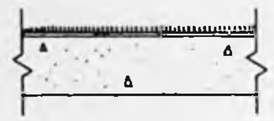
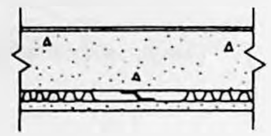
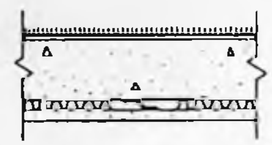
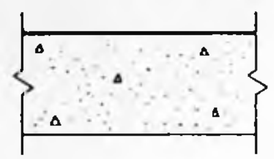
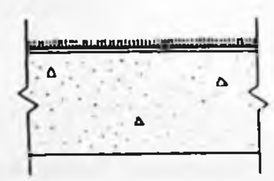
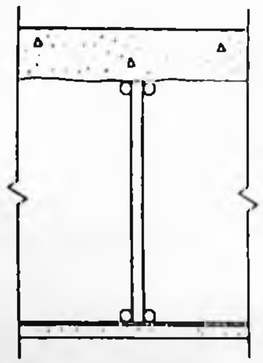
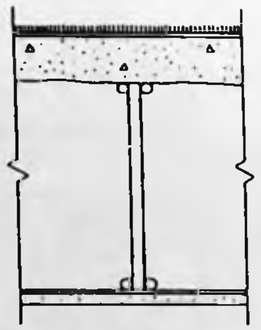
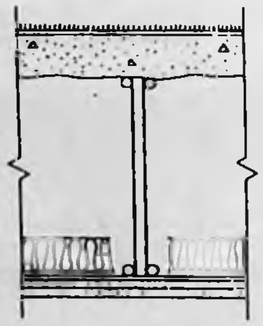
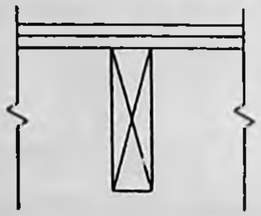
CONSTRUCTION DESCRIPTION		SOUND TRANSMISSION CLASS[b] (STC)	IMPACT INSULATION CLASS[b] (IIC)	SURFACE WEIGHT (PSF)	OVERALL THICKNESS (IN.)	FIRE-RESISTIVE RATING[b] (HR)
3-in. reinforced concrete slab, exposed ceiling, vinyl tile floor finish		45	42	35	$3\frac{1}{8}$	$\frac{3}{4}$
Above w/"cushion" foam-backed tile floor finish		45	49	35	$3\frac{3}{16}$	$\frac{3}{4}$
Above w/$\frac{1}{4}$-in. carpet on underpadding		45	70	35	$3\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$
3-in. reinforced concrete slab with $\frac{1}{2}$-in. gypsum board ceiling on resilient channels, $\frac{1}{2}$-in. fiberglass blanket between channels, vinyl tile floor finish		56	51	40	$4\frac{1}{8}$	1
Above w/$\frac{1}{4}$-in. carpet on underpadding		56	70	40	$4\frac{1}{4}$	1
5-in. reinforced concrete slab, exposed ceiling, vinyl tile floor finish		51	46	55	$5\frac{1}{8}$	2
Above w/"cushion" foam-backed tile floor finish		51	50	55	$3\frac{3}{16}$	2
Above with $\frac{1}{4}$-in. carpet on underpadding		51	70	55	$5\frac{1}{4}$	2

TABLE 2.4 *(Continued)*

CONSTRUCTION DESCRIPTION		SOUND TRANSMISSION CLASS[b] (STC)	IMPACT INSULATION CLASS[b] (IIC)	SURFACE WEIGHT (PSF)	OVERALL THICKNESS (IN.)	FIRE-RESISTIVE RATING[b] (HR)
2½-in. concrete over 12-in. open-web steel joists, ⅝-in. gypsum board ceiling, vinyl tile floor finish		57	45	40	15⅛	1 (est.)
Above w/¼-in. carpet on underpadding		57	70	40	15¼	1 (est.)
Above w/2 layers ½-in. gypsum board ceiling and 2-in. cavity insulation		65	71	45	15¾	1 (est.)
18-in particle board on ⅝-in. plywood subfloor on 2 × 8 wood joists 16 in. o.c. (no ceiling finish)		25	23	8	8½	—

