ABSORÇÃO ACÚSTICA NA QUALIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO:
Da Sala de Estar ao Estúdio de Som

Lourdes Zunino Rosa

Tese submetida ao corpo docente do curso de Mestrado em Arquitetura, Área de Concentração – Conforto Ambiental, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em ciências em Arquitetura.

Aprovada por:

Professor Jules Ghislain Slama

Professora Liana De Ranieri

Professora Ana Maria Rambauke

Professor Walmor José Prudêncio

Rio de Janeiro, RJ – BRASIL

Setembro de 1992

T 151

T/CA
36

ZUNINO ROSA, LOURDES
Absorção Acústica na Qualidade do Ambiente Construído:
Da Sala de Estar ao Estúdio de Som. (Rio de Janeiro) 1992
vii, 142 p. 29,7 cm (FAU/UFRJ. M. Sc. Arquitetura, 1992)
Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, FAU
1. Acústica I. FAU/UFRJ II. Título (série)

"Uma profissão tem um propósito prático: satisfazer uma precisa necessidade humana."

Jacques Bargun

Agradecimentos

Aos membros da banca e sobretudo ao professor Jules Slama, pela orientação e incentivo a esta tese.
Às irmãs Vera e Virgínia pelo trabalho imenso de questionar o sentido, revisar o português, produzir a diagramação do texto, ilustrações e arte final.
Ao Fred, pelos sábados e domingos perdidos na elaboração dos gráficos e tabelas e ao Jorge pela digitação do texto.
Aos professores Elvira e Samir, da Universidade de Santa Catarina, que apesar da distância, me deram incentivo e idéias.
Ao Jandir Regianini, que anos atrás, ao me convidar para assessorá-lo na venda de um novo material acústico, me fez descobrir esse enorme problema social – a poluição sonora, através das frequentes visitas a fábricas e indústrias cariocas.
À amiga Júlia, pela paciência e carinho com que soube compartilhar seus conhecimentos com minhas dúvidas "sonoras".
À minha mãe, meu filho e Maurício pela compreensão.
A todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram na realização desta tarefa, e em especial a Bianca e Márcio.

Resumo da Tese apresentada à Coordenação do Mestrado em Arquitetura da FAU/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura (M. Sc.)

ABSORÇÃO ACÚSTICA NA QUALIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: Da Sala de Estar ao Estúdio de Som
Lourdes Zunino Rosa
setembro de 1992

Orientador: Professor Jules Ghislain Slama, Doutor em Acústica pela Universidade d'Aix Marseille II, France, 1988.
Programa: Conforto Ambiental/Acústica

Resumo:
O objetivo deste trabalho é fornecer um instrumento de ajuda na resolução de alguns problemas acústicos, comuns em arquitetura, como o de reverberação nos ambientes. Consiste na apresentação de conceitos básicos de acústica arquitetônica, assim como fichas técnicas de alguns materiais encontrados no mercado brasileiro. A análise de desempenho dos materiais é apresentada através de gráficos comparativos. As necessidades do mercado são investigadas.

Summary of the thesis presented to the Master in Architecture Coordenation as a part of the requisite needed for the obtention of Master Degree in Ciences of Architecture (M. Sc.)

ACOUSTIC ABSORPTION IN THE QUALITY OF BUILDING ENVIRONMENT: From the Living Room to the Recording Studio.
Lourdes Zunino Rosa
september 1992

Chairman: Professor Jules Ghislain Slama. Doctor in Acoustic by the Aix Marseille II University, France, 1988.
Subject Matter: Environment Confort/Acoustics

Abstract
The matter of this work is to introduce an instrument assisting to the resolution of certain acoustical question, current in architecture as, for instance, the ambient reverberation. It consists in the approach of basic concepts in architectonic acoustics as well as, tecnical files of the acoustic absorption performance of certain materials, which can be found in the brasilian market. The material performance analyses is presented through comparative graphics. Necessities of the market were checked.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
BIBLIOTECA

Índice

CAPÍTULO I

Introdução 1

1.1. Um Pouco de História 2
1.2. Arquitetura versus Som e Ruído. Problemas Sociais 3

CAPÍTULO II

Noções Básicas. Propriedades do Som 5

2.1. Fonte, Propagação, Recepção 6
2.2. Frequência e Comprimento de Onda 8
2.3. Velocidade do Som 10
2.4. Unidades 11
    2.4.1. Nível de Pressão Acústica 11
    2.4.2. Nível de Potência Acústica 13
    2.4.3. Nível de Intensidade Acústica 13
2.5. Ouvido Humano 15
2.6. Níveis de Conforto, Curvas de Referência 16
2.7. Medição 19
    2.7.1. Tipos de Ruído 20
    2.7.2. O Nível de Ruído Equivalente (Leq) 21
    2.7.3. Valores Típicos de Ruído em Decibel 22
2.8. Ruído Aéreo, Ruído de Impacto 22
Anexo 1. Sumário de Fórmulas 24

CAPÍTULO III

Acústica Arquitetônica 25

3.1. Estudo das formas 25
3.2. O Isolamento Acústico 26
3.3. O Condicionamento Acústico 28
    3.3.1. Reflexão 28
    3.3.2. Difração 29
    3.3.3. Difusão 29
    3.3.4. Foco 30
    3.3.5. Eco 31
    3.3.6. Outros Fenômenos 32
    3.3.7. Absorção 32
3.4. Redução do Nível Sonoro Através da Absorção 35
    3.4.1. Campo Livre 36
    3.4.2. Campo Reverberante 38

3.5. Tempo de Reverberação 42
3.5.1. Aplicação 45
3.5.2. Montagem e Ajustes 46
3.6. Correção, Tipologia 48
3.6.1. Revestimentos, Acabamentos 48
3.6.2. Ressonadores de Membrana 48
3.6.3. Ressonadores de Cavidade 49
3.6.4. Baffles, Barreiras e Enclausuramento 50
Anexo 2. Sumário de Fórmulas 51

CAPÍTULO IV

Aplicação 52

4.1. O Projeto Acústico 52
4.2. Residências 53
4.3. Indústrias 54
4.4. Escritórios, Bancos e Lojas 56
4.5. Restaurantes 58
4.6. Escolas 59
4.7. Auditórios, Cinemas e Teatros 61
4.8. Estúdios de Rádio e Televisão 66

CAPÍTULO V

Materiais de Absorção. Correção Acústica 69

5.1. Fichas Técnicas (Fabricante, Descrição, Tipo, Dimensões, Conductibilidade, Inflamabilidade, Densidade, Espessura, Coeficiente de Absorção Sonora e Fontes) 69
5.2. Gráficos Comparativos 101
5.3. Lista de Fabricantes 129

CAPÍTULO VI

Normas 131

6.1. Normas Brasileiras 131
6.2. Normas Estrangeiras 132
6.3. Agências de Normatização e Organismos Ligados à Área 135

CAPÍTULO VII

Conclusões 137

BIBLIOGRAFIA 140

Anexo 3. Folhetos dos Fabricantes 142

CAPÍTULO I

Introdução

A idéia deste trabalho foi fruto do convívio com consultores de acústica, arquitetos e engenheiros, nos diversos congressos, sessões técnicas e palestras de que participei. Muitas foram as vezes, em que foi levantada a necessidade de um trabalho que reunisse dados técnicos, relacionados à acústica dos materiais de construção disponíveis no Brasil, à semelhança de informações técnicas, publicadas nos Estados Unidos e na Europa. O conhecimento sobre estes materiais estrangeiros é útil somente como referência, já que na maioria dos casos não temos produtos similares.

Em visitas ao INMETRO no Rio de Janeiro e telefonemas ao IPT de São Paulo, soube que este tipo de trabalho foi por eles iniciado, mas esbarra no acordo de alguns fabricantes para divulgação dos testes de desempenho dos materiais, nem sempre favoráveis...

O presente trabalho visa preencher esta lacuna, mas sem pretender substituir o trabalho que, esperamos, venha ser publicado pelos nossos laboratórios de pesquisa em acústica. Consultores e projetistas, precisamos de dados técnicos confiáveis para que possamos melhorar a qualidade do ambiente construído.

Visto as limitações deste trabalho, nos detivemos no estudo do desempenho de alguns materiais de construção, relacionados com absorção acústica, dos quais obtivemos dados fornecidos pelos fabricantes, bibliografia do assunto e estudos de pesquisadores.

É preciso ressaltar que uma análise mais profunda, quanto a inflamabilidade, resistência mecânica, processos de fabricação e sua implicação ambiental, assim como formas de colocação e custos finais, deverá ser empreendida para que se possa fazer a escolha correta de um determinado material para cada caso específico de projeto.

Lembramos ainda que, comparativamente a países ditos do primeiro mundo, temos poucos produtos no mercado, mas muito pode ser feito em termos de tratamento acústico, usando-se materiais alternativos, como palha, serragem, etc. Infelizmente, apesar do esforço de alguns pesquisadores, ainda há muito o que se testar e experimentar.

Trabalhando e pesquisando nesta área, constatamos a falta de informação sobre conceitos básicos de acústica entre muitos colegas, gerando aberrações como auditórios com planta circular, escolas com janelas voltadas para ruas de tráfego intenso, salas de máquina completamente revestidas de azulejos ao lado de locais de trabalho, residências com paredes próximas, paralelas, pouco espessas, deixando vazar e amplificando os sons gerados dentro delas.

Por este motivo, os primeiros capítulos são dedicados à explanação dos conceitos básicos, acústica arquitetônica e aplicações práticas, procurando usar linguagem accessível e didática. Alguns trabalhos já foram publicados no Brasil neste sentido, como o dos professores Pérides (10) e Carvalho (11). A inovação fica por conta das fichas técnicas, gráficos e sua análise, que somadas à parte didática, esperamos converter em instrumentos de trabalho.

É sem dúvida, uma contribuição modesta, visto que o estudo da acústica como ciência tem um pouco mais de um século e muita pesquisa por se realizar.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
BIBLIOTECA

1.1 Um Pouco de História

Provavelmente, a primeira referência significativa à Acústica Arquitetônica, foi feita pela pelo Arquiteto Romano Vitruvius (séc.I A.C). No seu tratado "De Architetura", ele identifica as propriedades do som observadas num teatro.
Na Grécia e Roma Antiga, três princípios foram observados na construção de seus locais de assembléia e lazer ao ar livre:
1) A perda da energia sonora relativa com a distância do ouvinte da fonte.
2) A absorção considerável criada pela audiência
3) A interferência de ruídos vindos de diversas fontes
Criando desníveis, painéis reflexivos perto dos locutores, aproximando os ouvintes da fonte sonora através de formas curvas, eles conseguiram resultados excelentes, reforçado pelas máscaras dos atores que aumentavam seu poder vocal, além de marcar as expressões faciais. A falta de poluição sonora, certamente era mais um ponto favorável.
Nos séculos seguintes muitos teatros foram construidos, diferentes formas apareceram, e observações científicas quanto aos fenômenos acústicos, começaram a ser feitas.

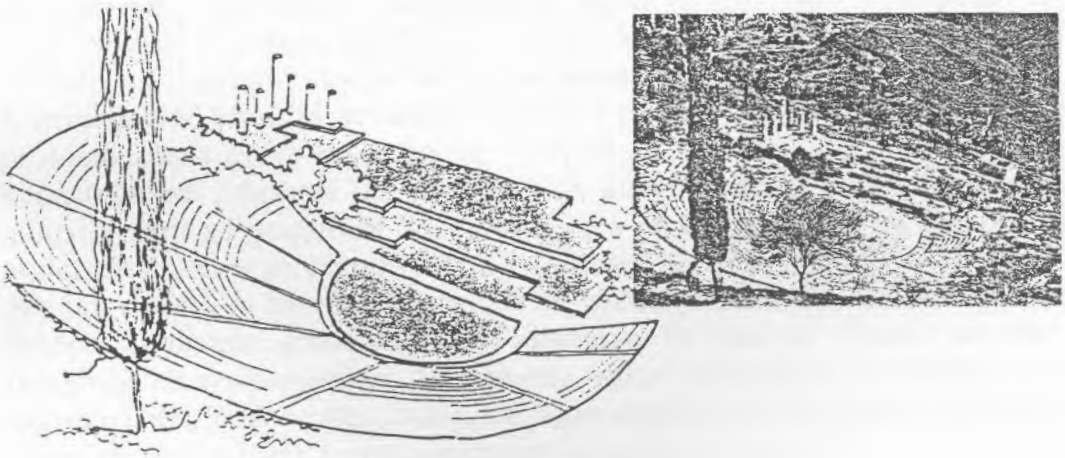


Figura I.1 Teatro Grego Antigo
Fonte: Knudsen (1)

No começo do século XIX, a acústica arquitetônica estava restrita a projetos de locais para performance da música, como igrejas, óperas e salões de baile. Compositores criavam tipos diferentes de música, para serem executados em locais específicos. A acústica era empírica. O arquiteto Charles Garnier projeta a Ópera de Paris e afirma que não se baseou em nenhuma teoria - a qualidade sonora do local foi conseguida por sorte!
Importantes contribuições para a Acústica começam a aparecer, mas é somente no final do séc. XIX (1895 a 1898) que Wallace Sabine estabelece as bases para o desenvolvimento da ciência da acústica arquitetônica na Universidade de Harvard, na Inglaterra.
A partir de então, o desenvolvimento da acústica se acelera. Aparecem

instrumentos de medição, pesquisas são engajadas, princípios estabelecidos. Nos anos trinta nasce o cinema falado, e com ele a qualidade das gravações, amplificações, reprodução do som. O rádio e a televisão trazem novos problemas acústicos e cresce o interesse pela música. Materiais acústicos são produzidos e testados para controlar o som.
O progresso em acústica de interiores se acelera, assim como o crescimento de nossas cidades e suas diversas fontes de ruído. Estamos na virada de mais um século e o controle desta poluição, entre outras que interferem no meio ambiente, torna-se um problema urgente. A responsabilidade do Homem como modificador da natureza aumenta e a educação neste sentido, torna-se imprescindível.
O estudo da acústica arquitetônica e ambiental dará um próximo passo na história. Arquitetos e projetistas, como modificadores do meio ambiente, assumam seus postos e responsabilidade!

1.2 Arquitetura versus Som e Ruído. Problemas Sociais

Aglomerações humanas trazem progresso e ruído entre outras coisas. O ruído traz dramas sociais que aumentam com a proporção de estradas, construções e o tamanho das cidades. Acidentes de trabalho, internações psiquiátricas, aumento do consumo de soníferos e jornadas de trabalho perdidas. Custo social elevado influenciando na saúde e na economia de uma cidade.
A Organização Mundial de Saúde classifica a poluição sonora como o terceiro problema mais grave de poluição – depois da poluição do ar e da água. Recentemente , durante um programa de televisão sobre poluição sonora, muitas foram as perguntas do público para os especialistas de como eles poderiam resolver problemas com o vizinho trompetista, o latido do "poodle" que tira o sono, o barulho da avenida de circulação intensa, motos, buzinas, sirenes, furadeiras, gritos de bebês, aparelhos de som no volume máximo, aparelhos eletrodosmésticos, televisores, enfim, um rosário de reclamações intermináveis. Todos estes ruídos, em apartamentos que formam verdadeiras caixas de ressonância, tornam-se realmente casos de polícia!

Cada vez mais comuns nas nossas cidades, as discotecas proliferam ao sabor da moda, derramando níveis de ruído insuportáveis para a vizinhança, e simplesmente "fantástico" para os nossos jovens, que expostos a mais de 100 decibéis, sentem o corpo todo "vibrar" e não percebem o dano a que expõem a própria saúde.

São justamente estes efeitos crônicos, que se dão a longo prazo, os piores problemas decorrentes do excesso de ruído, já que o indivíduo se habitua ao estímulo. Além da surdez e da queda de acuidade auditiva, os problemas de saúde se extendem por todo o sistema nervoso causando má circulação, pressão alta, palpitações, irritações, enfim, problemas fisiológicos e psicológicos em geral.

No Brasil, o comércio, prestação de serviços e tráfego, estão entre as causas mais frequentes das reclamações registradas.

A quem recorrer? Com quem reclamar? Existem soluções? Sim, é possível resolver ou atenuar este tipo de problema, porém, mais simples e econômico será projetar corretamente apartamentos, fábricas, ambientes de lazer e trabalho no que nos concerne, projetistas de arquitetura e em outra instância projetar carros, eletrodomésticos, motores e máquinas em geral, com a preocupação do controle de ruído.

Outra questão primordial é a educação ambiental. O CONAMA - Conselho Nacional do meio Ambiente, criou em março de 1990, o Programa Silêncio que prevê a divulgação em escolas de primeiro e segundo grau, dos problemas da poluição sonora e como evitá-la. Este programa coordenado pelo IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, prevê também a classificação da potência sonora e etiquetagem de diferentes fontes de ruído como máquinas, motores e eletrodomésticos. Esta tarefa, a cargo do Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, possibilitará aos consumidores, a escolha de um aparelho menos ruidoso. Mas, infelizmente, na hora da decisão da compra, fala mais alto o bolso e o ruído do estômago vazio, como salienta Marcos Nabuco, coordenador deste projeto no Inmetro.

Outro problema "econômico" a resolver, são as multas impostas pela FEEMA, Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente, que os empresários preferem pagar do próprio bolso, a tomarem medidas corretivas para os problemas de poluição sonora causados por suas indústrias. Situação que já está mudando através de sistemas mais rígidos de controle; advertências e fechamentos de empresas.

De qualquer forma, o importante é saber que aos poucos os estados brasileiros, através de suas Secretarias de Meio Ambiente, estão caminhando para se equipar, formar técnicos e informar a população sobre os problemas da poluição sonora. Em Belo Horizonte, criou-se a Delegacia Ecológica para resolver, entre outras coisas, pequenas causas entre vizinhos, decorrentes de excesso de ruído. Está previsto para daqui a quatro anos, a comercialização de novos carros brasileiros bem mais silenciosos que os atuais. Até lá, vamos torcer para que a economia melhore; que a manutenção das estradas seja mais constante; que os velhos carros sejam substituídos; que a juventude, mais consciente, passe a reclamar do barulho; e que os arquitetos, mais informados, projetem edifícios saudáveis do ponto de vista do Conforto Ambiental, com economia de energia, e agradáveis – térmica, lumínica e acusticamente, podendo realmente ganhar o título de "edifícios inteligentes".

CAPÍTULO II

Noções Básicas - Propriedades do Som

Som – é uma sensação auditiva gerada por uma onda acústica.
A onda acústica resulta de uma vibração em um meio elástico (como o ar, materiais de construção e a terra), que gera uma série de compressões e rarefações. Este é o entendimento psicofísico do som, já que a definição física, é que existe som sempre que houver um corpo em vibração, mesmo que não possamos escutá-lo.