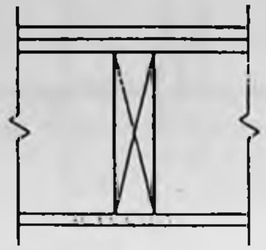
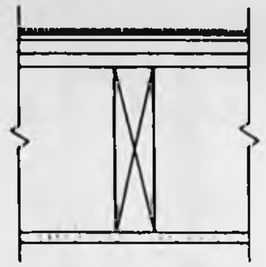
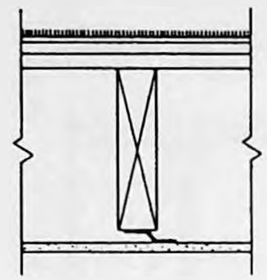
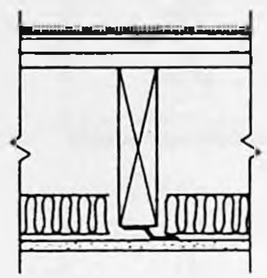
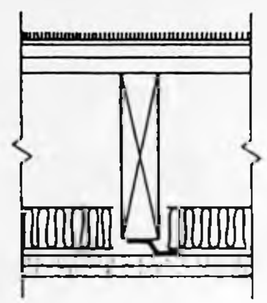
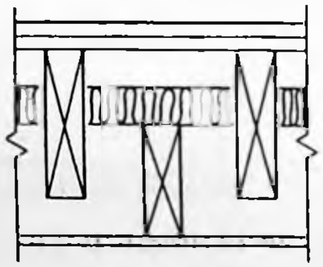
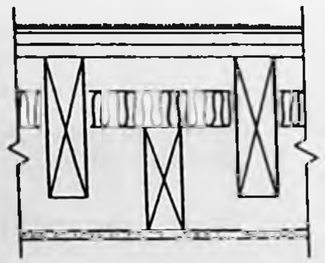
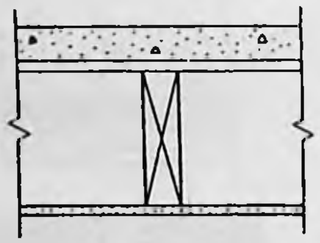
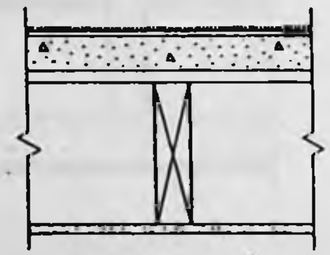
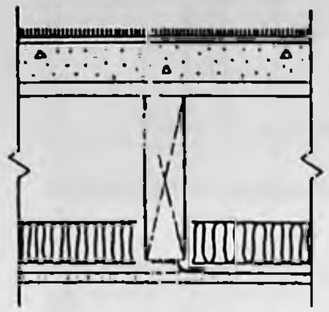
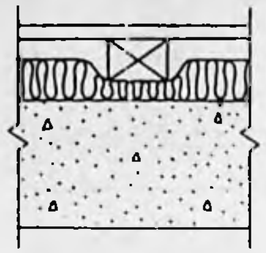
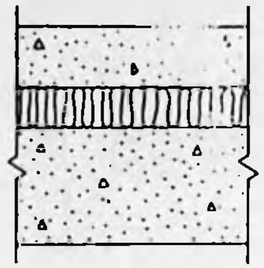
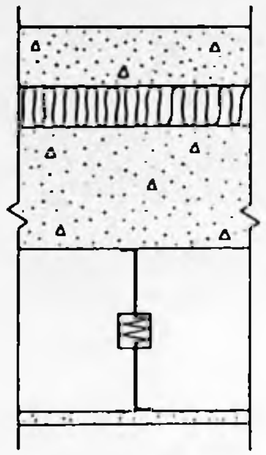
Above w/½-in. gypsum board ceiling nailed direct to joists		38	33	13	9	—
Above w/½-in. carpeting on underpadding		38	59	13	9	—
Above w/½-in. gypsum board ceiling resiliently supported from joists		46	69	13	9½	—
Above w/2-in. cavity insulation		50	70	13	9½	—
Above w/two layers ½-in. gypsum board resiliently supported ceiling		55	70	13	10	—

TABLE 2.4 (*Continued*)

CONSTRUCTION DESCRIPTION		SOUND TRANSMISSION CLASS[b] (STC)	IMPACT INSULATION CLASS[b] (IIC)	SURFACE WEIGHT (PSF)	OVERALL THICKNESS (IN.)	FIRE-RESISTIVE RATING[b] (HR)
⅝-in. particle board on ⅝-in. plywood subfloor on 2 × 8 wood joists, 2 × 6 separated joists support ½-in. gypsum board ceiling, 2-in. cavity insulation, vinyl tile floor finish		50	45	15	11¼	—
Above w/¼-in. carpet on underpadding		50	75	15	11½	—
2-in. lightweight concrete on ⅝-in. plywood subfloor on 2 × 8 wood joists, ½-in. gypsum board ceiling nailed direct to joists, vinyl tile floor finish		46	41	33	10½	—
Above w/¼-in. carpet on underpadding		46	61	33	10¾	—

Above w/resiliently supported ½-in. gypsum board ceiling and 2-in. cavity insulation		51	74	33	10¾	—
6-in. reinforced concrete slab with "floated" wood floor on fiberglass mattress		55	57	65	8½	3
6-in. reinforced concrete slab with "floated" 3-in. concrete slab on 2-in. fiberglass mattress		65	67	95	11	4
Above w/resiliently suspended ⅝-in. gypsum board ceiling 8 in. below slab		75	70	100	19½	74

[a] The performance data in this table have been compiled from a variety of sources including the editor's and chapter author's files. They are intended as a guide, *not* a substitute for laboratory or field data from other reliable sources.

[b] Sound isolation and fire-resistive ratings are sensitive to variations in details of erection of the floor/ceiling assembly from the sample tested in the laboratory. Values given in this table are for general guidance in determining performance ranges. In preparing contract specifications, refer to laboratory test reports for specific constructions.

Source: W. J. Cavanaugh, "Acoustical Control in Buildings" in *Building Construction: Materials and Types of Construction*, 5th ed., W. C. Huntington and R. E. Mickadeit, Eds., Table 10.3, pp. 409–413, Wiley, New York, 1981.

Anexo V

SOUND ABSORPTION DATA FOR COMMON BUILDING MATERIALS AND FURNISHINGS

Material	Sound Absorption Coefficient 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC Number*
Walls[1,3,8,12]							
Sound-Reflecting:							
1. Brick, unglazed	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
2. Brick, unglazed and painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00
3. Concrete, rough	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.05
4. Concrete block, painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
5. Glass, heavy (large panes)	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05
6. Glass, ordinary window	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04	0.15
7. Gypsum board, 1/2 in thick (nailed to 2 × 4s, 16 in oc)	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.05
8. Gypsum board, 1 layer, 5/8 in thick (screwed to 1 × 3s, 16 in oc with airspaces filled with fibrous insulation)	0.55	0.14	0.08	0.04	0.12	0.11	0.10
9. Construction no. 8 with 2 layers of 5/8-in-thick gypsum board	0.28	0.12	0.10	0.07	0.13	0.09	0.10
10. Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
11. Plaster on brick	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
12. Plaster on concrete block (or 1 in thick on lath)	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.04	0.05
13. Plaster on lath	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05
14. Plywood, 3/8-in paneling	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.15
15. Steel	0.05	0.10	0.10	0.10	0.07	0.02	0.10
16. Venetian blinds, metal	0.06	0.05	0.07	0.15	0.13	0.17	0.10
17. Wood, 1/4-in paneling, with airspace behind	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06	0.10
18. Wood, 1-in paneling with airspace behind	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.05	0.10
Sound-Absorbing:							
19. Concrete block, coarse	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	0.35
20. Lightweight drapery, 10 oz/yd², flat on wall (*Note:* Sound-reflecting at most frequencies.)	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
21. Mediumweight drapery, 14 oz/yd², draped to half area (i.e., 2 ft of drapery to 1 ft of wall)	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60	0.55
22. Heavyweight drapery, 18 oz/yd², draped to half area	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
23. Fiberglass fabric curtain, 8 1/2 oz/yd², draped to half area (*Note:* The deeper the airspace behind the drapery (up to 12 in), the greater the low-frequency absorption.)	0.09	0.32	0.68	0.83	0.39	0.76	0.55
24. Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A)	0.15	0.26	0.62	0.94	0.64	0.92	0.60
25. Thick, fibrous material behind open facing	0.60	0.75	0.82	0.80	0.60	0.38	0.75
26. Carpet, heavy, on 5/8-in perforated mineral fiberboard with airspace behind	0.37	0.41	0.63	0.85	0.96	0.92	0.70
27. Wood, 1/2-in paneling, perforated 3/16-in-diameter holes, 11% open area, with 2 1/2-in glass fiber in airspace behind	0.40	0.90	0.80	0.50	0.40	0.30	0.65
Floors[9,11]							
Sound-Reflecting:							
28. Concrete or terrazzo	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
29. Linoleum, rubber, or asphalt tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05
30. Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
31. Wood	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.10
32. Wood parquet on concrete	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	0.05
Sound-Absorbing:							
33. Carpet, heavy, on concrete	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.30
34. Carpet, heavy, on foam rubber	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	0.55
35. Carpet, heavy, with impermeable latex backing on foam rubber	0.08	0.27	0.39	0.34	0.48	0.63	0.35
36. Indoor-outdoor carpet	0.01	0.05	0.10	0.20	0.45	0.65	0.20
Ceilings[8,8-10]†							
Sound-Reflecting:							
37. Concrete	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
38. Gypsum board, 1/2 in thick	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.05
39. Gypsum board, 1/2 in thick, in suspension system	0.15	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.05
40. Plaster on lath	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05
41. Plywood, 3/8 in thick	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.15
Sound-Absorbing:							
42. Acoustical board, 3/4 in thick, in suspension system (mtg. E)	0.76	0.93	0.83	0.99	0.99	0.94	0.95
43. Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on lay-in grid (mtg. E)	0.59	0.51	0.53	0.73	0.88	0.74	0.65