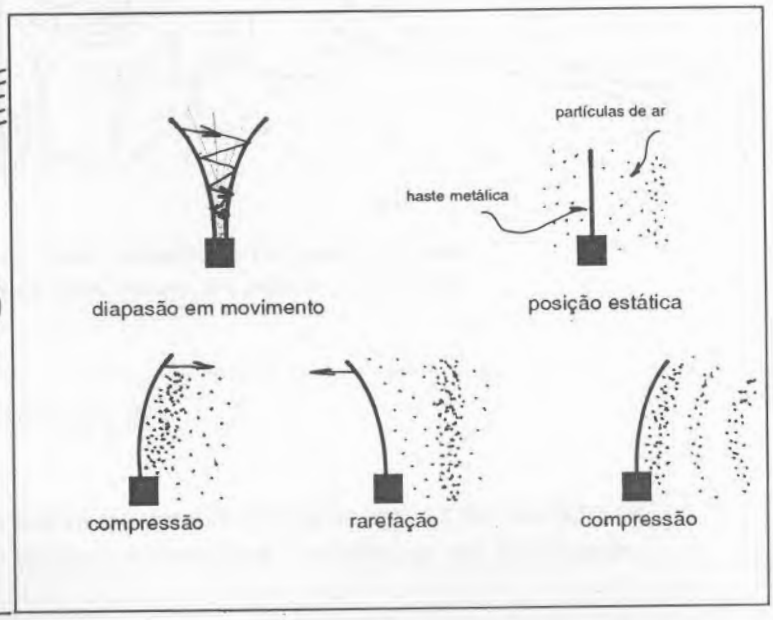


Figura II.1 - Som (baseado em Miguel Paiva)

Figura II.2 - Formação de ondas sonoras
Fonte: MEISSER (8)

Cada partícula em vibração se desloca para cada lado de sua posição normal em distâncias infinitesimais. Ela empurra (compressão) e puxa (rarefação) cada partícula adjacente, passando para estas a maior parte de seu movimento e energia.
Entretanto, a onda acústica progride rapidamente e pode viajar grandes distâncias. Não há transporte de matéria, as partículas se deslocam em torno de sua posição de equilíbrio.
O movimento sucessivo de compressões e rarefações, modificam a pressão ambiente ou pressão atmosférica. Estas variações atuam modificando igualmente a densidade e a temperatura do ar, como por exemplo, cerca de 0,008°C nas ondas sonoras produzidas pelo trompete, e portanto, modificações ínfimas.

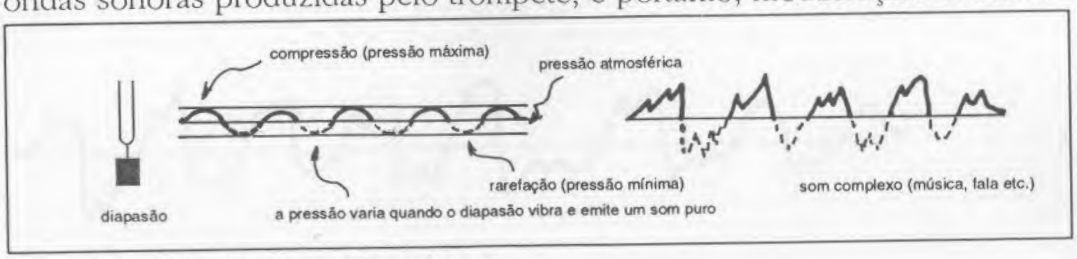


Figura II.3 - Variação da pressão ambiente

Como o som necessita de um meio elástico e inerte para se propagar, ele não se propaga no vácuo.

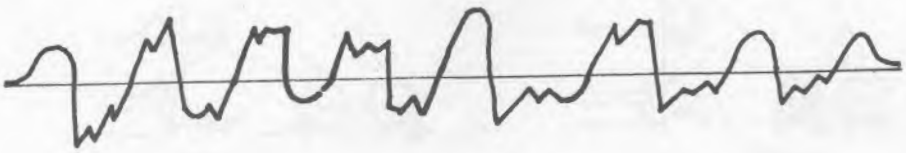
som ruído

Figura II.4 - Ruído – é o som indesejado. Depende do ponto de vista de cada pessoa, ou melhor ... de escuta!

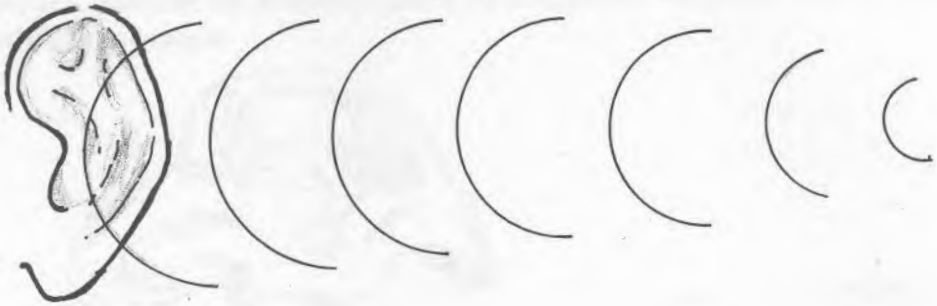
2.1 Fonte, Propagação, Recepção

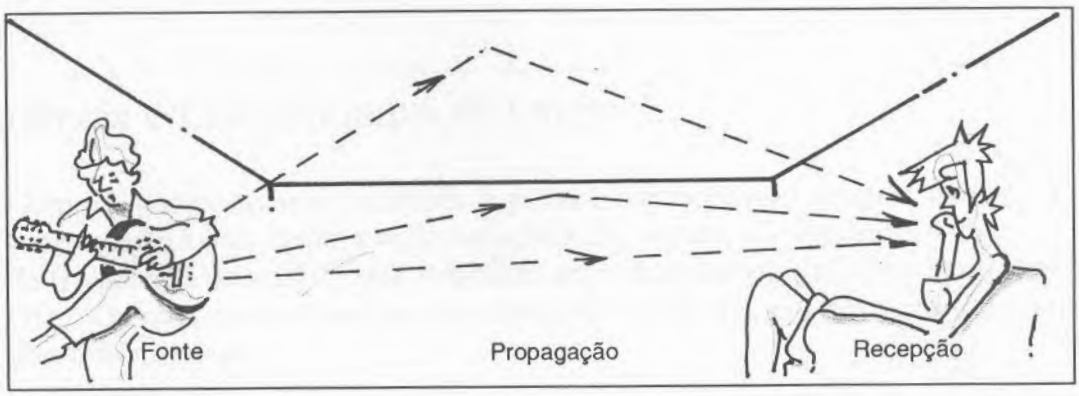
Em qualquer situação acústica, consideraremos estes três elementos:
a) Fonte sonora - que pode ser desejável, indiferente ou incômoda.

b) Propagação - o caminho que a onda sonora vai percorrer.



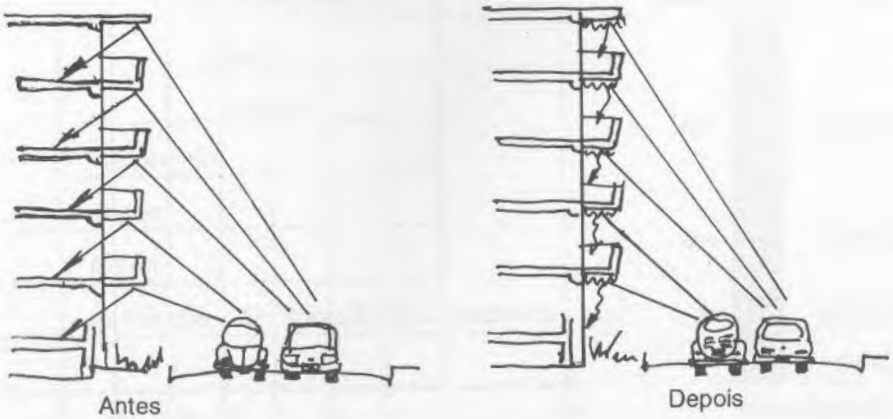
c) Recepção - que capta os sons transmitidos.





Se a fonte sonora for desejável, como por exemplo, música e fala, trataremos o local para que haja condições favoráveis de emissão, transmissão e recepção sonora. A fonte sonora pode ser enfatizada através de painéis reflexivos direcionando o caminho do som até o ouvinte. Este deve ser protegido dos ruídos incômodos que possam vir de outras fontes. Assim estaremos lidando com tratamento e isolamento acústico, noções que serão desenvolvidas no capítulo III.

Se a fonte for indesejável, como trânsito das ruas, barulho de máquinas, ou o "rock and roll" do apartamento vizinho, à melhor solução passará sempre por um tratamento da própria fonte de ruído. Quando isto não for possível, trataremos o local de recepção.

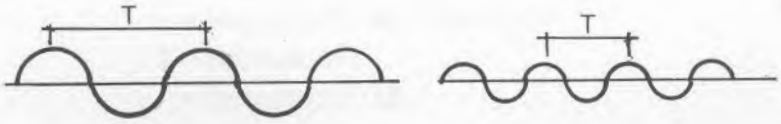


Som ou ruído, desejável ou não, projetistas precisam conhecer e usar as noções básicas de acústica para não agravar ou criar novas fontes de poluição sonora.

Figura II.5 - Tratamento da fonte de ruído...

2.2 Frequência e Comprimento de Onda

Como já vimos, o som modifica a pressão atmosférica, quando o meio de propagação é o ar. O número de variações da pressão, por segundo, é chamado de frequência do som (f), que é medido em ciclos por segundo (c.p.s) ou Hertz (Hz). Quanto maior o número de vibrações completas em um segundo, mais alta a frequência.

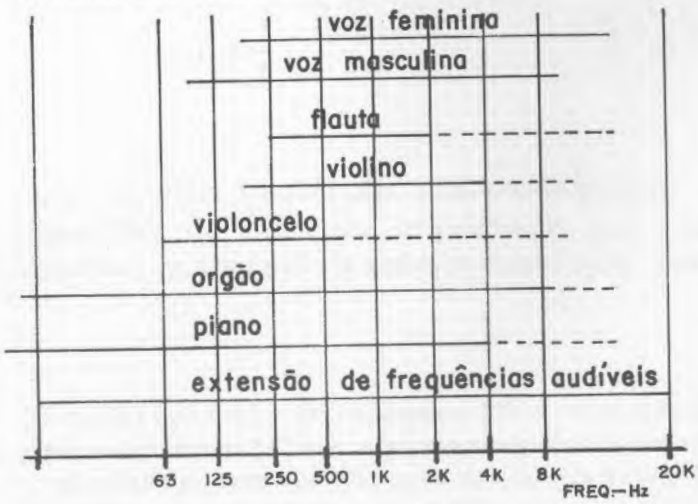


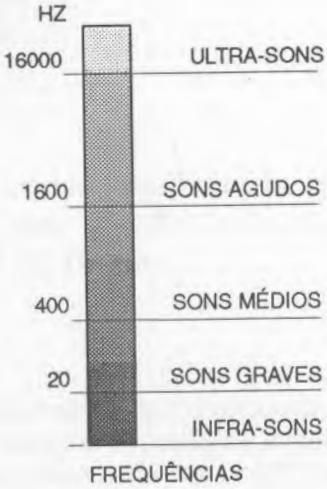
$$f = \frac{1}{T}$$

Sons puros: Grave (baixas frequências) Agudo (altas frequências)

Um período (T), é o tempo necessário, em segundos, para que a onda sonora complete um ciclo.

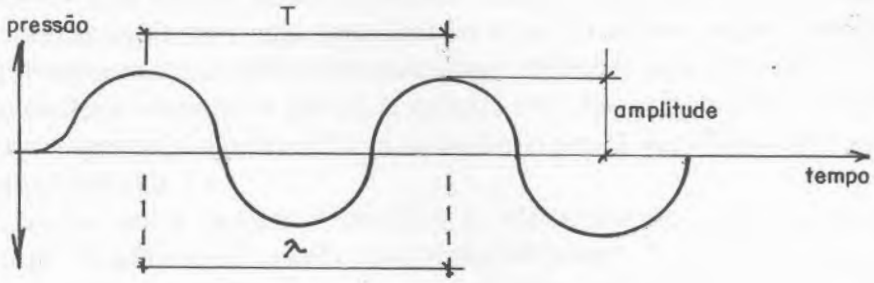
A fala humana contém energia de cerca de 125 a 8.000 Hz, sendo que as cordas vocais das mulheres são geralmente mais finas e mais curtas que as dos homens, produzindo assim sons mais agudos.





É interessante saber também, que uma pessoa jovem, com saúde, é capaz de escutar sons de 20 a 16.000 Hz. O limite superior tende a diminuir com o envelhecimento, ficando-se surdo, primeiro, para os sons mais agudos.
O comprimento de onda (λ) é a distância percorrida pela onda sonora, durante cada ciclo completo de vibração ou período. Está portanto, relacionado com a velocidade de propagação do som (c). A velocidade do som, por sua vez, está relacionada com a temperatura.

$c \cong 331$ m/s + 0,6 t° (*)[1]



λ = comprimento de onda (m)
c = velocidade do som (m/s)
T = período (s)
f = frequência (Hz)

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = c.T$$

Exemplos práticos: a nota Dó do piano, tem frequência de 256 Hz. O comprimento de sua onda é 1,33 m (Hz).

$$c = 340\,m/s\,(a20^{\circ}C)$$

$$f = 256Hz$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\lambda = \frac{340(m/s)}{256(1/s)}$$

$$\lambda = 1{,}33m$$

Sons de altas frequências têm comprimentos de ondas comparáveis às dimensões de elementos arquiteturais que embelezam grandes salas de concerto, melhorando a acústica destas salas. (vide 3.3.3 Difusão)

(*)[1] $c \cong 331$ m/s + 0,6 x 20°C. Ou seja, a 20°C a velocidade do som é de 343 m/s. Por questão prática adotaremos 340 m/s. Alguns autores consideram estas variações importantes, já que a velocidade do som aumenta cerca de 0,60 m/s a cada °C aumentado. Ou seja, a 40°C, a velocidade do som será de cerca de 355 m/s.

2.3 Velocidade do Som

Segundo KNUDSEN (1), se o som viajasse na velocidade da luz, cerca de trezentos mil metros por segundo, muitas das causas dos defeitos acústicos em auditórios não existiriam. Como o som viaja devagar, cerca de trezentos e quarenta metros por segundo (no ar, com temperatura ambiente de 20°C), ecos e reverberações aparecem nos locais.
Dados experimentais comprovaram que quando sons refletidos alcançam um observador depois de 0,058 segundos que o som direto, estes são distinguidos como ecos. O som viaja aproximadamente 20 metros, neste intervalo de tempo.
A reverberação consiste em sucessivas reflexões num ambiente, e já que o som se desloca somente a 340 m/s, existirá uma longa sucessão de reflexões, antes que o som seja inaudível. Nota-se então, o papel significante do som na acústica arquitetônica.
A temperatura ambiente modifica a velocidade do som, e a umidade relativa causa modificações ainda mais insignificantes. O aumento da velocidade do som com o aumento da temperatura, causa refração(*) das ondas sonoras na atmosfera, podendo afetar a distribuição do som em teatros ao ar livre.
O som viaja bem mais rápido na água e nos sólidos do que no ar. Sua velocidade varia conforme a homogeneidade e elasticidade do corpo que o propaga.

MATERIAL	VELOCIDADE DO SOM (m/s)
ar (20° C)	340
água	1.460
madeira	1.000 a 2.000
concreto	3.500
tijolo	2.500
aço	5.000 a 6.000
vidro	5.000 a 6.000
chumbo	1.320
cortiça	450 a 500
borracha	40 a 150

Tabela II.1 - Velocidade do som Fonte: DELEBECQUE (4)

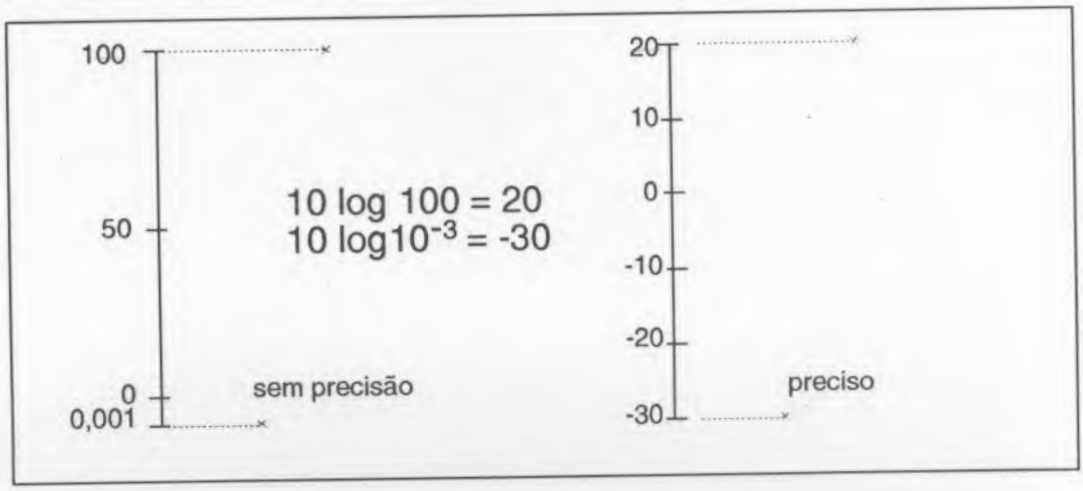
(*) Refração - mudança de direção de uma onda, passando de um meio a outro.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
BIBLIOTECA

2.4 Unidades

2.4.1 Nível de Pressão Acústica

Como vimos, a propagação de uma onda sonora no ar, se manifesta na forma de flutuações de pressão. Chama-se pressão acústica ou sonora essas flutuações que se sobrepõem à pressão atmosférica.
De uma maneira geral se avalia o nível de ruído, em função da pressão acústica. As unidades clássicas de pressão, Pascal (Newton/m^2) (*)[1] e Bária (Dina/cm^2), não são práticas para as medições dos sons audíveis. O ouvido humano é sensível a pressões que vão de 2 x10^{-5} Pa a 20 Pa, uma variação que vai de um a dois milhões. Para resolver este inconveniente usa-se o logaritmo, que permite exprimir com precisão as variações da pressão acústica.



A escolha do logaritmo é consequência da lei de Weber e Fechner (cientistas alemães do século dezenove). Segundo esta lei, a sensação é proporcional ao logaritmo da intensidade da fonte. Em acústica, para relacionar a intensidade do som (*)[2] ao nível de pressão acústica correspondente ao que o ouvido humano pode captar, criou-se o decibel (dB), em homenagem a Alexandre Graham Bell. O prefixo "deci" indica que o logaritmo é multiplicado por dez. O nível de decibéis é dado por:

$$L_p(dB) = 10\log\left(\frac{p^2}{p_o^2}\right) = 10\log\left(\frac{p}{p_o}\right)^2 = 20\log\left(\frac{p}{p_o}\right) \qquad (1)$$

A notação L é utilizada para designar nível sonoro, vem da palavra inglesa "level" que significa "nível". A fórmula é válida com logaritmos decimais.

P_o = é a pressão acústica de referência igual a 2 x 10^{-5} Pa ou 2 x 10^{-4} dina/cm^2 (pressão mínima audível)
P = é a pressão acústica da onda sonora expressa em Pascal

(*)[1] Pascal = Pa = 10^{-5} Kg/m2
(*)[2] ver nível de intensidade acústica em 2.4.3

A Tabela II.2. mostra a correspondência dos níveis sonoros com as pressões acústicas e a impressão subjetiva causada no ser humano.

NATUREZA DO RUÍDO	IMPRESSÃO SUBJETIVA	PRESSÃO ACÚSTICA		POSSIBILIDADE DE CONVERSAÇÃO
		em Pascal	em dBA	
turbo-reator	problemas de ouvido surdez		130	impossível
indústrias extremamente ruidosas e britadeira	barulhos insuportáveis	20	120	
			110	
	ambiência ruidosa incômoda	2	100	gritando
rua de grande circulação			90	difícil
		0,2	80	
refeitório ruidoso/ escritório de datilografia	ambiência suportável mas barulhenta		70	falando alto
apartamento com TV		0,02	60	
rua tranquila/ apartamento barulhento	barulhos corriqueiros		50	falando normalmente
apartamento calmo		0,002	40	
	calma		30	à voz baixa
estúdio de rádio	muito calma	0,0002	20	
jardim tranquilo			10	
laboratório de acústica/ limite de audibilidade (*)[1]	silêncio inabitual	0,00002	0	

Tabela II.2 - Tabela de Níveis Sonoros Fonte: DELEBECQUE (4) e MEISSER (8)
(*)[1] - ver item 2.5 O Ouvido Humano

Possibilidade de conversação

Impossível Gritando Falando alto Falando baixo

A escala logarítmica é, como vimos, mais precisa, porém, um pouco mais difícil de ser manipulada.
Por exemplo: Um prédio de doze metros de altura, é de fato, duas vezes maior que um prédio de seis metros. Mas se colocarmos uma máquina com nível de pressão acústica de 60 dB, ao lado de outra produzindo o mesmo nível sonoro não teremos 120 dB, e sim, 63 dB.
Usando a fórmula (3) que veremos mais adiante, temos:

$$L_I = 10\log\frac{I_1}{I_0}$$

$$60 = 10\log\frac{I_1}{10^{-16}}$$

$$6 = \log\frac{I_1}{10^{-16}}$$

$$\log 10^6 = \log\frac{I_1}{10^{-16}}$$

$$10^6 = \frac{I_1}{10^{-16}}$$

$$I_1 = 10^6 \text{x} 10^{-16}$$

$$I_1 = 10^{-10}\ watt/cm^2$$

2 máquinas de 60 dB

$$I_2 = 2\text{x}I_1$$

$$L_{I2} = 10\log\frac{2\text{x}I_1}{10^{-16}}$$

$$L_{I2} = 10\log\frac{2\text{x}10^{-10}}{10^{-16}}$$

$$L_{I2} = 10\log 2\text{x}10^6$$

$$L_{I2} = 10(6,301) = 63dB$$

2.4.2 Nível de Potência Acústica

Tudo que vibra emite um som, na forma de ondas de compressão e rarefação que se propagam. Para que se produzam estas ondas, é necessário que a fonte libere uma certa quantidade de energia no ar do entorno. **A potência acústica de uma fonte corresponde à energia liberada por unidade de tempo.**
O nível de potência acústica (L_W) também se expressa em decibéis.

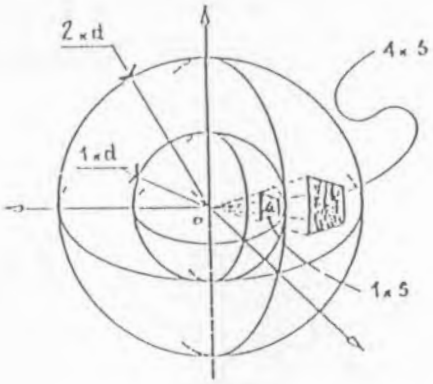
$$L_W(dB) = 10\log\frac{W}{W_0} \qquad (2)$$

onde W_o = potência acústica de referência. Igual a 10^{-12} w
W = potência acústica da fonte expressa em watts

O nível de pressão acústica caracteriza o ruído percebido pelo ouvido. O nível de potência acústica caracteriza o ruído emitido por uma fonte.
O nível de pressão acústica devido a uma fonte de potência acústica dada, depende da distância do ouvinte em relação a fonte e das características do local em que se encontra a fonte.

2.4.3 Nível de Intensidade Acústica

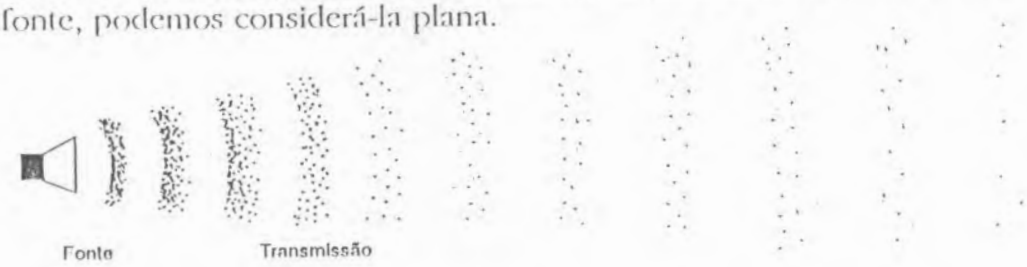
A energia liberada por uma fonte, se reparte de maneira uniforme sobre as ondas de compressão e rarefação. Estas ondas se propagam a partir da fonte e sua superfície aumenta a medida que se afastam. São ondas esféricas.



$$I = \frac{W}{4\pi d^2}$$

onde:
W = potência acústica em watts
d = distância entre a fonte e o local de recepção
S = área da esfera ($4\pi r^2$)

A concentração de energia por unidade de superfície de onda diminui a medida que se afasta da fonte. Quando consideramos uma onda acústica muito afastada da fonte, podemos considerá-la plana.



$$I = \frac{P^2}{\rho c}$$

onde p = pressão acústica em Pa
ρ = massa específica do ar (1,21 kg/m³)
c = velocidade do som (343 m/s)
ρc = 415 mKs Rayl

A intensidade sonora I é a quantidade de energia transmitida por uma onda sonora durante uma unidade de tempo (segundos) através de uma unidade de superfície (m²), perpendicular à direção de transmissão.

O nível de intensidade acústica, é também expresso em decibéis, pela fórmula:

$$L_I(dB) = 10\log\frac{I}{I_0} \qquad (3)$$

onde $I_0 = 10^{-12}$ W/m² = 10^{-16} W/cm² = intensidade acústica de referência mínima audível
I = intensidade acústica da fonte em estudo em W/m² ou W/cm²

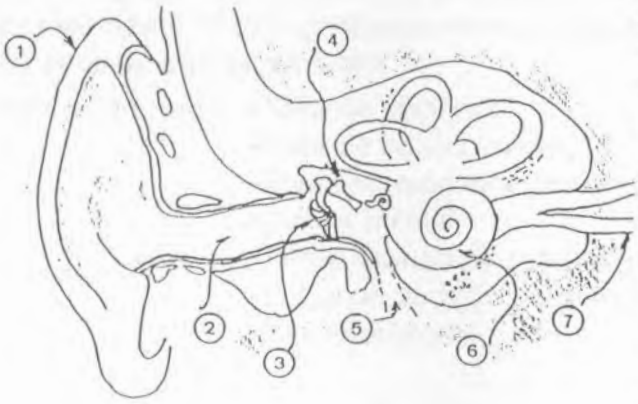
Quando o meio de propagação é o ar temos:

$$I_o = p_o = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

Potência é uma unidade básica para energia acústica e elétrica. As duas são medidas em watts, mas são formas diferentes de energia. Por exemplo, uma lâmpada de 10 watts produz muito pouca luz, mas uma energia acústica de 10 watts num autofalante pode produzir um som bem forte.

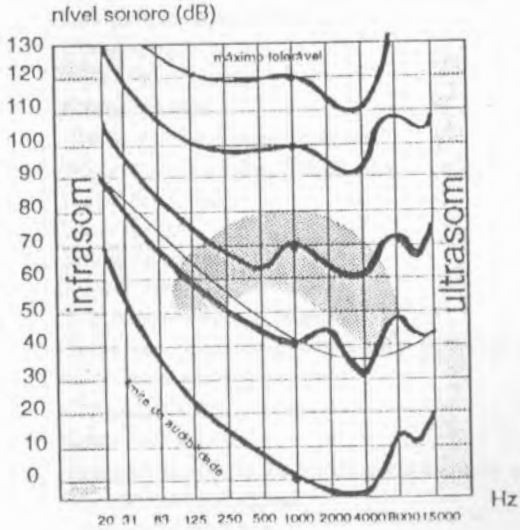
Pressão acústica, ou nível de pressão sonora, pode ser considerada igual (no ar) ao nível de intensidade acústica para os problemas de acústica arquitetônica. **Pressão e intensidade acústica**, podem ser comparadas a níveis de iluminação (em lux), enquanto potência acústica será comparada a quantidade de lumens emitida por uma lâmpada.

2.5 Ouvido Humano



1 - orelha
2 - canal auditivo externo
3 - tímpano (a energia sonora faz o tímpano vibrar)
4 - martelo, estribo e bigorna (três pequenos ossos acionados no ouvido médio quando são transmitidas vibrações pelo tímpano)
5 - trompa de Eustáquio (contém ar na pressão atmosférica, estando conectada à garganta) (*)[1]
6 - caracol (as vibrações são transmitidas em um fluido até os nervos da audição, que levam os impulsos ao cérebro, onde são interpretados)
7 - nervos da audição

O ouvido humano transforma as pressões sonoras em sensações audíveis, mas sua sensibilidade é limitada, não percebe da mesma forma em todas as frequências. É mais sensível entre 1 e 4 KHz (ver gráfico II.1). É importante notar porém, que o ouvido explica somente uma parte da audição, já que os impulsos sonoros chegam ao cérebro, começando então a psicoacústica.



Infrasons - sons com frequência inferior a 20 Hz
Ultrasons - sons com frequência superior a 15.000 Hz (varia segundo autores)
Limite da audibilidade - valor mínimo, para cada frequência, susceptível de provocar um sensação sonora
Limite da dor - acima deste não se percebe as diferenças de níveis sonoros.

Gráfico II.1 - Curvas de igual sensação do ouvido
A zona quadriculada, corresponde a emissão da fala.
Fonte: MEISSER (8)

Problemas no ouvido interno, afetam a capacidade de audição em altas frequências (música clássica e telefone). O trabalhador de indústrias ruidosas perde, inicialmente, a capacidade de percepção em altas frequências, independente do tipo de ruído do seu local de trabalho. A nível quantitativo o Prof. GONZALEZ (17) afirma que um trabalhador exposto a um ruído de 500

(*)[1] por esta razão bocejamos, para regular a pressão no ouvido quando esta muda (por exemplo, quando subimos à grandes altitudes)

Hz e 85 dBA, durante 8 horas por dia (40 horas semanais) terá, após 10 anos nessas condições, perdido 10 decibéis na sua audição. Geralmente o som de uma determinada frequência, ocasiona perda de audição em uma frequência superior, portanto o trabalhador citado, sentirá os sons nas faixas de 1.000, 2.000 Hz, atenuados em 10 dB em relação às pessoas com audição normal. Ruídos de até 77 dBA praticamente não ocasionam perdas, mesmo após 30 ou 40 anos de exposição a eles.

Efeitos do ruído:
- Falta de eficiência
- Falta de concentração
- Tensões, mudança de comportamento
- Fadiga mental
- Perda de audição temporária
- Perda de audição permanente (influência também do envelhecimento)

2.6 Níveis de Conforto, Curvas de Referência

LOCAIS	dBA	NC
HOSPITAIS		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 - 45	30 - 40
Laboratórios	40 - 50	35 - 45
Serviços	45 - 55	40 - 50
ESCOLA		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45	30 - 40
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
HOTÉIS		
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Restaurantes, Salas de estar	40 - 50	35 - 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 - 55	40 - 50
RESIDÊNCIAS		
Dormitórios	35 - 45	30 - 40
Salas de estar	40 - 50	35 - 45
AUDITÓRIOS		
Salas de concertos, Teatros	30 - 40	25 - 30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de múltiplo uso	35 - 45	30 - 35
RESTAURANTES	40 - 50	35 - 45
ESCRITÓRIOS		
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Sala de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
IGREJAS E TEMPLOS (Cultos meditativos)	40 - 50	35 - 45
LOCAIS DE ESPORTE		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 50

Tabela II.3 - Níveis de conforto Fonte: NBR 10132/1978

Notas:

dBA - é o nível de ruído lido na escala "A", (ver gráfico II.5, item 2.7) de um medidor de nível do som, que por meio de um filtro eletrônico, despreza ruídos de baixa frequência não perceptíves pelo ouvido humano.

NC - Curvas de avaliação de ruído ("noise criteria"). O nível de ruído deve ser medido em 5 pontos do ambiente e a 1,2 m do piso. (ver gráfico II.2).

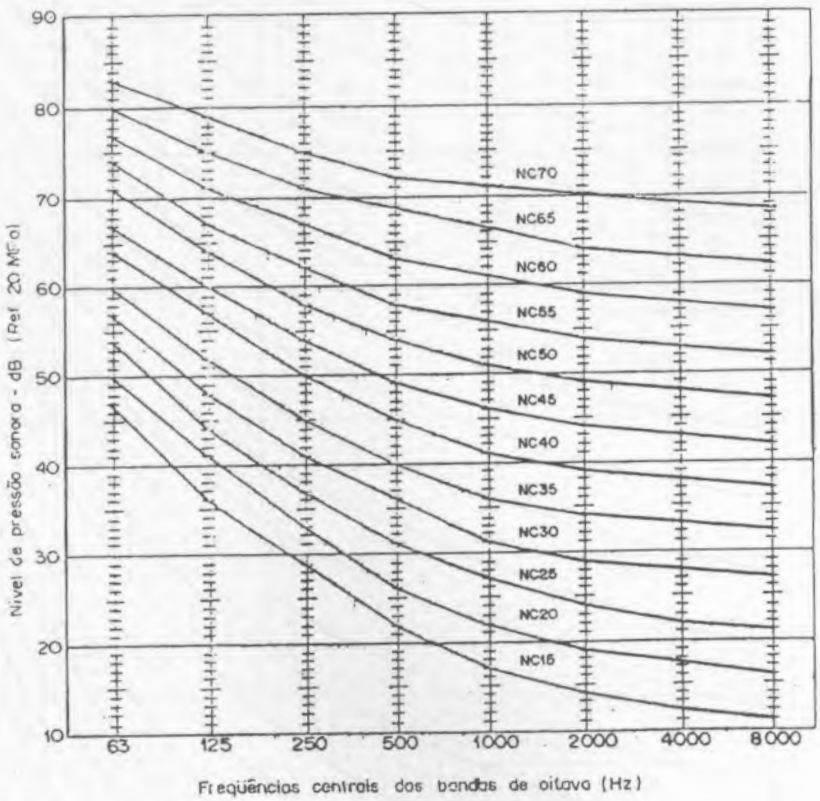


Gráfico II.2 - Curvas de avaliação de ruído - NC
Fontes: NBR 10132/1987 Conforme manual Ashrae Volume Sistems - cap.36 (1980)

CURVA	63 Hz dB	125 Hz dB	250 Hz dB	500 Hz dB	1 KHz dB	2 KHz dB	4 KHz dB	8 KHz dB
15	47	36	29	22	17	14	12	11
20	50	41	33	26	22	19	17	16
25	54	44	37	31	27	24	22	21
30	57	48	41	36	31	29	28	27
35	60	52	45	40	36	34	33	32
40	64	57	50	45	41	39	38	37
45	67	60	54	49	46	44	43	42
50	71	64	58	54	51	49	48	47
55	74	67	62	58	56	54	53	52
60	77	71	67	63	61	59	58	57
65	80	75	71	68	66	64	63	62
70	83	79	75	72	71	70	69	68

Tabela II.4 - Níveis de pressão sonora correspondente às curvas de avaliação (NC)
Fonte: NBR 10152/1987

Estas curvas foram desenvolvidas por BERANEK(9) nos Estados Unidos. A ISO denomina tais curvas de NR ("noise rating") e no Brasil elas também são chamadas de CR (curvas de classificação do ruído). Todas se equivalem e correspondem ao nível de ruído de fundo (*)[1] apropriado para cada local. Admite-se uma faixa de tolerância de ±10% ao nível ideal de dB.

(*)[1] - ruído de fundo - ruído de todas as fontes que não estão relacionadas com o som específico, que é objeto de interesse. Pode incluir ruído aéreo e ruído de impacto.

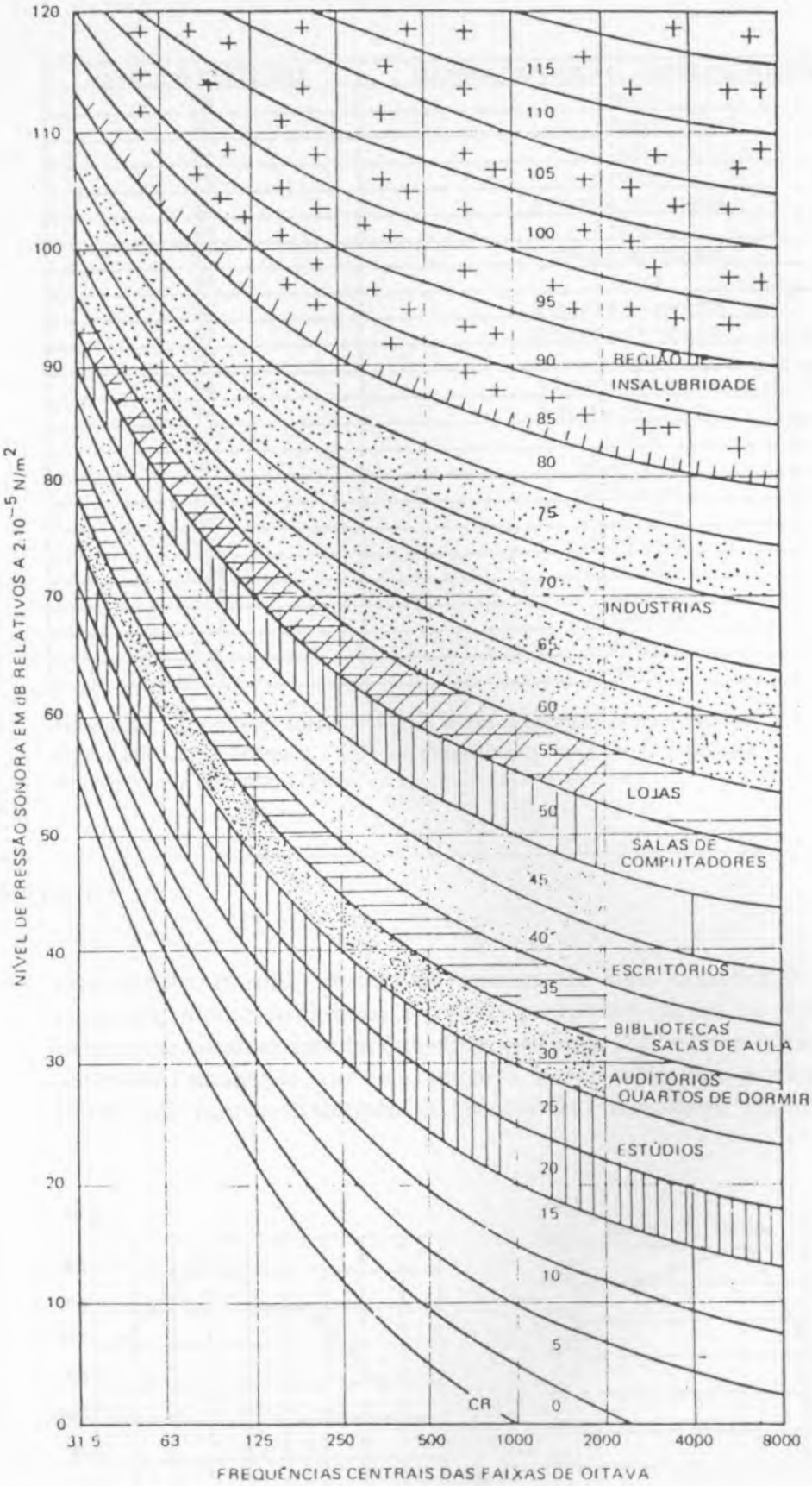


Gráfico II.3 - Curvas de classificação do ruído - CR
Fonte: ISO/R 1996-1971(E) - Apêndice y pág.10

NÍVEL DE RUÍDO dBA	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Tabela II.5 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente
Fonte: NR - 15 - Anexo 1 - CLT - Consolidação das Leis Trabalhistas
Ministério do Trabalho (1978)

2.7 Medição

Físicamente, o ruído resulta da mistura de sons complexos e diferentes. Fisiologicamente atribuimos à palavra ruído, um caráter de incômodo. Para reduzir ou eliminar este incômodo precisamos conhecer o ruído. Para isso, é necessário analisá-lo, ou seja, traçar a curva indicando o nível de pressão acústica em função da frequência. Esta curva é chamada de "espectro do ruído".