Material	Sound Absorption Coefficient 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC Number*
44. Thin, porous sound-absorbing material, 3/4 in thick (mtg. B)	0.10	0.60	0.80	0.82	0.78	0.60	0.75
45. Thick, porous sound-absorbing material, 2 in thick (mtg. B), or thin material with airspace behind (mtg. D)	0.38	0.60	0.78	0.80	0.78	0.70	0.75
46. Sprayed cellulose fibers, 1 in thick on concrete (mtg. A)	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.76	0.75
47. Glass-fiber roof fabric, 12 oz/yd²	0.65	0.71	0.82	0.86	0.76	0.62	0.80
48. Glass-fiber roof fabric, 37 1/2 oz/yd² (*Note:* Sound-reflecting at most frequencies.)	0.38	0.23	0.17	0.15	0.09	0.06	0.15
49. Polyurethane foam, 1 in thick, open cell, reticulated	0.07	0.11	0.20	0.32	0.60	0.85	0.30
50. Parallel glass-fiberboard panels, 1 in thick by 18 in deep, spaced 18 in apart, suspended 12 in below ceiling	0.07	0.20	0.40	0.52	0.60	0.67	0.45
51. Parallel glass-fiberboard panels, 1 in thick by 18 in deep, spaced 6 1/2 in apart, suspended 12 in below ceiling	0.10	0.29	0.62	1.12	1.33	1.38	0.85
Seats and Audience[1, 5, 7, 9]‡							
52. Fabric well-upholstered seats, with perforated seat pans, unoccupied	0.19	0.37	0.56	0.67	0.61	0.59	
53. Leather-covered upholstered seats, unoccupied†	0.44	0.54	0.60	0.62	0.58	0.50	
54. Audience, seated in upholstered seats†	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.87	
55. Congregation, seated in wooden pews	0.57	0.61	0.75	0.86	0.91	0.86	
56. Chair, metal or wood seat, unoccupied	0.15	0.19	0.22	0.39	0.38	0.30	
57. Students, informally dressed, seated in tablet-arm chairs	0.30	0.41	0.49	0.84	0.87	0.84	
Openings[9]¶							
58. Deep balcony, with upholstered seats			0.50–1.00				
59. Diffusers or grilles, mechanical system			0.15–0.50				
60. Stage			0.25–0.75				
Miscellaneous[3, 8, 11]							
61. Gravel, loose and moist, 4 in thick	0.25	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.70
62. Grass, marion bluegrass, 2 in high	0.11	0.26	0.60	0.69	0.92	0.99	0.60
63. Snow, freshly fallen, 4 in thick	0.45	0.75	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90
64. Soil, rough	0.15	0.25	0.40	0.55	0.60	0.60	0.45
65. Trees, balsam firs, 20 ft² ground area per tree, 8 ft high	0.03	0.06	0.11	0.17	0.27	0.31	0.15
66. Water surface (swimming pool)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00

*NRC (noise reduction coefficient) is a single-number rating of the sound absorption coefficients of a material. It is an average that only includes the coefficients in the 250 to 2[illegible] Hz frequency range and therefore should be used with caution. See page 50 for a discussion of the NRC rating method.

†Refer to manufacturer's catalogs for absorption data which should be from up-to-date tests by independent acoustical laboratories according to current ASTM procedures.

‡Coefficients are per square foot of seating floor area or per unit. Where the audience is randomly spaced (e.g., courtroom, cafeteria), mid-frequency absorption can be estimated at about 5 sabins per person. To be precise, coefficients per person must be stated in relation to spacing pattern.

§The floor area occupied by the audience must be calculated to include an *edge effect* at aisles. For an aisle bounded on both sides by audience, include a strip 3 ft wide; for an aisle bounded on only one side by audience, include a strip 1 1/2 ft wide. No edge effect is used when the seating abuts walls or balcony fronts (because the edge is shielded). The coefficients are also valid for orchestra and choral areas at 5 to 8 ft² per person. Orchestra areas include people, instruments, music racks, etc. No edge effects are used around musicians.

¶Coefficients for openings depend on absorption and cubic volume of opposite side.

Test Reference

"Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method," ASTM C 423. Available from American Society for Testing and Materials (ASTM), 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103.

Sources

1. L. L. Beranek, "Audience and Chair Absorption in Large Halls," *Journal of the Acoustical Society of America*, January 1969.
2. A. N. Burd et al., "Data for the Acoustic Design of Studios," British Broadcasting Corporation, BBC Engineering Monograph no. 64, November 1966.
3. E. J. Evans and E. N. Bazley, "Sound Absorbing Materials," H. M. Stationery Office, London, 1964.

TABLE 2.1 Sound Absorption Coefficients of General Building Materials[a]

MATERIALS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
SOUND ABSORPTION COEFFICIENTS (α)							
Brick, unglazed	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
Carpet, heavy, on concrete	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.30
Same, on 40-oz hairfelt or foam rubber	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	0.55
Concrete block, painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
Fabrics							
Light velour, 10 oz/yd², hung straight, in contact with wall	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
Medium velour, 14 oz/yd², draped to half area	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60	0.55
Heavy velour, 18 oz/yd², draped to half area	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
Floors							
Concrete or terrazzo	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02	0
Linoleum, asphalt, rubber or cork tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05
Wood	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.1
Glass, large panes of heavy plate	0.18	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05
Gypsum board, ½ in. nailed to 2 × 4's 16 in. o.c.	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.05
Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0
Openings							
Stage, depending on furnishings			0.25—0.75				
Deep balcony, upholstered seats			0.50—1.00				
Grilles, ventilating			0.15—0.50				
Plaster, gypsum or lime, smooth finish on tile or brick	0.13	0.15	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Plaster, gypsum or lime, rough finish on lath	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
Same, with smooth finish	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
Plywood paneling, ⅞ in. thick	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.15
Water surface, as in a swimming pool	0.008	0.008	0.013	0.015	0.020	0.025	0
Air, sabins per 1000 ft³					2.3	7.2	
ABSORPTION OF SEATS AND AUDIENCE[b]							
Audience, seated in upholstered seats, per ft² of floor area	0.60	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85	
Unoccupied cloth-covered upholstered seats, per ft² of floor area	0.49	0.66	0.80	0.88	0.82	0.70	
Unoccupied leather-covered upholstered seats, per ft² of floor area	0.44	0.54	0.60	0.62	0.58	0.50	
Wooden pews, occupied, per ft² of floor area	0.57	0.61	0.75	0.86	0.91	0.86	
Chairs, metal or wood seats, each, unoccupied	0.15	0.19	0.22	0.39	0.38	0.30	

Source: W. J. Cavanaugh, "Acoustical Control in Buildings" in *Building Construction: Materials and Types of Construction*, 5th ed., W. C. Huntington and R. E. Mickadeit, Eds., Table 10.1, p. 390, Wiley, New York, 1981.

[a] The performance data in this table have been compiled from a variety of sources including the editor's and chapter author's files. They are intended as a guide, *not* a substitute for laboratory or field data from other reliable sources.

[b] Values given are in sabins per square foot of seating area or per unit.

Anexo VI

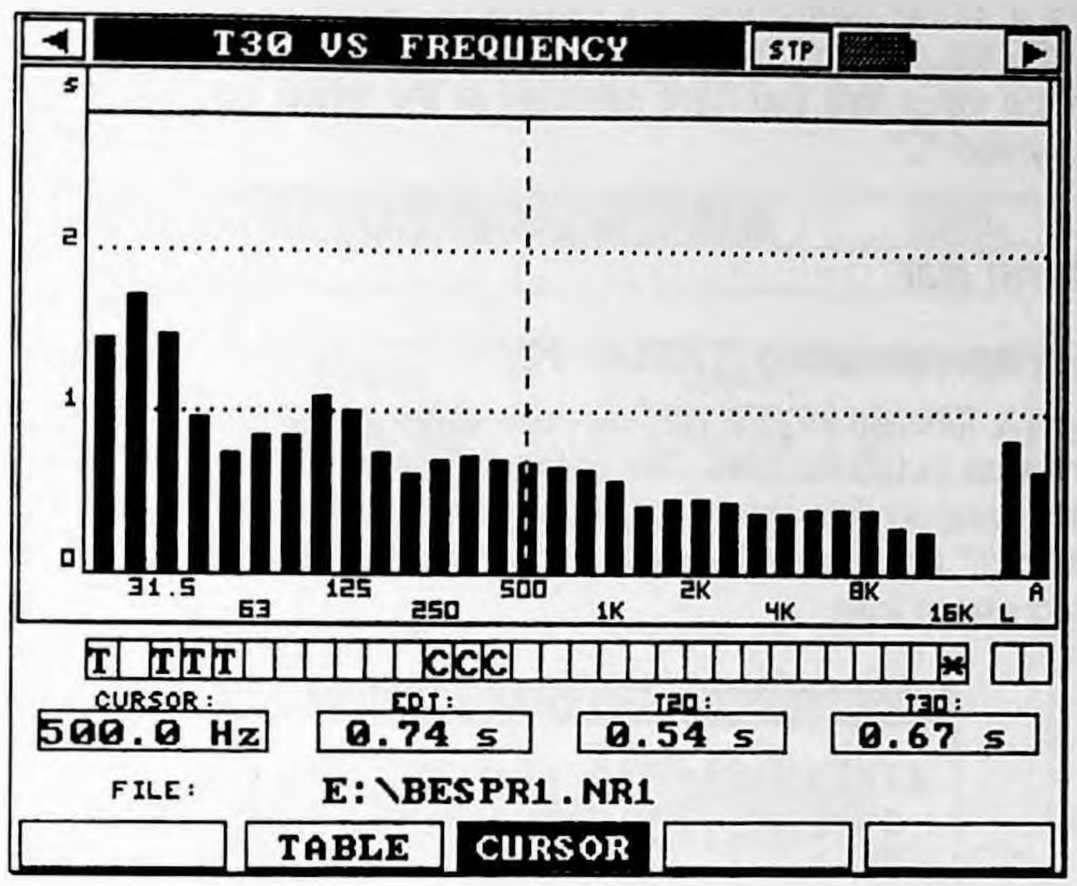


Fig 6 T_{30} vs. Frequency

File

Next to the display unit "FILE:" you find the current name of the logger file, whose reverberation time data you are studying. By pressing the "MEMORY" key, you can either load a logger file or store the reverberation times corrected by you.
After loading a measurement, the corresponding file name appears next to the term "FILE:". At the same time, possible overloads that occurred during the measurement, are indicated in the top line (status bar) with the element OVL.
The storing of the reverberation time data is only possible if you have made corrections on the regression lines in the decay curves screen.