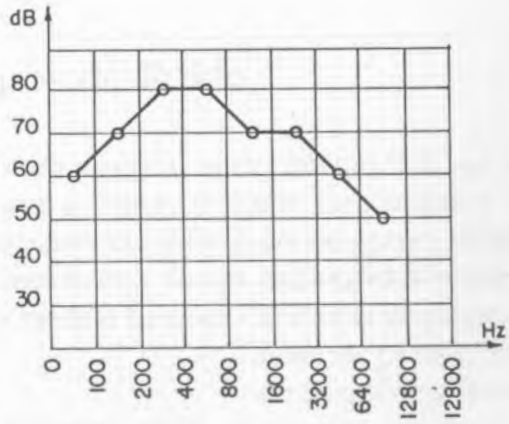
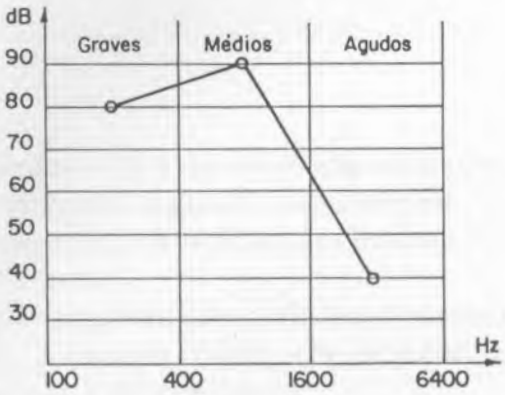


Gráfico II.4 - Análise por oitava
Fonte: DELEBCQUE (4)



Análise em graves, médios e agudos

Uma análise mais precisa utilizará fachas (ou bandas) menores ou de terço de oitava.
O aparelho utilizado para este fim chama-se "decibelímetro". Consiste em um microfone que transforma a variação da pressão sonora no ar, em sinais elétricos. Alguns aparelhos trazem diferentes escalas, ou ponderação do espectro de ruído.
A escala "A" tende a negligenciar as baixas frequências, menos sensíveis ao ouvido humano. É usada como a interpretação do que escutamos; simula o ouvido humano.
As escalas "B" e "C" consideram respectivamente maior espectro de frequência e são usadas para medição de ruídos intensos. A escala "D" foi introduzida para medição de ruídos de aviões a jato.
A representação do gráfico II.5 mostra estas diferentes curvas de ponderação.

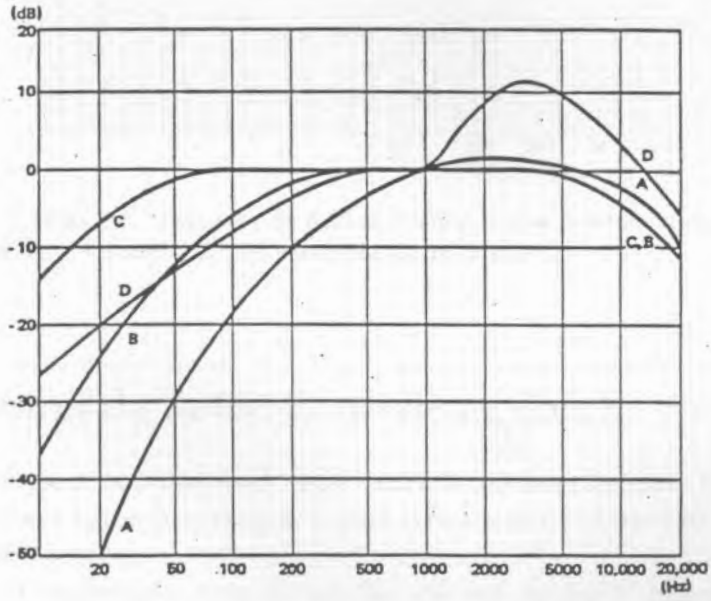


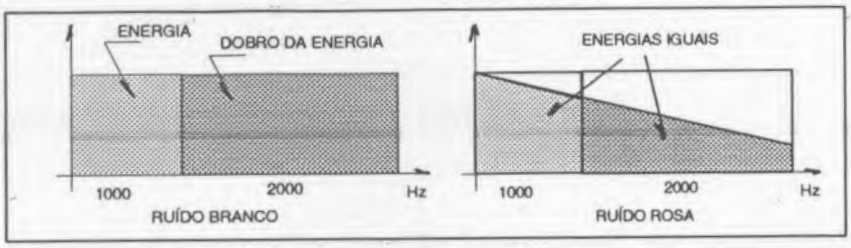
Gráfico II.5 - Curvas de ponderação

2.7.1. Tipos de Ruído

Para designar sem ambiguidade, os diferentes ruídos de referência utilizados em acústica, o nome característico é empregado segundo a quantidade de respostas em frequências graves, médias e agudas. Por analogia aos fenômenos luminosos, foram empregados nomes de cores.

O ruído branco - Todas as frequências que compõem este ruído têm o mesmo nível de pressão sonora. A energia contida em cada banda de frequência, aumenta em 3 dB por oitava.

O ruído rosa - A energia contida em cada banda de frequência, é igual e permite produzir níveis de ruídos iguais por banda de oitava diferentes e, é utilizado para medição do TR (*)[1].



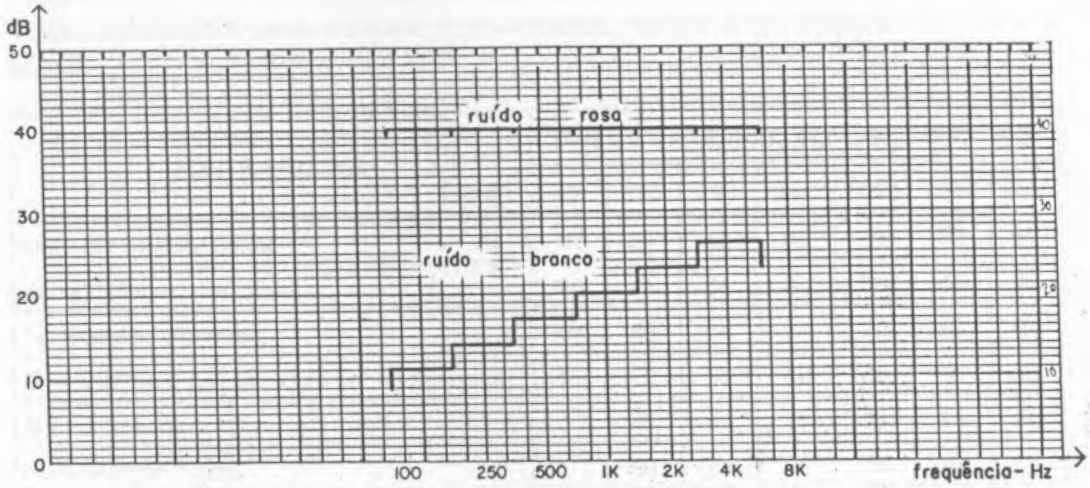


Gráfico II.6 - Espectro de ruídos, branco e rosa por banda de oitava.
Fonte: Documentation Française du Bâtiment (2).

2.7.2 O nível de Ruído Equivalente (Leq)

É raro que um ruído seja estável. Sirenes, buzinas de automóveis, etc. fazem uma agressão sonora, a qual o homem é submetido de uma maneira aleatória no tempo.

O incômodo sentido no fim de um período determinado, varia segundo a duração da exposição ao ruído e os níveis atingidos.

O Leq é o nível de pressão acústica de um ruído constante que será, energeticamente, equivalente ao ruído estudado num intervalo de tempo dado. Esta medida não é feita por um decibelímetro comum, ela é realizada por analisadores estatísticos ou decibelímetros integradores.

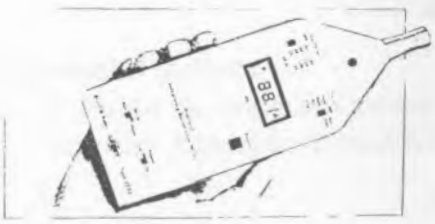


Figura II.8 - Aparelho de medição integrador de Bruel e Kjaer
Fonte: Documentation Française du Bâtiment

(*)[1] - TR - Tempo de reverberação - Tempo que seria necessário para o nível de pressão sonora diminuir de 60 dB, depois que a fonte sonora tivesse cessado de emitir som. É expresso em segundos (ver 3.5)

2.7.3 Valores Típicos de Ruído em Decibel

Os valores abaixo podem exceder 5 ou mais dB, dependendo do tipo da fonte. Para muitos problemas práticos, entretanto, estes valores podem ser usados como referência para calcular o tratamento acústico necessário em diversos locais.

FONTE SONORA	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA TÍPICO (dB)						
Hertz	63	125	250	500	1000	2000	4000
Máquina de lavar roupa	60	68	59	62	59	60	62
Ar condicionado de janela	64	64	65	56	53	48	44
Televisão (a 3 metros)	49	62	64	67	70	68	63
Som estéreo (nível escutado por adolescente)	60	72	83	82	82	80	75
Som do telefone (entre 1 e 3 metros)		41	44	56	68	73	69
Conversação normal		60	75	78	75	65	55
Carros passando (a 6 metros)	78	77	73	69	65	62	56
Salas de máquinas	87	86	85	84	83	82	81
Ginásios esportivos	72	78	84	89	86	80	72

Tabela II.6 - Fonte: EGAN (6)

2.8 Ruído Aéreo, Ruído de Impacto

O ruído se propaga de uma fonte sonora a um ponto de recepção: o ouvido ou um aparelho de medição. A propagação pode se dar por caminhos diversos, eles definem um modo de transmissão.

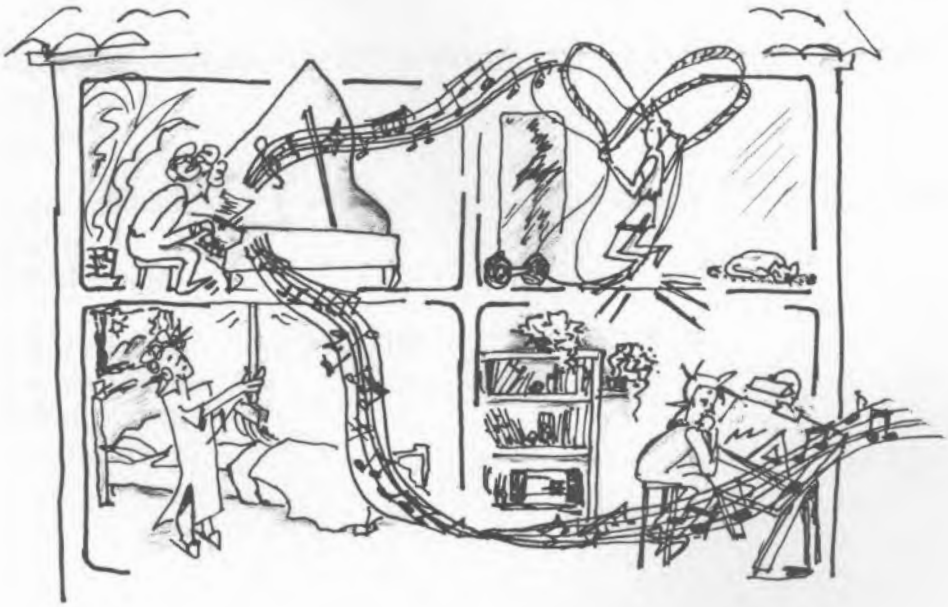
Transmissão Direta

- Ruído aéreo - quando a propagação se dá pelo ar ambiente. Exemplo: voz, emissão sonora de um auto-falante, buzina, etc.

Transmissão Indireta

- Ruído de impacto - quando a propagação se dá pela estrutura do entorno. Exemplo: britadeira, crianças pulando no apartamento de cima.

Estes dois modos de transmissão sonora, podem ser simultâneos, sendo o ruído aéreo o último a chegar aos nossos ouvidos.
O ruído aéreo é caracterizado pelo modo de propagação – o ar, não importando o caminho que possa percorrer. Assim, o ruído que atravessa uma parede, chama-se ruído aéreo.
Já o ruído de impacto, resulta da transmissão da energia acústica de uma fonte sonora a um material sólido com o qual a fonte está em contacto. Como por exemplo, quando se usa uma furadeira para fixação de um parafuso em uma parede de um prédio. O som se propaga facilmente por sua estrutura, já que seus elementos são rígidos e solidários uns com os outros. É possível escutar a furadeira nos apartamentos vizinhos, pois a parede neste outro local de recepção, reemitirá o ruído que chegar até ela. Isto pode incomodar...



Precauções para evitar:

o ruído de impacto (*)[1]
- tratar base de máquinas (molas ou material resiliente)
- tratar canalizações ou dutos que possam transmitir vibrações, como dutos de ar condicionado, canalizações hidráulicas, descarga, etc.
- tratar pisos (com sistema de piso flutuante).

o ruído aéreo
- será evitado através do isolamento e condicionamento acústico que desenvolveremos no capítulo III.

(*)[1] - Devido a frequências críticas específicas dos materiais, quando a capacidade de isolamento cai bruscamente, este tipo de tratamento deve ser corretamente especificado por especialistas.

Anexo 1. Sumário de Fórmulas

Abreviação	Nível de Intensidade Acústica (I_I) ou "Sound Intensity Level" (IL)	Nível de Pressão Acústica (L_p) ou "Sound Pressure Level" (SPL)	Nível de Potência Sonora (L_W) ou "Sound Power Level" (PWL)
Fórmula	$10 \log \frac{I}{I_0}$	$20 \log \frac{p}{p_0}$	$10 \log \frac{W}{W_0}$
Unidades	I em watt/cm² I_I em dB	p em Pascal L em dB	W em watts L_W em dB
Valor de Referência (valor mínimo audível)	Io = 10^{-12} watt/cm²	Po = 2 x 10^{-5}Pa	Wo = 10^{-12} W
Valor mínimo audível (nível em dB)	L_I = 0dB	L_p = 0dB	L_W = 0dB
Valor máximo tolerável (nível em dB)	L_I = 130 dB	L_p = 120 dB	-

CAPÍTULO III

Acústica Arquitetônica

Para resolver os problemas oriundos do ruído aéreo ou de impacto, é preciso distinguí-los em dois grupos:
- Problemas de Isolamento Acústico.
- Problemas de Condicionamento Acústico.

O primeiro, consiste na redução do ruído transmitido de um local para o outro. Existem, portanto, dois ambientes.
No segundo, a fonte e a recepção do som estão no mesmo ambiente. O objetivo é o de facilitar a audição da fonte ou o de reduzir um ruído produzido no local. O presente trabalho dá um enfoque maior a este segundo item.
Aumentando-se a massa de uma parede, melhora-se o isolamento entre os locais separados por ela, mas não se modifica, em princípio, sua sonoridade. Já, quando se coloca um tapete espesso, o local fica mais absorvente, o som mais puro, mas o isolamento entre os locais não se modifica.
Para se obter um bom isolamento do ruído aéreo entre dois locais, é necessário que a parede seja impermeável ao ar e a maioria dos materiais absorventes devem ao contrário, se deixar penetrar pelas ondas acústicas, para que sejam eficazes e portanto não isolantes.
O tratamento acústico de uma sala é o conjunto de operações que vão adequá-la do ponto de vista acústico:
3.1 - Estudo das formas e das dimensões do local, para evitar reflexos e ressonâncias parasitárias;
3.2 - O isolamento acústico, com o conhecimento das paredes do local, sua natureza, massa, frestas e aberturas;
3.3 - O condicionamento acústico.

3.1 Forma

O som gerado em uma sala é modificado segundo a forma da sala, suas dimensões e os materiais que a compõem. Quando se entorna água em um jarro, o som que escutamos vai se modificando a medida que varia o volume de ar no interior da jarra. É possível modificar a qualidade do som em um local usando proporções corretas, evitando reflexões excessivas (paredes paralelas e próximas), ou curvas que concentrem o som em determinado local, usando materiais difusores e absorventes em locais estratégicos.

EVEREST (12), em seu livro Master Hand Book (*)[1], cita estudos de vários autores, sobre as relações entre altura, largura e comprimento com proporções ideais segundo cada um deles. Concluímos que a proporção correta varia com a qualidade acústica que se procura.

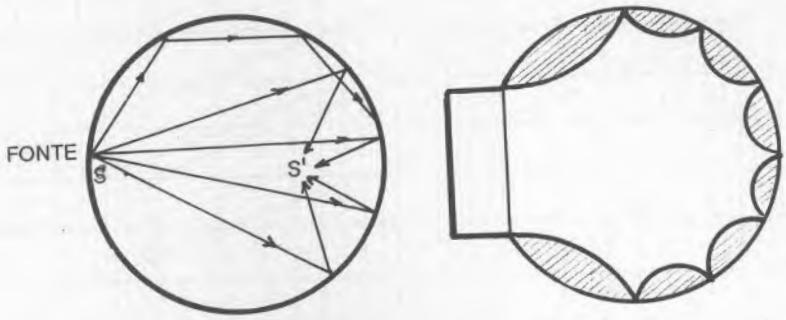


Figura III.1 - Planta baixa circular, mostrando a formação do foco (s') e tratamento adequado para que o som se espalhe de maneira mais uniforme. Fonte: KNUDSEN (1)

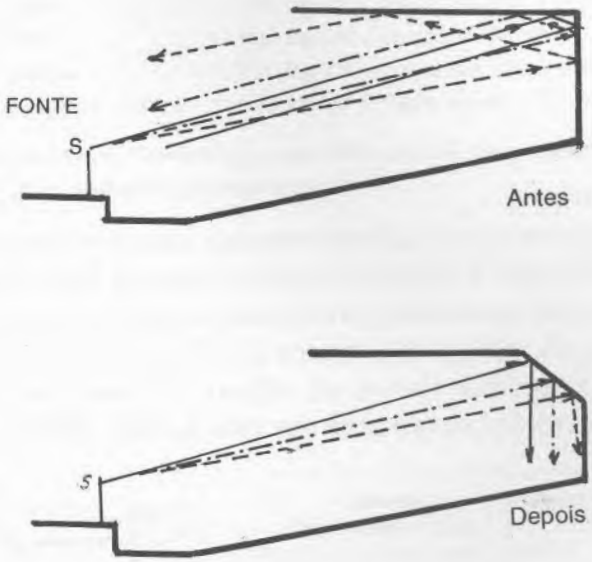
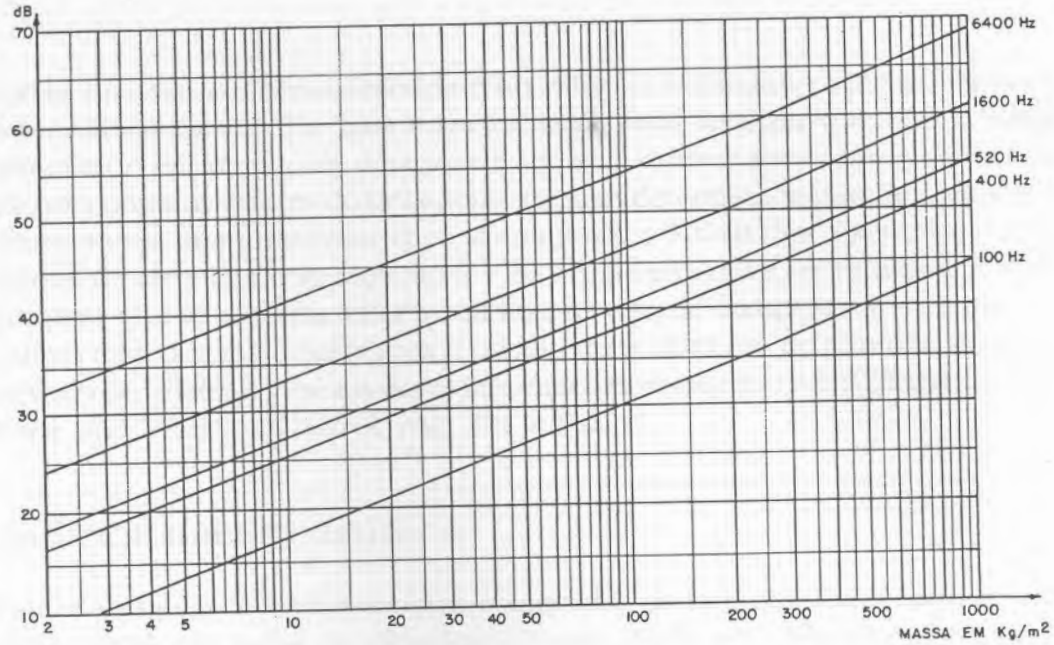


Figura III.2 - Corte esquemático em um auditório, mostrando como evitar ecos na frente da sala e direcionar o som para as últimas filas. Fonte: KNUDSEN (1)

3.2 Isolamento Acústico

Quanto mais uma parede é espessa e pesada, mais ela isola dos ruídos aéreos. O gráfico a seguir mostra em valores aproximados, a redução em dB de materiais de construção usuais (paredes simples), em habitações com dimensões padrões e normalmente mobiliados.