Hint *The reverberation time data calculated by the device will be overwritten during the storing by the values you have altered.*

Status of the Reverberation Time Calculation

These display elements below the reverberation time spectrum indicate, for each of the 32 frequency bands, the status of the reverberation time calculation.
The symbol "*" appears below the bands in which no reverberation time has been calculated. Either the corresponding third octave band lies outside the selected frequency range or the reverberation time could not be calculated because of insufficient level decrease.
In the case of a successful determination of the reverberation times, two plausibility checks are carried out. First it is checked whether the reverberation times reach certain minimum values. The minimum values result from the range of the third octave filters and the selected averaged time constant (see "Time Constant" in the logger setup page). If the values fall below the minimum values for reverberation times in one band, then the symbol "T" appears in the display.

You have a further control over the calculated values through the correlation of the decay curves with the regression line which has been described above. If the correlation falls beneath the value that you have selected in the setup screen, then this will be indicated with the symbol "C".

The Menu Bar

Tabular Representation (TABLE - F2)

By using the function key F2 you can look at the reverberation times with the indication of the correlation in tabular form. The abbreviation "n.a." (not available) indicates that for the respective band no data are available (according to the symbol "*" in the graph).
The symbol "!" after a reverberation time marks bands in which you have made corrections on the regression lines.

T30 AND CORRELATION VS FREQUENCY

f[Hz]	sec.	%Corr	f[Hz]	sec.	%Corr
20.0	1.44!	99.6	800.0	0.62	96.9
25.0	1.70!	99.3	1.00k	0.56	96.2
31.5	1.44!	99.8	1.25k	0.41	98.0
40.0	0.96!	98.9	1.60k	0.45	97.7
50.0	0.74!	99.2	2.00k	0.46	98.5
63.0	0.85	99.7	2.50k	0.43	98.5
80.0	0.85	99.5	3.15k	0.36	98.2
100.0	1.07!	97.9	4.00k	0.37	98.7
125.0	0.99	97.4	5.00k	0.39	99.2
160.0	0.73	96.7	6.30k	0.38	98.2
200.0	0.61	96.2	8.00k	0.38	97.5
250.0	0.70	94.7	10.0k	0.27	99.6
315.0	0.72	92.4	12.5k	0.24	99.8
400.0	0.70	92.2	16.0k	n.a.	n.a.
500.0	0.67	95.6	L	0.83	97.3
630.0	0.64	96.5	LA	0.62	99.2

Fig 7 T_{30} and Correlation vs. Frequency

Fade the Cursor In/Out (CURSOR - F3)

To determine the exact reverberation time values, you can, with the aid of a vertical cursor, "point" to the corresponding band. This cursor is faded in or out with the function key F3. You will see the position of the cursor below the term "CURSOR:", the numerical values of the corresponding reverberation time bar are below the titles "EDT:", "T20:" and "T30:".
The symbol "!" after a reverberation time marks bands in which you have made corrections on the regression lines.

Move the Cursor (Keys ⇦/⇨)

With the cursor keys you have the possibility to position a cursor anywhere you like. The display of the decay curves on the next screen page is linked to this cursor position.

Hint *In order to analyse the decay curves of the bands you are interested in, move the cursor to the corresponding position and select with the aid of the "PAGE ▯ " or the "PAGE ▯ " key the decay curves screen.*

The Setup Screen

By pressing the "SETUP" key in the reverberation time screen, the setup of the page appears.