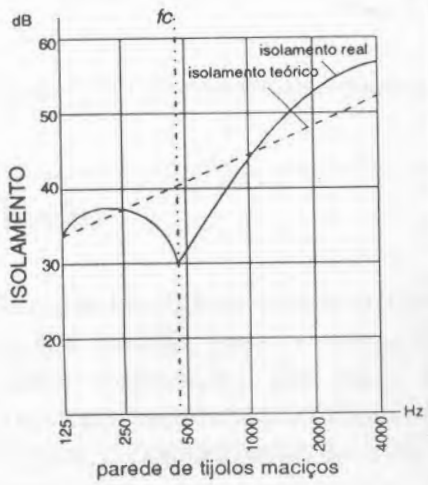
(*)[1] - Para saber mais sobre o assunto ver EVEREST, Master Hand Book of Acoustics pag.211 a 215



Massas surfácicas de materais:
7 kg/m² - vidro de janela normal
15 kg/m² - vidro 6mm
20 kg/m² - vidro 8mm
30 kg/m² - vidro 12mm
60 kg/m² - tijolo de gesso 75mm
95 kg/m² - tijolo maciço 5,5cm
150 kg/m² - concreto 6cm
200 kg/m² - tijolo maciço 11cm
300 kg/m² - concreto 14cm
350 kg/m² - concreto 14cm c/reboco nos 2 lados
450 kg/m² - tijolo maciço 22cm c/ reboco nos 2 lados

Gráfico III.1 - Lei de massa. Valores aproximados em dB para paredes simples.
Fonte: DELEBECQUE, segundo Saint-Gobain

A lei experimental de massa, permite calcular aproximadamente os índices de redução sonora para paredes simples. Porém, é importante notar que toda parede apresenta uma falha no isolamento que ocorre em uma certa frequência, dita crítica. Esta falha depende da massa e da rigidez da parede. A frequência crítica é mais alta quando a rigidez da parede diminui. Ou seja, quanto mais espessa uma parede, menor será sua frequência crítica.



Material (esp. parede = 1cm)	Massa Volumétrica Kg/m3	Frequência Crítica (fc) em Hz
Borracha	1100	85000
Cortiça	250	18000
Poliestireno expandido	14	14000
Aço	7800	1000
Alumínio	2700	1300
Chumbo	10600	8000
Vidro	2500	1200
Tijolo maciço	2000 - 2500	2500 - 5000
Blocos de cimento	2000	2700
Concreto	2300	1800
Gesso	1000	4000
Madeira (pinho)	600	6000 - 18000

Gráfico III.2 - Frequência crítica (fc)

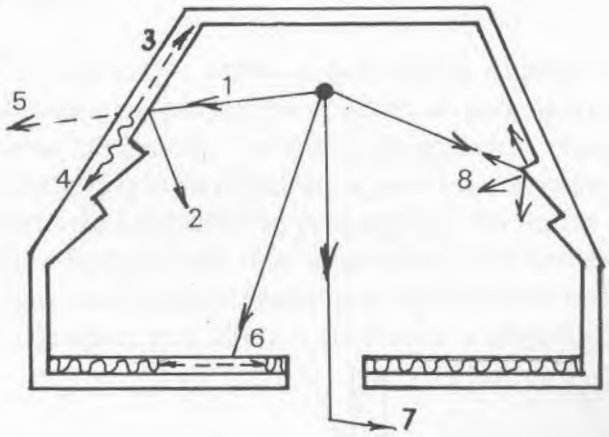
Tabela III.1 - Frequência crítica de alguns materiais de construção

Fonte: DELEBECQUE (4) valores dados pelo C.A.T.E.D.

Portas e janelas também influenciam no valor de isolamento acústico de uma determinada parede. De uma maneira geral, pode-se dizer que não adianta aumentar o isolamento de uma parede, se nela houver aberturas. A diferença máxima entre os valores de isolamento de uma determinada parede composta (parede com aberturas) não deve ser superior a 10 dB. Por exemplo, numa parede de alvenaria com redução R = 30 dB, a porta deve ter valores ≥ R = 20 dB, para que se obtenha valores médios, na parede composta R = 25 dB. Outros métodos são usados para o cálculo do isolamento de paredes, como o método do "Plateau". Para maiores informações no assunto ver BERANECK (9), Noise and Vibration Control. pág. 283 a 312.

3.3. O Condicionamento Acústico

Vamos imaginar as ondas sonoras como raios de luz, desenvolvendo-se em linhas retas em todas as direções. O som pode ser refletido, absorvido, dispersado, difratado, ou transmitido para espaços contíguos, dependendo das propriedades acústicas das paredes. O tratamento acústico correto de um local passa também pelo conhecimento destes fenômenos.



1 - som direto
2 - som refletido
3 - som transmitido pela estrutura
4 - som dissipado dentro da estrutura
5 - som transmitido
6 - som absorvido por uma superfície porosa
7 - som difratado
8 - som difuso

Figura III.3 - Comportamento do som em lugar fechado

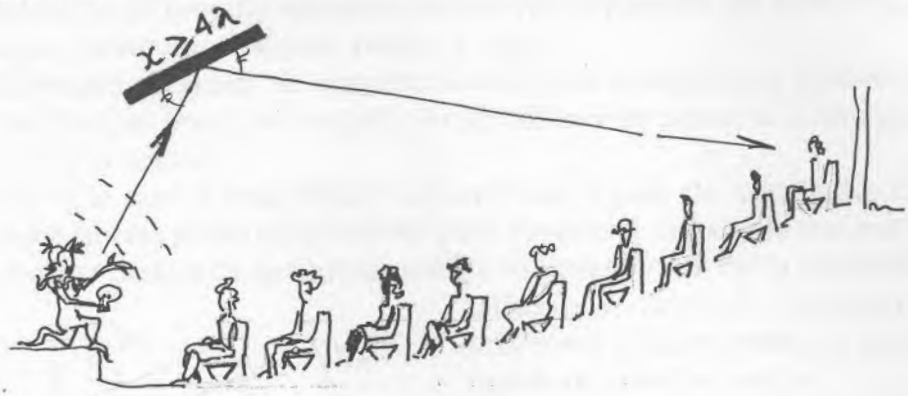
3.3.1 Reflexão

Superfícies rígidas e lisas são geralmente boas refletoras, como por exemplo, tijolos, pedras, gesso e vidro, refletindo quase toda energia sonora incidente nessas superfícies. Em ótica, segundo a lei de reflexão, o ângulo do raio incidente sobre uma determinada superfície, é igual ao ângulo do raio refletido. Porém, o comprimento de onda do som é maior que o da luz, e a lei da reflexão para o som só será válida se o comprimento das ondas sonoras forem menores que as dimensões da superfície refletora. Portanto, para sons de baixa frequência e grandes comprimentos de onda, deveremos usar a "acústica geométrica" com cuidado.

Por exemplo, 1000 Hz correspondente a um comprimento de onda (λ).

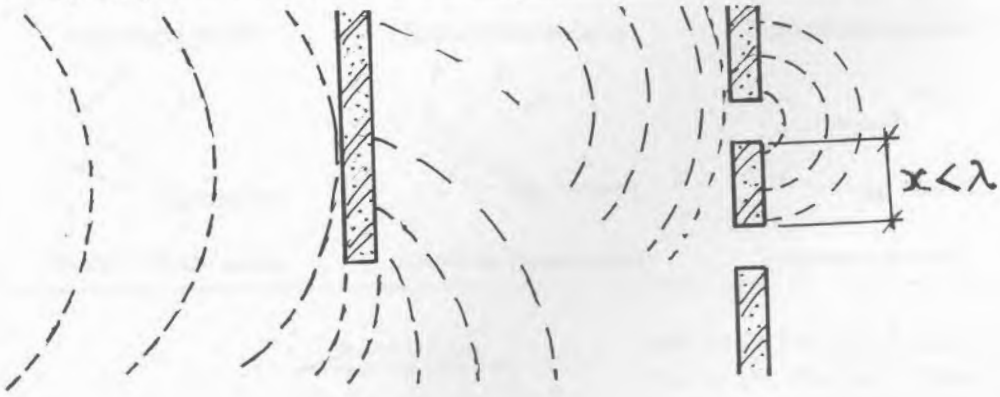
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340\,m/s}{1000\,cps} = 0,34m$$

Então, superfícies maiores ou iguais a 4 x 0,34 = 1,40 m (comprimento e largura) vão refletir ondas sonoras acima de 1000Hz – segundo a lei da reflexão.



3.3.2 Difração

É o fenômeno acústico que ocorre quando uma onda sonora encontra uma abertura ou pequenos objetos, se propagando de forma esférica entre estes. Neste fenômeno a acústica geométrica, comparada à geometria ótica não se aplica, já que se relaciona a grandes comprimentos de onda. A geometria ótica parte do princípio de propagação em linhas retas e é válida somente para as altas frequências. Em arquitetura, muitos elementos, como janelas, pilares, vigas, ornamentos sãomenores que vários comprimentos de onda, introduzindo a difração, que altera a direção e a magnitude das ondas sonoras.



3.3.3 Difusão

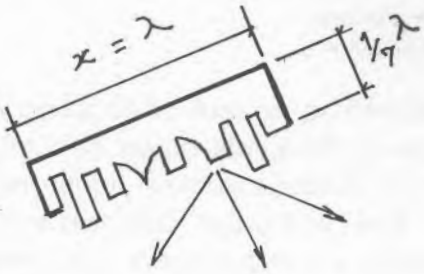
Dizemos que um som é perfeitamente difuso numa sala com pressão igual em todos os pontos e quando as ondas sonoras estão se espalhando para todas as direções. Esta condição é quase impossível de se obter, e até seria desagradável,

já que não poderíamos identificar a direção da fonte sonora. Porém, em acústica arquitetônica, alguns locais necessitam de uma certa quantidade de som difuso, como por exemplo em teatros, salas de concertos, estúdios de rádio. A difusão sonora é especialmente vantajosa em locais com uso de microfones, já que possibilita a redução de erro na sua localização.

A difusão sonora pode ser criada de várias maneiras:

- Aplicação de irregularidades espalhadas pelas paredes dos locais em questão, como esculturas, balcões, pilares e vigas.
- Aplicação alternada de superfícies refletoras e superfícies absorventes.
- Distribuição irregular e espalhada dos diferentes sistemas de tratamento de absorção sonora.

Portanto, o som é mais difuso em um local depois de mobiliado. Objetos e protuberâncias serão mais efetivos para promover difusão se seu tamanho for da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda incidente.

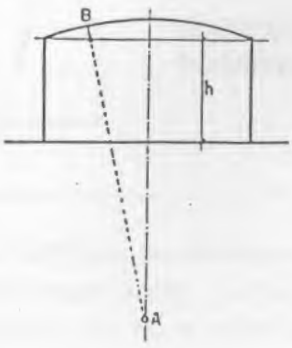


Difusão é também importante para promover uniformidade no aumento ou queda de pressão sonora.

Para ondas sonoras na frequência de 500Hz, placas de ±70 cm e elementos com 10 cm de profundidade, serão boas difusoras.

3.3.4. Foco

A distribuição do som refletido pode causar vários fenômenos, dependendo da geometria da superfície refletora.

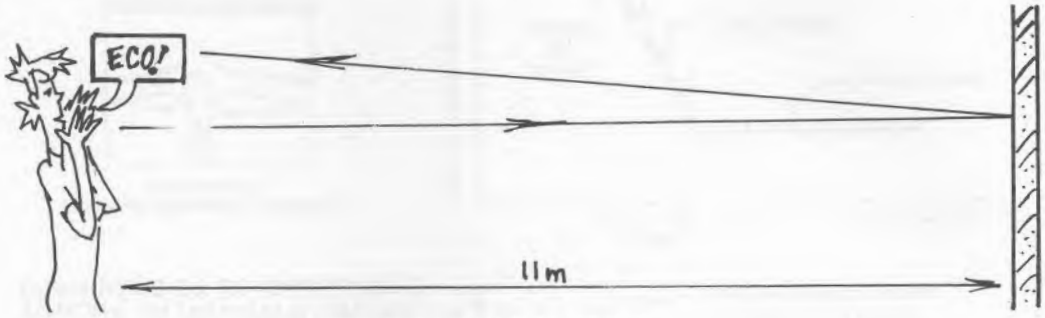


Para se evitar focos em locais com tetos curvos, basta que seu raio de curvatura seja duas vezes ou mais o pé direito "h" do local.

Fonte: CARVALHO (11)

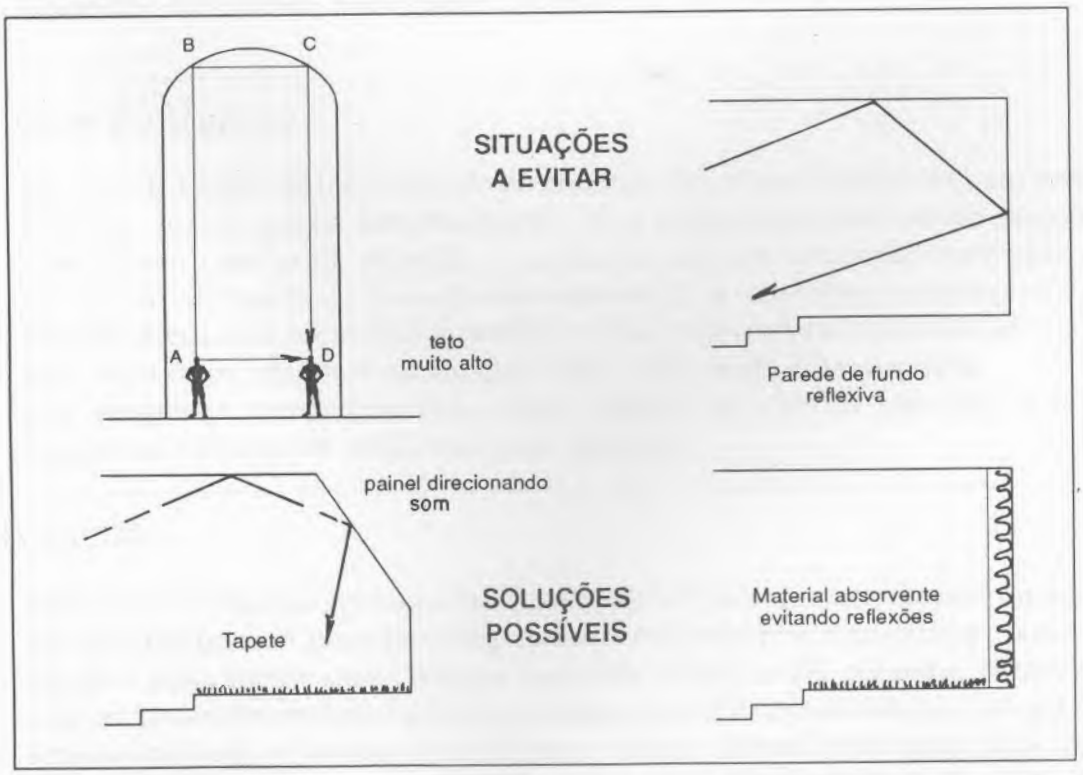
3.3.5 Eco

Chama-se "eco", a repetição do som que chega ao ouvido com reflexão 1/15 de segundo ou mais depois do som direto, o que corresponde a um trajeto de 22m realizado pelo som.



Distância = velocidade x tempo
d = 340 m/s x 0,066 s ≅ 22 m

A partir de 16 metros, problemas de inteligibilidade começam a ocorrer.
Um teto muito alto pode produzir ecos, e mesmo em salas de espetáculo pequenas, quando a parede oposta ao palco está a mais de 8 metros e revestida com materiais reflexivos, será necessário introduzir soluções arquitetônicas para não comprometer a qualidade acústica da sala e a inteligibilidade da audição.



A reverberação está vinculada ao volume e à capacidade de absorção da sala e nada tem a ver com ressonância, que veremos em 3.3.6.
Outro fenômeno comum em salas estreitas é o "eco múltiplo " (flutter eco).

Ocorre usualmente entre as paredes paralelas produzindo uma série de impulsos que repetem o som original seguidamente.

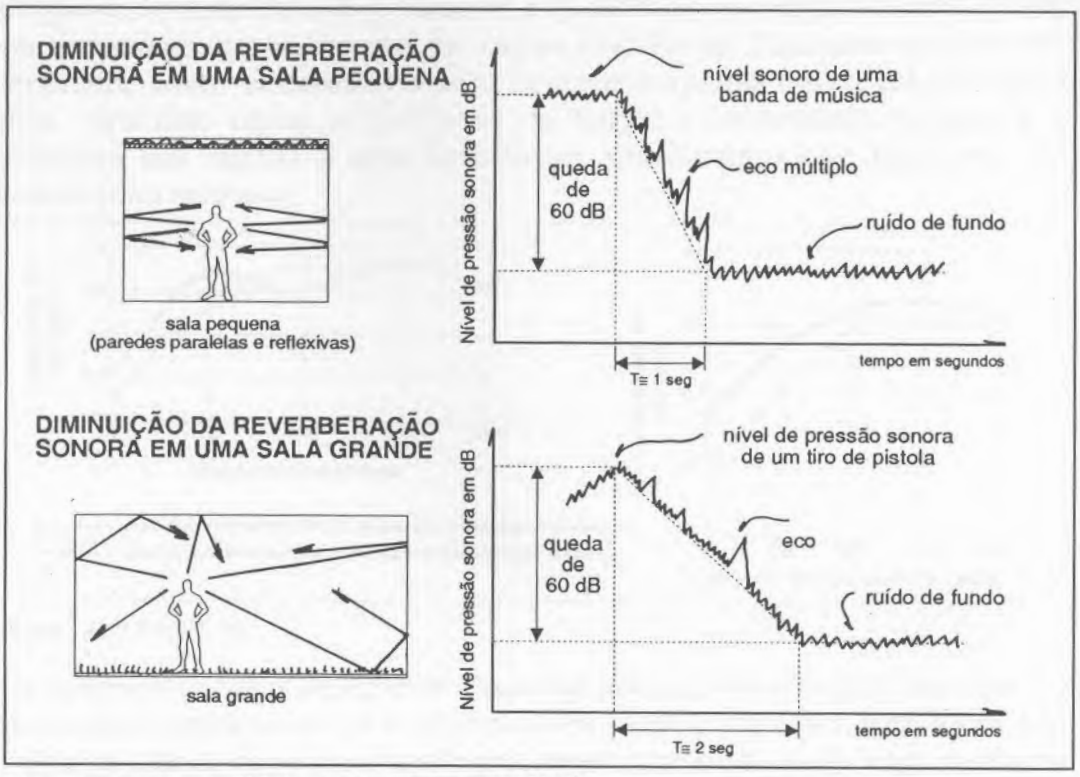


Figura III.5 - Eco múltiplo e eco Fonte: EGAN (6)

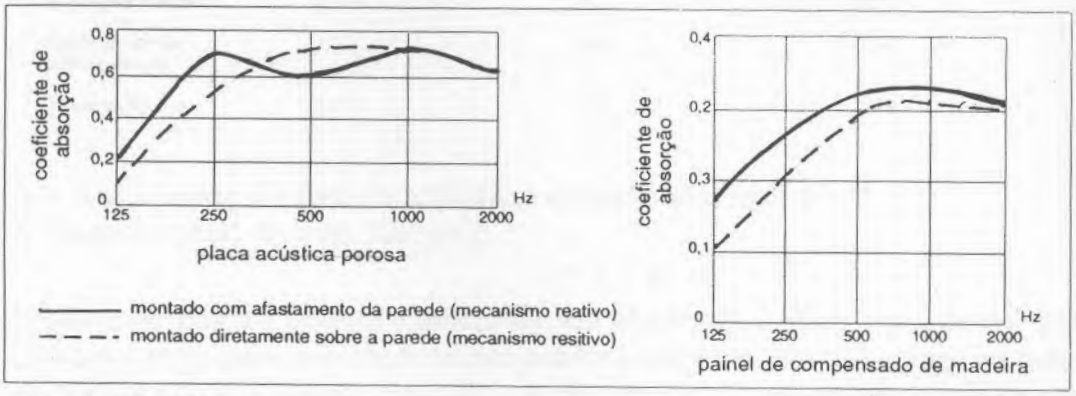
3.3.6 Outros Fenômenos

No caso de existir um foco oriundo do encontro de um som direto com um som refletido, diz-se que há **interferência**. Se as compressões das ondas diretas coincidirem com as da refletida, o resultado será um som mais forte numa determinada frequência, chamado **ressonância**. Se ao contrário, as compressões do som direto coincidem com as rarefações das ondas refletidas, resulta um som bem mais fraco, dizemos então, que surgiu uma **onda estacionária**.
Nos pequenos compartimentos, como estúdios de rádio e televisão, estes fenômenos devem ser analisados com cuidado.

3.3.7 Absorção

Sabemos que materiais porosos são bons absorvedores sonoros. Quando atinge um material poroso, parte da energia sonora é transformada em outros tipos de energia, comumente calor. Muitos materiais, como as lãs minerais, feltros e mantas, possuem múltiplos pequenos poros que se intercomunicam. As ondas sonoras podem se propagar no interior desses poros, onde uma parte da energia sonora é convertida em calor por resistência à fricção e à viscosidade entre os poros e pela vibração de pequenas fibras do material.
Quando as ondas sonoras atingem um painel, separado por exemplo da parede por uma camada de ar, a pressão alternada destas ondas contra a superfície do

painel, podem forçá-lo a vibrar, convertendo uma parte da energia sonora incidente em calor. Note-se que a quantidade de calor convertida é extremamente pequena. Se o painel for leve e flexível, a quantidade de energia absorvida pode ser expressiva, especialmente nas baixas frequências. Podemos nomear este fenômeno como *mecanismo reativo*. Se o mesmo painel estiver colado contra uma superfície rígida, o fenômeno de fricção e viscosidade, acentuará a absorção nas médias e altas frequências. Chamaremos este fenômeno de *mecanismo resistivo*.



Fonte: KNUDSEN (1)

Os materiais porosos geralmente absorvem mais em altas frequências e pouco nas baixas frequências. Já a absorção dos painéis vibrantes será maior nas baixas e menor nas altas frequências, sendo ambos bastante importante no controle da acústica de salas.

Os dois tipos de mecanismos devem ser balanceados para determinados tipos de tratamento acústico, como por exemplo, em estúdios de rádio.

Chama-se coeficiente de absorção sonora (α), a diferença existente entre a quantidade de energia sonora que incide sobre determinado material e aquela que é refletida por ele. Portanto seu valor vai variar de 0 a 1, sendo o máximo de absorção 100% ou seja, $\alpha = 1{,}00$. Os coeficientes de absorção vão variar para cada frequência de um determinado som.

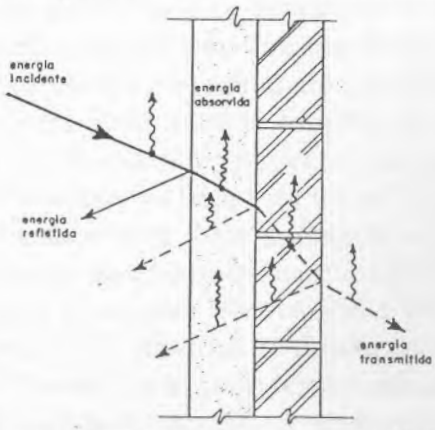
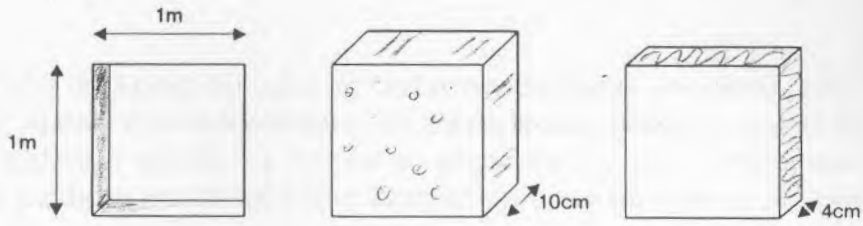


Figura III.6 - Um raio sonoro entrando em uma parede com material acústico colado sobre ela. Várias reflexões se sucedem entre a absorção do ar e dos materiais que compõem a parede.
Fonte: EVEREST (12)

A absorção sonora de uma superfície é medida em "sabine", em homenagem a Wallace Sabine, um dos precursores do estudo da acústica. Um sabine representa 1 metro quadrado com absorção $\alpha = 1{,}00$. Sabine chamou esta superfície de janela aberta, porque a janela quando aberta deixa passar 100% da energia sonora que incide sobre ela.



	janela aberta	tijolo com reboco	placa de lã mineral
Em 500Hz			
absorção sonora	100%	2%	78%
coeficiente de absorção (α)	1,0	0,02	0,78
Sabine (A)	1,0	0,02	0,78

$A = \alpha \times S$ onde S= área da superfície considerada, no caso, 1 m^2
A absorção total de uma sala será:

$$A = \Sigma S \alpha$$

Pessoas ou objetos podem também ter sua absorção medida em sabines. Por exemplo, uma pessoa sentada numa poltrona estofada, em um teatro, na faixa de 500 Hz, tem absorção de 0,37 a 0,46 sabines. É importante notar que a absorção total compreende o somatório de áreas multiplicado pelo coeficiente de absorção. No caso, usaremos sempre o sistema métrico. Além da absorção, a impedância é também uma propriedade que influencia na acústica de salas. Impedância acústica é uma propriedade dos materiais absorventes, que segundo KNUDSEN(1), é mais importante que o coeficiente de absorção. Ela é definida pela relação complexa entre a pressão sonora e a partícula de velocidade correspondente na superfície do material. Estudos feitos neste sentido, indicaram que as propriedades acústicas de uma sala podem ser mais acuradamente determinadas, em termos de impedância que a análise dos coeficientes de absorção das paredes do mesmo local. Entretanto, nos problemas práticos da acústica arquitetônica, o trabalho matemático envolvendo uma detalhada análise da impedância acústica é tão grande, que a torna pouco prática para o uso de arquitetos e engenheiros.
O coeficiente de absorção sonora (α), varia com o ângulo de incidência da onda sonora contra o material em questão. Comumente, o coeficiente considerado para uma determinada frequência, levará em conta a média entre todos os ângulos de incidência. Para os cálculos comuns de tratamento de sala costuma-se considerar as faixas de frequência por oitava de 125 a 4000 Hz.
Para estabelecer estes coeficientes em laboratório, será necessário simular a realidade, na tentativa de estabelecer um campo sonoro difuso, ou seja, o som atingirá a amostra do material a ser testado vindo de todas as direções. No capítulo VI, veremos a descrição de um método de medição em câmara reverberante através do resumo da norma ASTM 423. A descrição é simplificada e vários fatores devem ser observados para se ter resultados válidos, como por exemplo, a posição e tipo da fonte sonora; os aparelhos de medição, sua calibragem, quantidade e posição; a constituição da sala e a montagem da amostra.
Uma outra maneira de estabelecer o coeficiente A dos materiais é conhecido como "método de ondas estacionárias". O aparelho utilizado neste método

chama-se Tubo de Kundt ou tubo de ondas estacionárias, ou ainda, tubo de impedância. Apesar dos vários nomes, ele estabelecerá medições com relação a só uma incidência sonora – a normal ao plano da amostra. Geralmente, os coeficientes medidos em câmara reverberante apresentam valores superiores aos deste método.

Mesmo com esta deficiência, o tubo de Kundt tem muitas vantagens. Não necessita de muitos equipamentos de suporte e grandes espaços, como no caso do método anterior, e utiliza pequenas áreas de amostra. É usado, basicamente, para testar novos produtos na fase de desenvolvimento de pesquisa. Como não reproduz a realidade, é um método limitado para fins arquitetônicos.

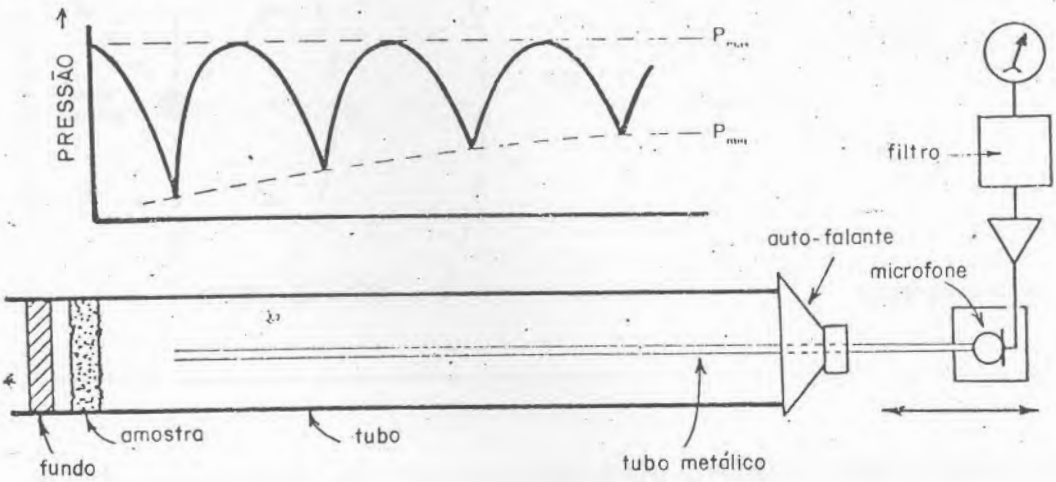


Figura III.7 - Tubo de Kundt Fonte: EVEREST (12)

A amostra deve ser fixada no fundo do tubo, se a montagem esperada do material é contra uma superfície sólida. Se ao contrário, o material for usado por exemplo como forro, um espaço de ar deve ser deixado antes do fundo do tubo. Na outra extremidade do tubo um pequeno autofalante é colocado com um orifício por onde passa um fino tubo de metal conectado a um microfone. Energizando-se o autofalante em uma dada frequência, formam-se ondas estacionárias devido a interação das ondas diretas com as ondas refletidas da amostra. A pressão sonora é máxima na superfície da amostra. Quando o microfone com o tubo metálico é deslocado, a pressão sonora passa para um mínimo. A relação entre as sucessivas variações de pressão, estabelece o coeficiente de absorção para a incidência sonora perpendicular à amostra.

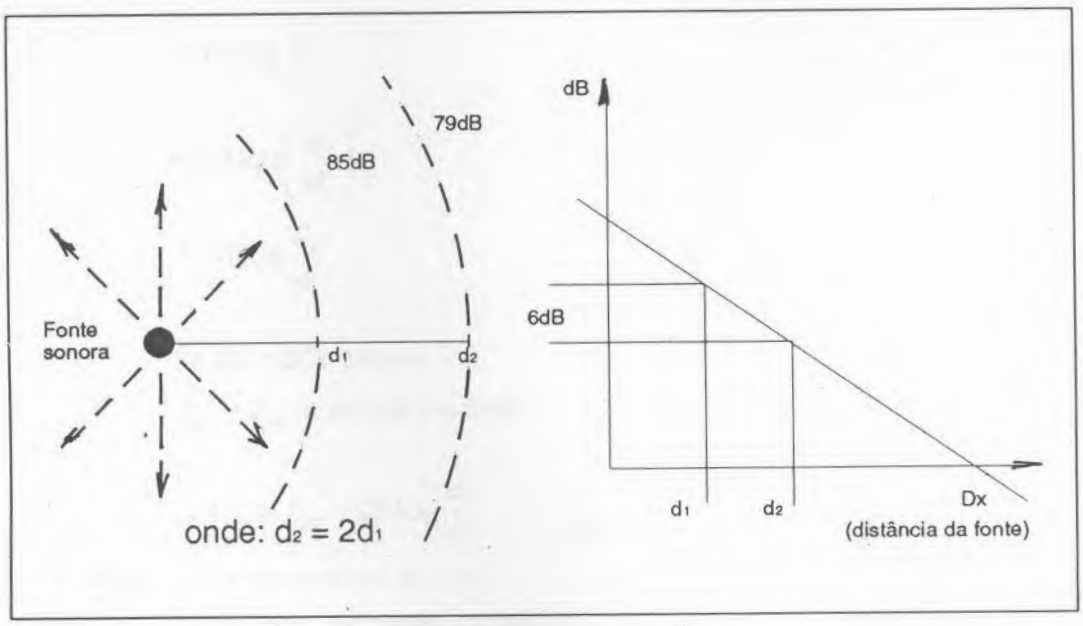
No capítulo V, são apresentadas fichas técnicas de diversos materiais absorventes, com seus coeficientes de absorção e referências dos testes realizados.

Ainda neste capítulo analisaremos o desempenho dos diversos materiais absorventes através de gráficos comparativos.

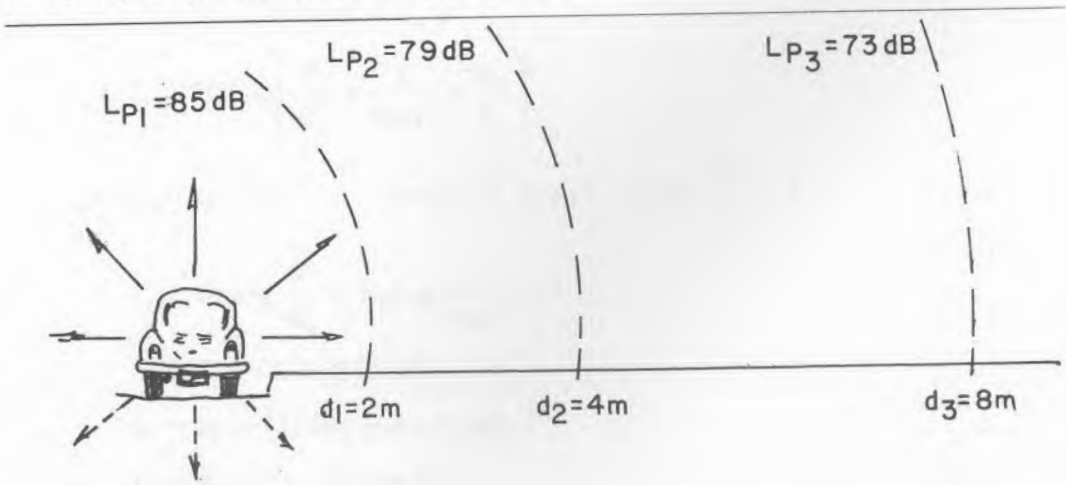
3.4 Redução do Nível Sonoro Através da Absorção

A propriedade de absorção dos materiais de construção, objetos, pessoas e do ar, implica na redução do nível sonoro que será diferente em uma sala fechada e ao ar livre.

3.4.1. Campo Livre



Quando o som pode viajar sem obstáculos em qualquer direção, observa-se uma perda de 6 dB no nível de pressão sonora, a cada vez que a distância é dobrada.
Esta afirmação é válida para problemas práticos quando fonte e recepção estão próximas do chão. No caso, o chão será considerado como uma grande superfície plana que refletirá metade da energia total irradiada, formando uma imagem virtual do outro lado do plano, tendo como efeito dobrar o nível sonoro da fonte, reconstituindo o campo sonoro.



E porque a redução de 6 dB ?
Dissemos que no ar o nível de pressão acústica pode ser considerado igual ao nível de intensidade acústica.

$$L_I \cong L_p \qquad \text{e} \quad L_I = 10\log\frac{I}{I_0}$$

$$\therefore L_{p1} - L_{p2} = 10\log\frac{I_1}{I_0} - 10\log\frac{I_2}{I_0}$$

$$= 10\log\frac{I_1}{I_2}$$

$$= 10\log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

$$= 20\log\frac{d_2}{d_1}$$

Se d2 =2d1 temos

$$L_{p1} - L_{p2} = 20\log 2 = 6dB$$

$$\therefore L_{p1} = L_{p2} - 20\log\frac{d_2}{d_1} \qquad (4)$$

onde: I = Intensidade do som

L_p= Nível de pressão acústica

d = distância entre a fonte e o ponto de recepção

Quando conhecemos o nível de potência acústica da fonte, podemos calcular o nível de pressão sonora a uma distância qualquer.