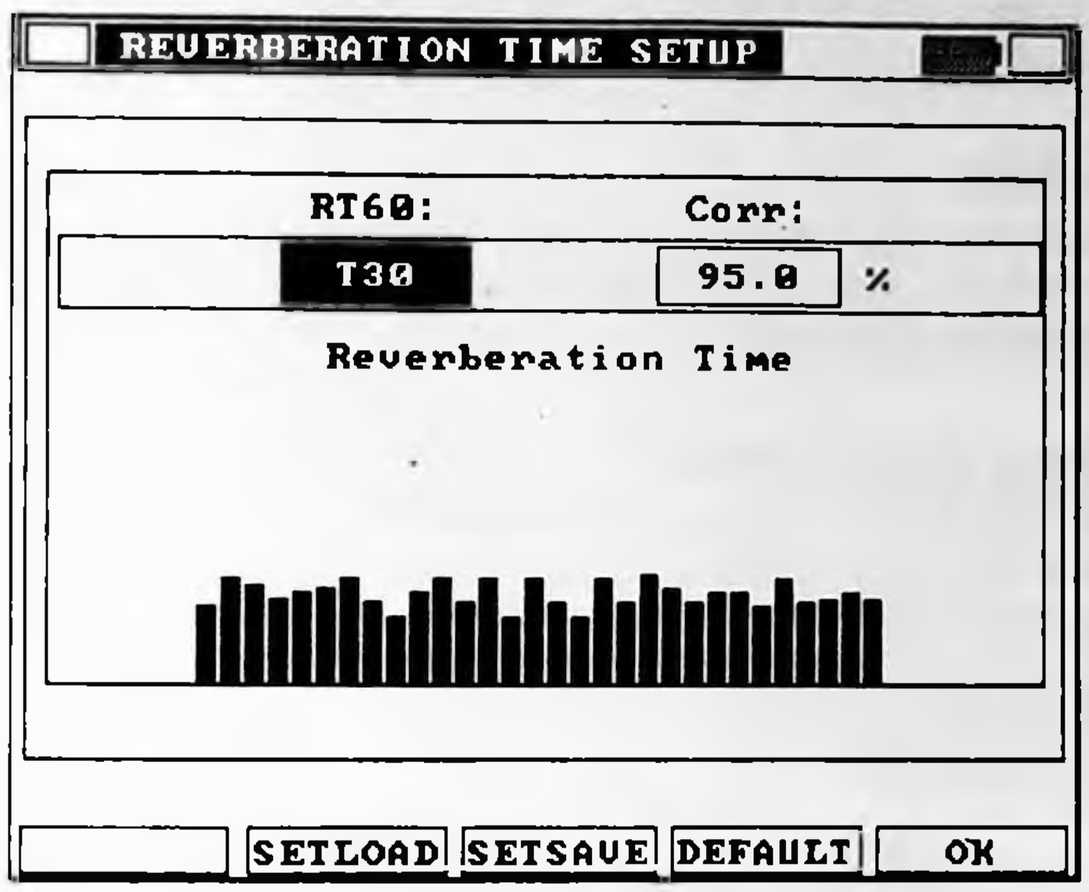


Fig 8 Reverberation Time Setup

RT60

In this field you can determine, with the aid of the ↵ key, what spectrum will be shown in the graphic and tabular reverberation time display. The selectable spectra are EDT, T_{20} and T_{30}.

Corr

In this field you indicate the correlation limit, at which the warning "C" should appear in the reverberation time screen, if a value has fallen below the limit.
Select the indication with the aid of the cursor keys ▯ and ▯ and enter the value in % with the numeric keys.

The Menu Bar

Load a Status File (SETLOAD - F2)

With the function key F2 you can load an already stored status file with its settings into the NC10. The previous settings will be overwritten by the loaded values.

Save a Status File (SETSAVE - F3)

By pressing the function key F3 you can store the alterations that have just been made, either on your inserted PCMCIA card or under a file name in the internal memory of the NC10.

Set Up Factory Settings (DEFAULT - F4)

If you want to set up the factory setting of the trigger function, then press the function key F4. The previous settings will be overwritten by these values.

Quit (OK - F5)

If you have made all the alterations and possibly also stored them with "SETSAVE", then quit the settings with the function key F5. The settings will be immediately transferred and become visible.

Escape (ESC)

If a mistake has occurred in your selection of settings or if you have pressed the "SETUP" key inadvertently, then you can quit the display by pressing the "ESC" key. All setting alterations will be disregarded.

The Decay Curves Screen

With the aid of this screen you can look at the decay curves of already recorded logger files either in a "level vs. time" display or in a waterfall display and correct the regression line determined by the NC10.

Hint *The decay curves screen starts automatically with the level history of the band that you have selected, with the cursor, in the reverberation time screen.*