Sabemos que $I = \dfrac{W}{4\pi d^2}$ e $L_W = 10\log\dfrac{W}{W_0}$

Então:

$$L_I = 10\log\left(\frac{W}{4\pi d^2} \text{x} \frac{1}{I_0}\right)$$

$$L_I = 10\log\left(\frac{W}{W_0} \text{x} \frac{1}{4\pi d^2} \text{x} \frac{W_0}{I_0}\right)$$

se $W_O=10^{-12}$w e Io=10^{-12} w/m^2 logo $\dfrac{W_0}{I_0} = 1$

$$L_I = 10\log\frac{W}{W_0} + 10\log\frac{1}{4\pi d^2}$$

$$L_I = L_W - 10\log 4\pi d^2$$

$$L_I = L_W - \left(10\log 4\pi + 10\log d^2\right)$$

$$L_I = L_W - 11 - 10\log d^2$$

ou

$$Lp = L_W - 11 - 20\log d \qquad (5)$$

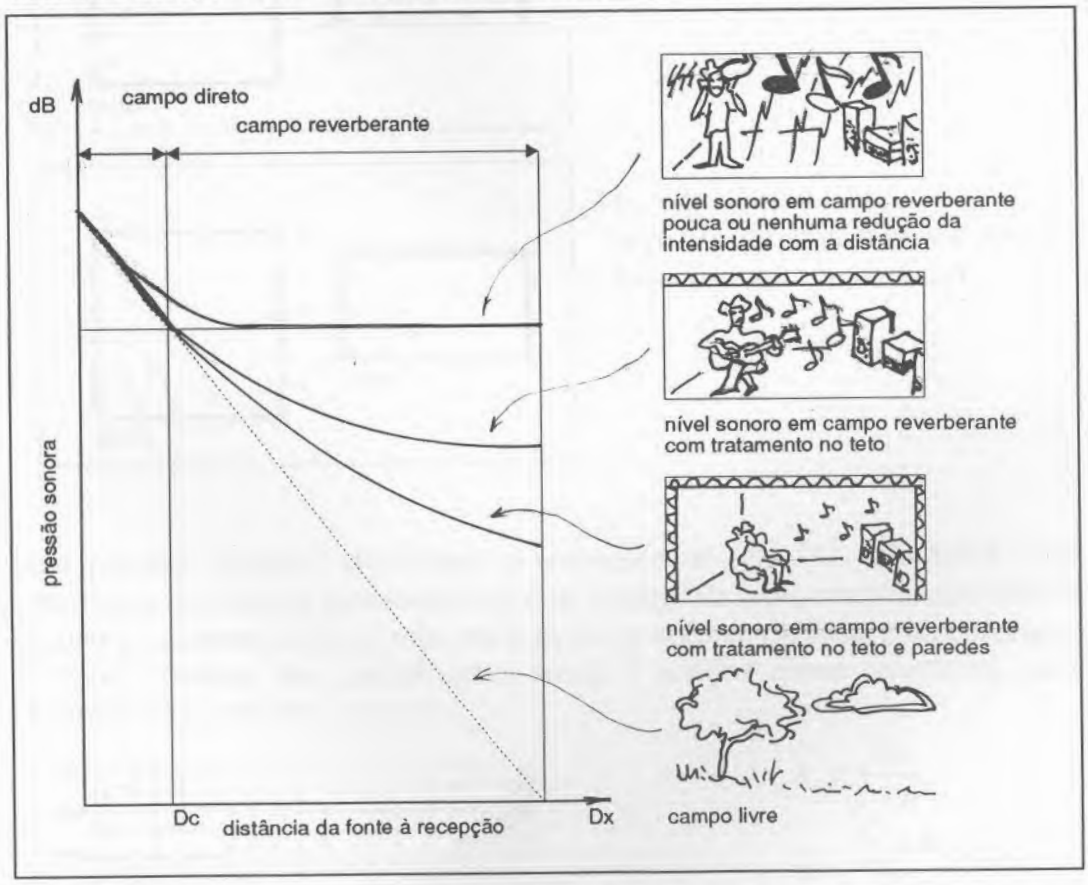
onde L_w = nível de potência acústica

3.4.2. Campo Reverberante

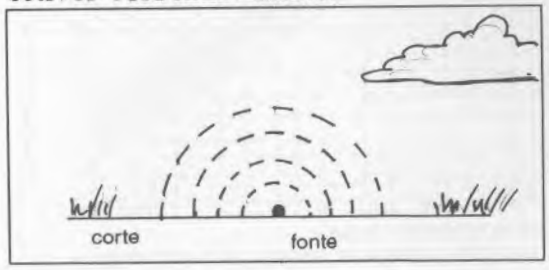
Campo Reverberante – onde o som encontra obstáculos e fica no ar um certo tempo.

A partir de um certo ponto, que chamaremos de distância crítica (Dc), o campo reverberante tem um mesmo nível de pressão sonora que o campo direto. O campo direto será definido pela região próxima à fonte sonora em ambientes fechados. Ou seja, em uma sala teremos dois campos: o campo direto, semelhante ao campo livre, e o campo reverberante ou refletido.

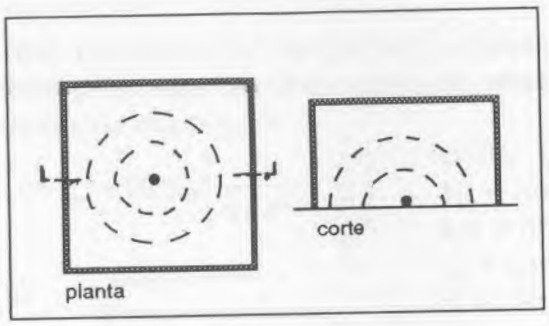
Toda e qualquer correção acústica feita em locais fechados atenuará, unicamente, as ondas sonoras do campo reverberante.



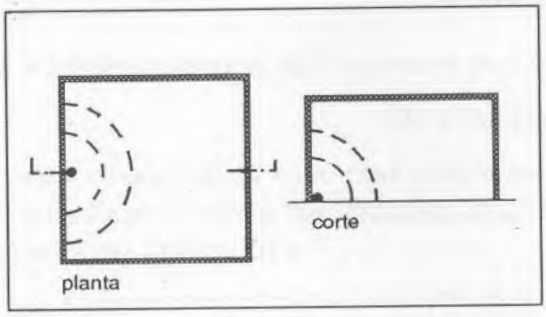
Neste caso, consideraremos o Coeficiente de diretividade "Q", já que a fonte terá sua área de atuação em uma determinada direção, conforme o local em que estiver colocada. Então:



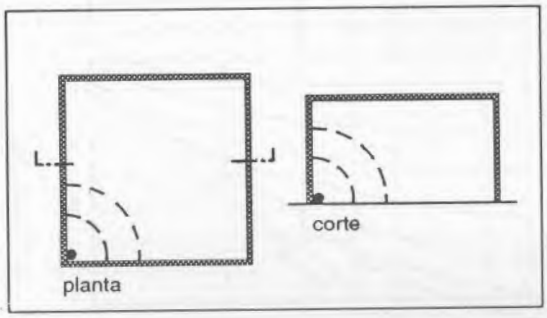
Q = 1
com a fonte situada no centro do local (fonte exterior, colocada no chão ou sobre superfície muito grande, sem obstáculos) – Campo livre



Q = 2
com a fonte situada contra uma parede do local (metade da área de atuação possível da fonte)

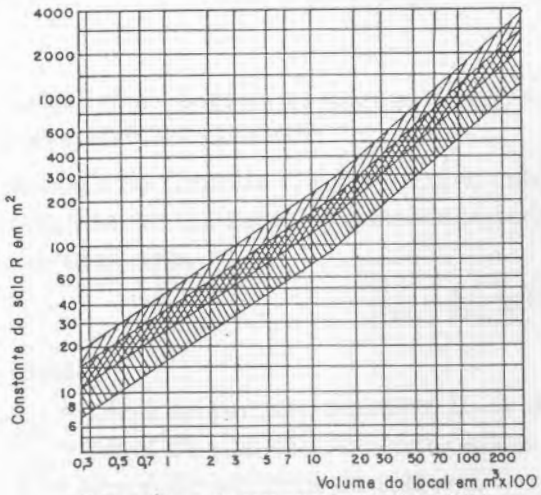


Q = 3
com a fonte situada num ângulo do local (um quarto da área)



Q = 4
com a fonte situada num canto do local (um oitavo da área)

Será preciso, também, determinar a constante da sala "R". BERANEK (18) estudando os critérios psicoacústicos e de inteligibilidade, estabeleceu valores ótimos para certos tipos de sala, em função do volume do local e da constante R. Estes critérios são considerados atuais e usados como referência para obtenção do conforto acústico.



• Valores ótimos da constante da sala R a 1.000Hz em função do volume para 3 categorias de sala.

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i}$$

Onde:

$\bar{\alpha}$ = coeficiente de absorção médio da sala

S = área da sala

Gráfico III.5 - Coeficiente R
Constante da sala

- Voz, ópera, cinema (alta definição)
- Música, concertos, igreja (definição mediana)
- Orgão (baixa definição)

Como no cálculo de campo livre, conhecendo o nível de potência acústica da fonte, podemos calcular o nível de pressão sonora a uma distância qualquer, através da expressão:

$$L_p = L_w + 10\log\left[\frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4}{R}\right] \quad (6)$$

Campo livre

Campo reverberante

onde:
Lp = nível de pressão sonora
Lw = nível de potência sonora
Q = coeficiente de diretividade da fonte
d = distância entre a fonte e a recepção
R = constante da sala

Já a distância crítica será expressa por:

$$Dc = 0{,}141\sqrt{QR}$$

Com a constante da sala, poderemos também calcular a redução do nível de pressão sonora em locais fechados, após tratamento com materiais de absorção através do gráfico III.6.

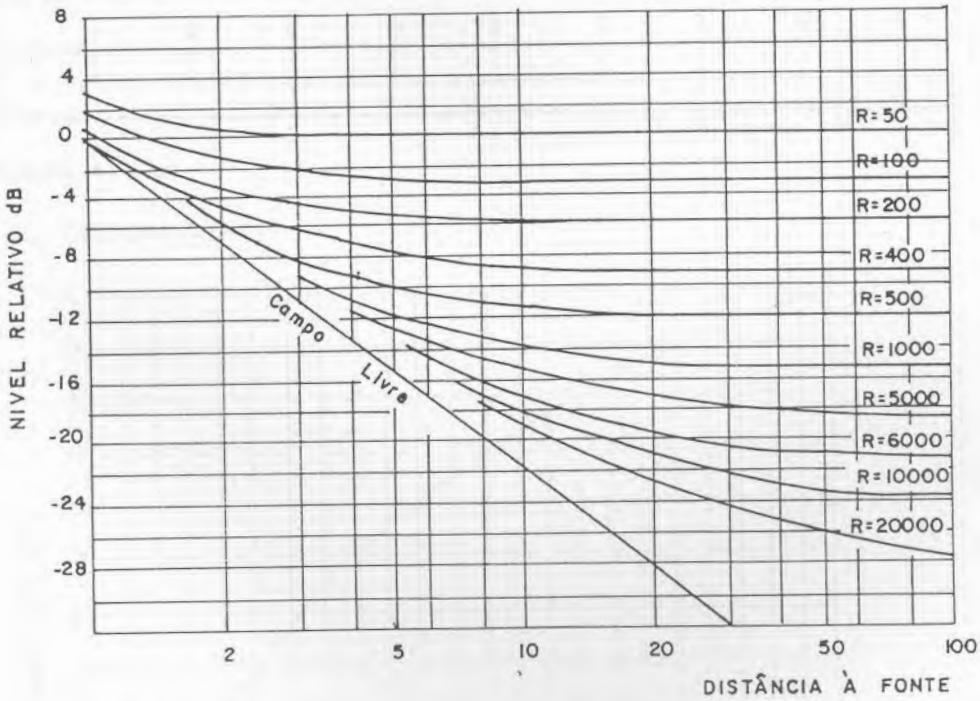


Gráfico III.6 - Redução do Nível de Pressão Sonora em função da constante da sala.
Fonte: NEPOMUCENO(19)

Através da fórmula (7) poderemos calcular o resultado com relação a perdas sonoras, se executarmos um tratamento com materiais absorventes acústicos em uma sala.

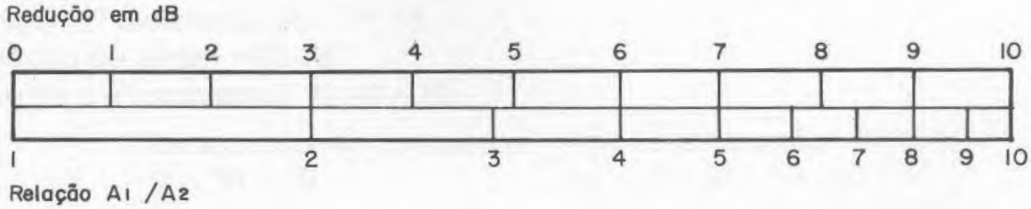
$$L_{p1} - L_{p2} \cong 10\log\frac{A_2}{A_1} \quad (7)$$

Onde:
L_{p1} = nível de pressão acústica antes do tratamento
L_{p2} = nível de pressão acústica depois do tratamento
A_1 = absorção acústica da sala = $\Sigma S_i\alpha_i$ antes do tratamento
A_2 = absorção acústica da sala = $\Sigma S_i\alpha_i$ depois do tratamento

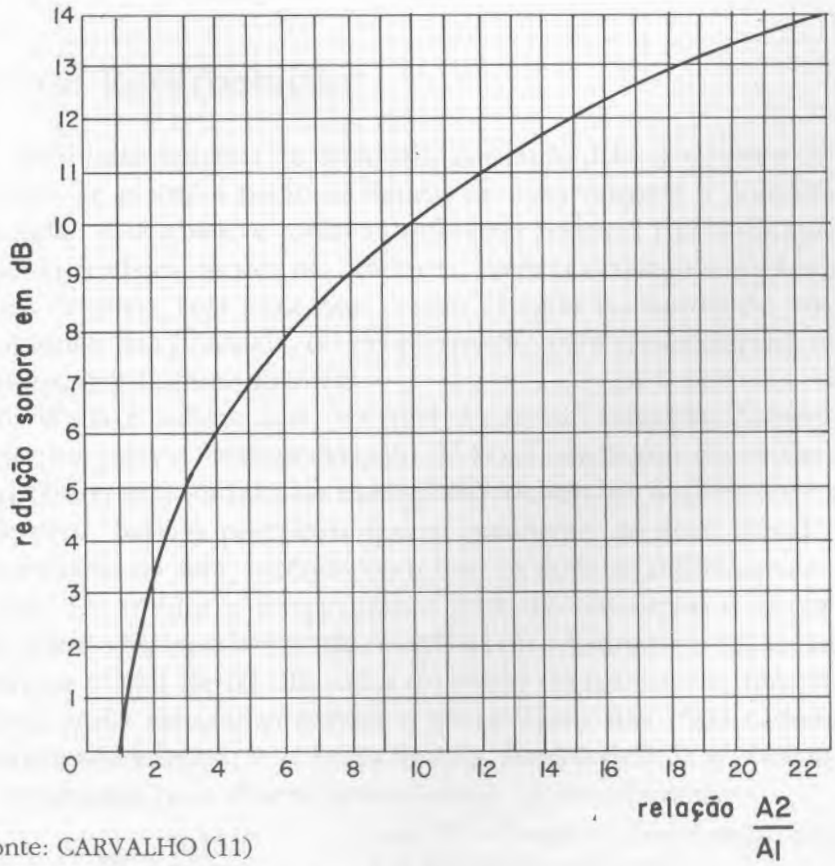
No exemplo abaixo, uma sala de restaurante foi tratada com forro acústico com coeficiente de absorção α = 0,76 para 1000 Hz.

ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO	ANTES DO TRATAMENTO			DEPOIS DO TRATAMENTO		
	S	α	S α	S	α	S α
PAREDES	219,68 m2	0,03	6,59	199,28 m2	0,03	5,97
TETO	225 m2	0,03	6,75	225 m2	0,76	171
PISO	225 m2	0,04	9	225 m2	0,04	9
PORTAS	6,72 m2	0,09	0,60	6,72 m2	0,09	0,60
JANELAS	32 m2	0,12	3,84	32 m2	0,12	3,84
	A_1 $\Sigma S\alpha$		26,78 m2	A_2 $\Sigma S\alpha$		190,41 m2

A relação entre A2 e A1 pode ser encontrada nos gráficos a seguir:



Fonte: DELEBECQUE (4)



Fonte: CARVALHO (11)

Gráficos III.7 e 8 - Redução do nível de pressão sonora em ambientes fechados

Digamos agora, que queremos calcular a redução de ruído, antes e após o tratamento, quando a fonte sonora está situada fora do local.
Ex: sala de aula ao lado de um atelier barulhento.
Existem 3 possibilidades, ou mais, se houver combinações entre elas, de redução sonora neste caso.

1°- Tratamento, com materiais de absorção, no local em questão – no exemplo a sala de aula.
2°- Tratamento, como acima, no local da fonte de ruído – no exemplo, o atelier barulhento.
3°- Reforçar o isolamento sonoro na parede que separa os dois locais.

Então, se fizermos o cálculo como descritos no item anterior – fonte no local, conseguimos redução de 7 dB na sala de aula e 8 dB no atelier. O reforço na parede elevou seu isolamento de 30 para 35 dB.
Teremos por exemplo :
Ruído na sala de aula com o atelier funcionando antes do tratamento = 60 dB
Após 1° tratamento 60 - 7 = 53
Ruído no atelier = 90 dB
Após o 2° tratamento 90 - 8 = 82

Então, antes do tratamento:
90 - 30 = 60
Atelier | Parede | Sala de aula

Após o tratamento:
82 - 35 = 47 - 7 = 40
Atelier | Parede | Tratamento sala de aula

3.5 Tempo de Reverberação

A qualidade acústica de uma sala, depende principalmente do tempo em que o som se mantém no local depois de interrompida a emissão. Uma sala dita "morta" que absorve todas as reflexões sonoras não será apropriada para se escutar música, atores ou oradores. Estes precisam do prolongamento de seu som original, seja para que o som chegue ao fundo de um auditório para aumentar sua potência, ou simplesmente para prolongar um acorde agradável de um instrumento musical.
Foi Wallace Sabine que, no final do século passado, começou a estudar os critérios para o estabelecimento de boas condições de escuta. A partir de um problema real – a falta de inteligibilidade em um auditório da universidade de Harvard, Sabine percebeu que o problema se dava devido ao tamanho e mobiliário da sala, fazendo com que os sons se refletissem e persistissem no local. Ele mediu o tempo que o som de um orgão deixava de ser audível definindo assim o tempo de reverberação. A fonte – o orgão, tinha intensidade sonora inicial de 60 dB, além do ruído de fundo, na frequência de 500 Hz. Colocando almofadas macias e absorventes nas 1500 cadeiras do local, ele conseguiu adequar a acústica da sala. Sabine definiu e provou empiricamente a expressão para determinar o tempo de reverberação:

$$TR = \frac{0{,}16V}{A}$$

onde TR = Tempo de Reverberação em segundos
V = Volume da sala em m^3
A = Absorção total da sala em sabine métrico ($A = \alpha \times S$)

Baseando-se nas experiências de Sabine e em pesquisas subsequentes, a norma internacional ISO - 354 adotou a seguinte definição:
Tempo de reverberação : "O tempo necessário para que o nível de pressão sonora diminua de 60 dB, depois que a fonte cessar. A quantidade é denotada por T e é expressa em segundos ".
A fórmula (10), conhecida como equação de sabine, é usada quando o campo sonoro é predominantemente reverberante.
Quando este é determinado por poucas reflexões (TR < 1,6 seg), teremos a expressão desenvolvida por Norris-Eyring.

$$TR = \frac{0{,}161V}{S\ln\left(1-\bar{\alpha}\right)} \qquad (8)$$

onde: S = área total
ln = logatitmo neperiano
$\bar{\alpha}$ = coeficiente médio de absorção

Uma outra fórmula foi desenvolvida por Millington-Sette :

$$TR = \frac{0{,}161v}{\sum\left[-S_i ln\left(1-\alpha_i\right)\right]} \qquad (9)$$

Ela é valiosa quando há uma grande variação nos valores dos coeficientes de absorção de diferentes superfícies, e para isso inclui o valor individual de cada superfície. Porém, a fórmula de Sabine faz o mesmo, se escrita assim:

$$TR = \frac{0{,}161V}{\sum S_i\alpha_i} \qquad (10)$$

Alguns autores consideram adequado o uso da fórmula de Sabine quando $\bar{\alpha} < 0{,}30$ e da fórmula de Eyring, quando $\bar{\alpha} \geqq 0{,}30$.
Apesar de existirem críticas à aplicação dos conceitos de tempo de reverberação para espaços pequenos, sobretudo quando predominam as baixas frequências, a fórmula de Sabine continua sendo de grande ajuda no projeto e correção acústica de salas.
O tempo de reverberação ideal, depende do volume de absorção da sala e da sua função. Devido às implicações psicofísicas da acústica, existem divergências quanto ao estabelecimento do TR ideal para diferentes locais. Os gráficos a seguir, estabelecem o TR ideal e dão mostras destas variações. Fica a critério do projetista o ajuste final, se possível, no próprio local após a obra.