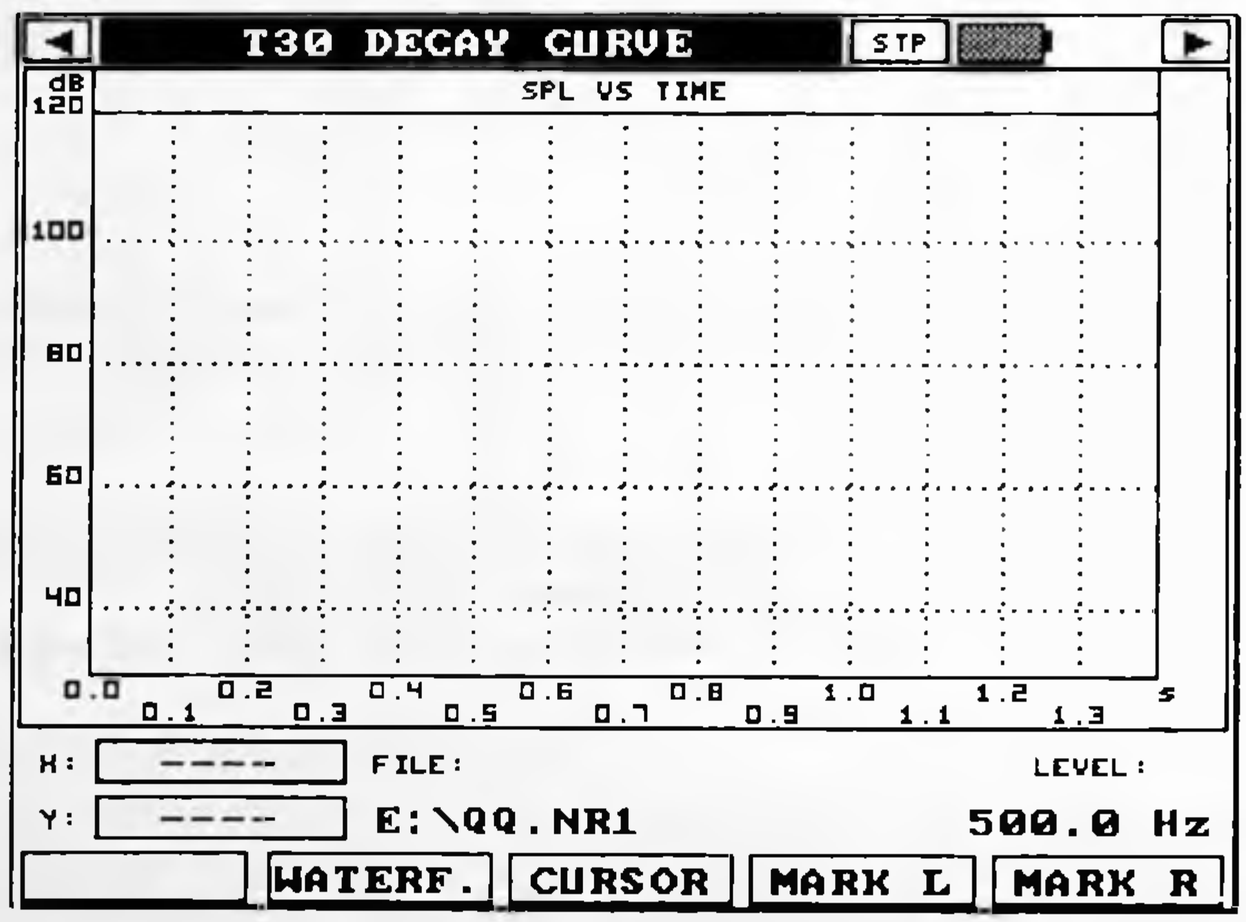


Fig 9 T_{30} Decay Curve

File

Below the display element "FILE:", you find the current name of the logger file, whose decay curves you are studying. By pressing the "MEMORY" key, you can either load a logger file or store the reverberation time corrected by you.
After having loaded a measurement, the corresponding file name appears below the term "FILE:". At the same time, possible overloads, that occurred during the measurement will be indicated in the top line (status bar) with the element OVL.
The storing of reverberation time data is only possible, if you have made corrections on the regression lines in the decay curves screen.

Hint *The reverberation time data calculated by the device will be overwritten during the storing by the values you have altered.*

Level

Below this field the level designation of the viewed level history is indicated.

The Menu Bar

Display Mode Selection (SPL(t)/WATERF. - F2)

Shifting between the "level vs. time" display and the waterfall display is carried out by pressing the function key F2.

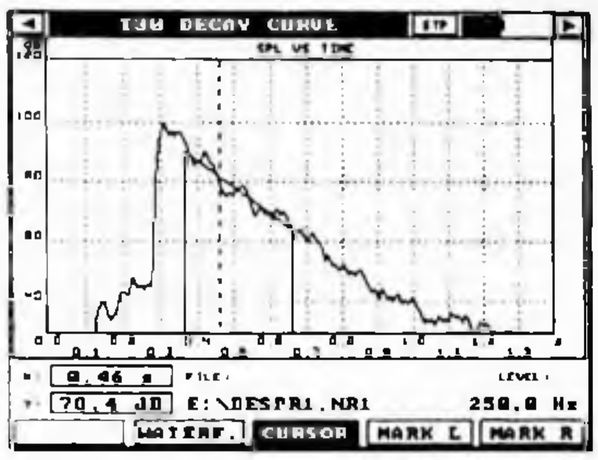


Fig 10 T30 Level vs. Time

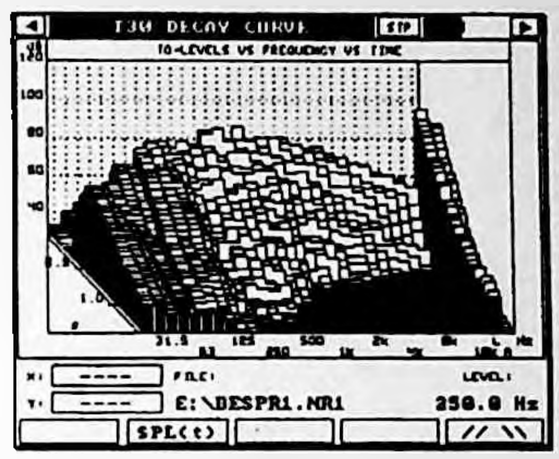


Fig 11 T30 Waterfall Display

The Waterfall Display

In the waterfall display all 32 levels are **always** displayed. A cursor is **not** available.

Fade the Cursor In/Out (CURSOR - F3)

For determining the exact level value, you can, with the aid of a vertical cursor, "point" to the corresponding time. This cursor is faded in or out with the function key F3. You will see the position of the cursor in the display fields "X:" and "Y:".

Move the Cursor (Keys ⇦/⇨)

With the cursor keys, you have the possibility to position the cursor anywhere you like.

Mark the Left Curve Point (MARK L - F4)

With the cursor switched on, you can mark with the function key F4, in the "level vs. time" display the left point (Starting Point) of the period in which a renewed calculation of the reverberation time of the corresponding band is carried out.
After pressing the function key F4 the reverberation time will immediately be calculated and the regression line will be drawn into the time history. You will see the corrected reverberation time in the reverberation time screen.

Hint *The correction of the reverberation time only takes places for the selected reverberation time spectrum, i.e. in the case of altering the reverberation time T_{30} of a band T_{20} and EDT remain untouched.*