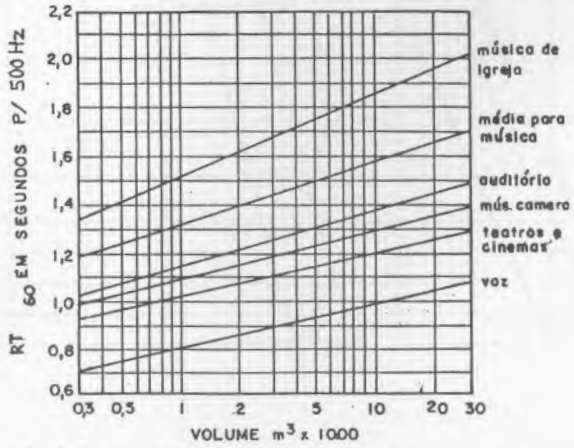


Gráfico III.9 - TR ideal Fonte: KNUDSEN e HARRIS

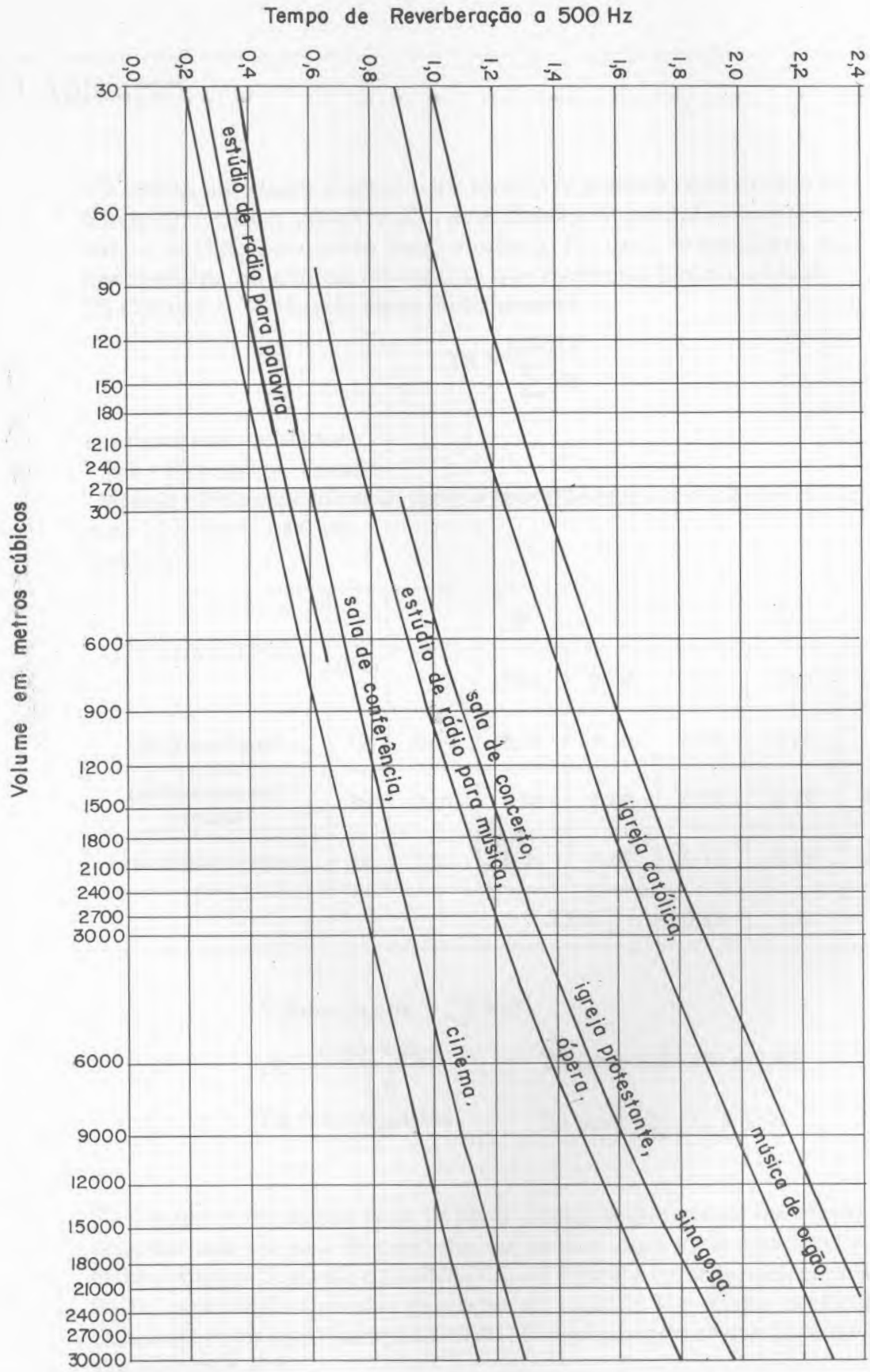


Gráfico III.10 - TR ideal Fonte: NB 101/1988, segundo BERANEK e NEWMAN

3.5.1 Aplicação

1°) Definir atividades e achar o TR ideal (ver gráficos III.9, III.10 e IV.1)
É frequente o caso, por exemplo, de auditórios de múltiplo uso que ao mesmo tempo servirão para teatro (voz) e música. No caso, se escolherá uma linha intermediária no gráfico, sabendo-se que estaremos longe do ideal.
2°) Calcular o TR da sala antes do tratamento.

$$TR = \frac{0{,}161V}{\sum S\alpha}$$

Levantamento de dados
- sala - dimensões, volume
- Montar tabela especificando áreas e seus diferentes coeficientes de absorção para 125, 500 e 2000 Hz.

Exemplo :

LOCAL/MATERIAL	S (m2)	α			Sα		
		125	500	2000	125	500	2000
piso/taco colado	12	0,04	0,06	0,10	0,48	0,72	1,2
parede/alvenaria pintada	38	0,01	0,02	0,02	0,38	0,76	0,76
teto/concreto pintado	12	0,01	0,01	0,02	0,12	0,12	0,24
				$\Sigma S\alpha$	0,98	1,6	2,2

Volume da sala - 32,4m3

$$TR = \frac{0{,}161 x 32{,}4}{1{,}6}$$

TR = 3,3 segundos

TR para 2000 Hz = 2,45

TR para 125 Hz = 5,35

3°) Comparar resultados com TR ideal. Digamos que vamos transformar esta pequena sala em sala de concerto, ou melhor, num local agradável para se escutar música. Segundo o Gráfico IV.1, o TR ideal é 0,6 segundos para 500 Hz. Então, precisamos consultar as tabelas do capítulo V e refazer o cálculo, até chegarmos o mais próximo possível do TR ideal sabendo-se que é aceitável uma variação de ±10 %
4°) Correção.
Para TR em 125 Hz multiplicar o TR ideal (500 Hz) por 1,4
Para TR em 200 Hz multiplicar o TR ideal (500 Hz) por 1,0

LOCAL/MATERIAL	S (m2)	α			Sα		
		125	500	2000	125	500	2000
piso/carpete 11mm	12	0,11	0,37	0,27	1,32	4,44	3,24
parede/alvenaria pintada	38	0,01	0,02	0,02	0,38	0,76	0,76
teto/espuma tipo Sonex 20/35	12	0,04	0,28	0,60	0,48	3,36	7,2
$\Sigma S\alpha$					2,18	8,56	11,2

TR ideal
para 500Hz = 0,6
para 2000 Hz = 0,6 x 1
para 125 Hz = 0,6 x 1,4 = 0,84

TR calculado
TR = (0,161 x 32,4)/8,56 = 0,6
TR = 0,46
TR = 2,4

Ou seja, com os materiais escolhidos, conseguimos ajustar as médias frequências, mas precisamos diminuir um pouco o TR nas altas e diminuir bastante nas baixas frequências, usando por exemplo, o forro de lãs minerais com colchão de ar, refazendo o cálculo até a obtenção de um ajuste perfeito, dependendo da qualidade acústica procurada.
A aplicação acima foi demonstrada a título de exemplo. Nos casos reais devemos levar em consideração, portas janelas, mobiliário, pessoas, etc.
Atualmente, já existem programas de computador para facilitar esta tarefa e o cálculo pode ser feito em poucos minutos, mas com muito bom senso, pois a colocação e montagem dos materiais é fundamental no resultado final.

3.5.2 Montagens e ajustes

Na nossa sala de estar para "concertos" poderemos encontrar ecos ou outros fenômenos desagradáveis, se não tivermos o cuidado de evitar paredes reflexivas paralelas, muito próximas. Poderemos evitá-los distribuindo superfícies absorventes e refletoras de maneira racional. Livros em estantes e tapeçarias nas paredes bastarão para evitar ecos e ajustar o tempo de reverberação.
Em qualquer situação, fábricas, escritórios etc, será fundamental o cuidado ao especificar os materiais, observando o fato de que seu desempenho muda conforme sua colocação. A tendência é melhorar o desempenho de absorção, quando o material é colocado afastado de superfícies rígidas.
Esse efeito é explicado pelas reflexões do som nas paredes sólidas. Na superfície da parede a pressão será máxima, mas a partícula de ar terá velocidade zero, porque a onda sonora, não terá energia suficiente para fazer vibrar a parede. Porém, em 1/4 de λ, a pressão é zero e a velocidade da partícula de ar é máxima. Colocando aí o material absorvente, teremos o efeito máximo de absorção, já que a velocidade é máxima. Em 1/2 de λ, a velocidade é mínima e também a absorção.

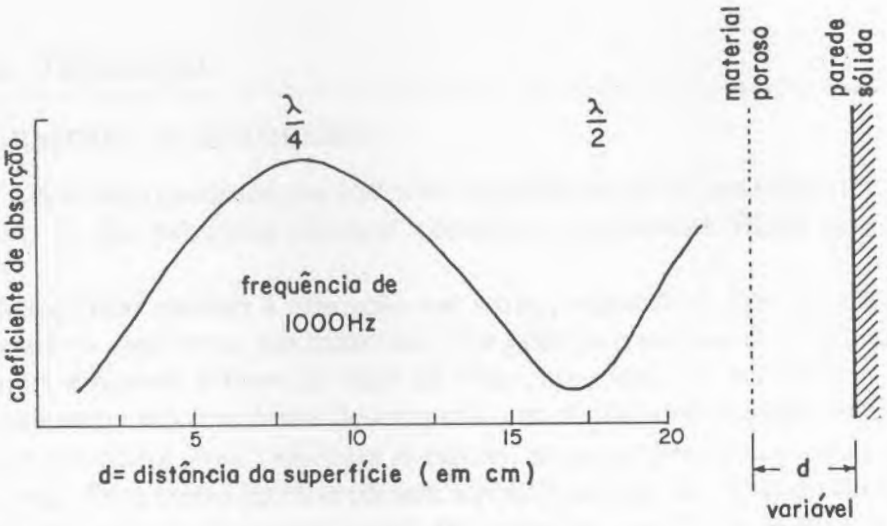
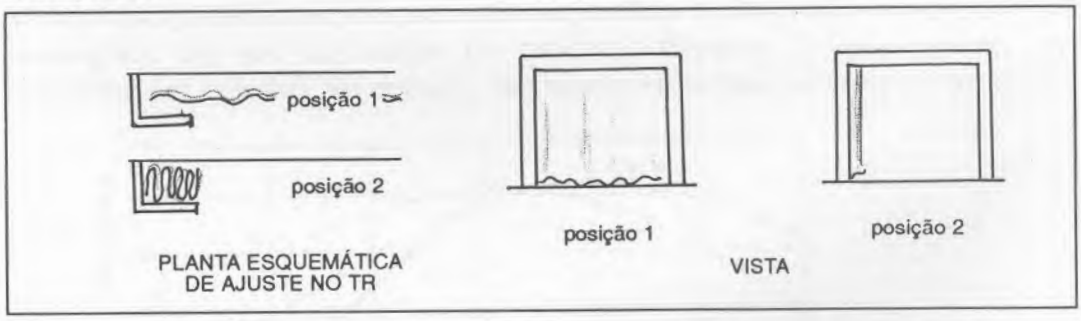


Gráfico III.11 - Material absorvente com montagem afastada de superfície rígida. Fonte: EVEREST (12)

Ajustes para adequar o local para finalidades diversas podem ser adotados. Painéis com faces reflexivas de um lado e absorvente do outro, podem servir para este fim; cortinas sobre paredes também dão bom resultados. Por exemplo, num auditório em dia de concerto de violão, as cortinas deixam paredes reflexivas a mostra (posição 2), produzindo TR alto, e nos dias de representação teatral as cortinas passam a cobrir as paredes, baixando o TR (posição 1).



Outros sistemas mais sofisticados são comercializados na Europa e Estados Unidos para salas de concertos, teatros e casas de espetáculos.

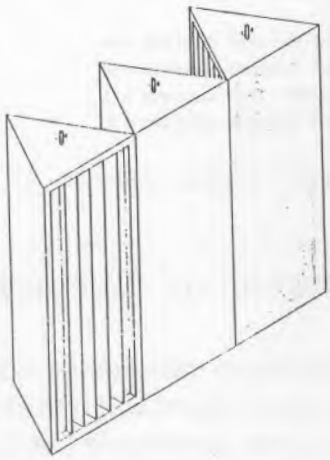


Figura III.9 Triffusor ® - pode ser usado em grupos para ajustar o tempo de reverberação de salas de espetáculos e melhorar a acústica do espaço. A rotação das unidades individuais pode trazer difusão, absorção ou paredes refletoras no espaço.
Fonte: EVEREST (12)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
BIBLIOTECA

3.6 Correção, Tipologia

3.6.1 Revestimento, acabamentos

Neste ítem estão praticamente todos os materiais listados nas fichas técnicas do capítulo V. São produtos fibrosos, celulares, argamassas, fibras projetadas e forros.

O desempenho quanto à absorção vai variar, segundo o tipo de montagem, densidade e espessura dos materiais (ver gráfico e análise do capítulo V).

– Painéis e mantas a base de fibra de vidro, de rocha ou cerâmica:

São materiais com excelente desempenho para absorver as altas frequências, podendo também atuar bem para as baixas, se sua espessura ou montagem for adequada. Tem como inconveniente, a possibilidade do desprendimento das fibras, necessitando conforme o uso, de proteção com filme de PVC ou similar; revestidos com tecido poroso (de trama aberta), possibilitam bom acabamento. É comum também, o emprego de painéis perfurados melhorando seu desempenho nas baixas frequências (área perfurada maior que 30 % da área total). As fibras resistem a altas temperaturas e tem baixa conductibilidade. Geralmente usados em teto e paredes de ambientes industriais, quando revestidos de filmes plásticos ou tecidos, podem ser usados nos mais diversos tipos de locais.

Seu custo é relativamente baixo sendo que o custo final vai depender do tipo de montagem e acabamento.

– Painéis a base de produtos celulares:

As espumas possibilitam, frequentemente, melhor acabamento e facilidade na montagem, do que as mantas de produtos fibrosos, já que podem ser simplesmente coladas. No entanto, são menos resistente ao tempo e ao calor.

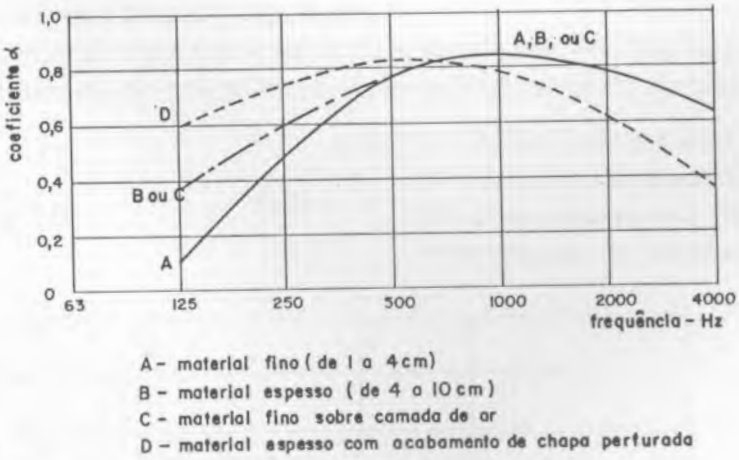


Gráfico III.12 - Materiais porosos Fonte: EGAN (6)

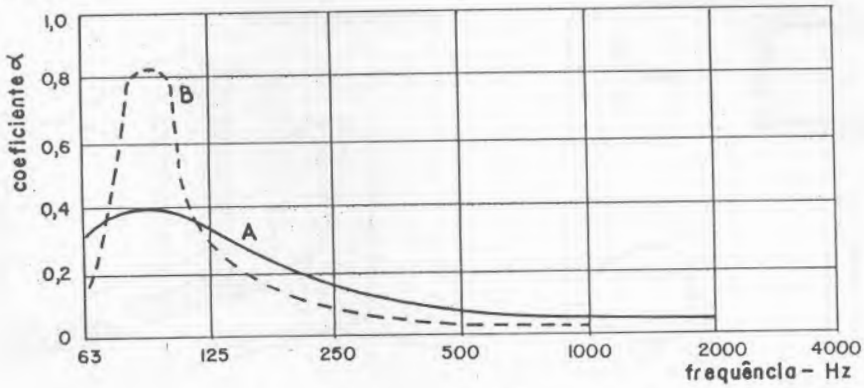
3.6.2 Ressonadores de Membranas

São painéis comumente constituídos de compensado fino (3 a 4 mm), afastados da superfície rígida, enclausurando certo volume de ar. Eficientes para baixas frequências. A frequência máxima de absorção é calculada pela expressão (11):

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho}{md}} \qquad (11)$$

onde: c = velocidade do som (m/s)
ρ = densidade do ar (Kg/m^3)
m = massa da membrana (Kg/m^2)
d = distância da membrana à parede ou espessura da camada de ar (m)

São geralmente empregados em estúdios de rádio e TV, equilibrando absorção e difusão.



A - com material poroso na camada de ar
B - sem material poroso

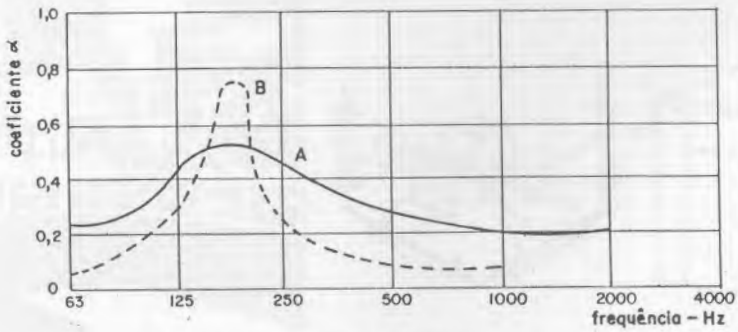
Gráfico III.13 - Ressonadores de Membrana Fonte: EGAN (6)

3.6.3 Ressonadores de cavidade

Também conhecidos como ressonadores de Helmholtz ou de volume são eficientes para baixas frequências.
São constituídos por um volume de ar interligado ao exterior por uma cavidade.
Sua frequência de ressonância, ou frequência máxima de absorção é dada por:

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{lV}} \qquad (12)$$

onde: c = velocidade do som (m/s)
S = área da abertura(m^2)
l = comprimento da fenda (m)
V = volume da cavidade (m^3)



A - com material poroso na cavidade
B - sem material poroso

Gráfico III.14 - Ressonadores de cavidade Fonte: EGAN (6)

Este tipo de sistema foi encontrado em antigas igrejas suecas (Figura III.11) indicando sua existência a séculos. Na verdade, quando se sopra ar dentro de uma garrafa obtem-se também uma frequência de ressonância. O sistema é o mesmo. O ar preso dentro de um volume fechado será comprimido quando "empurrado" pela abertura. É na abertura que se dará a troca de energia sonora por calor através da fricção. O ar da cavidade reage e passa a vibrar formando o sistema de ressonância.

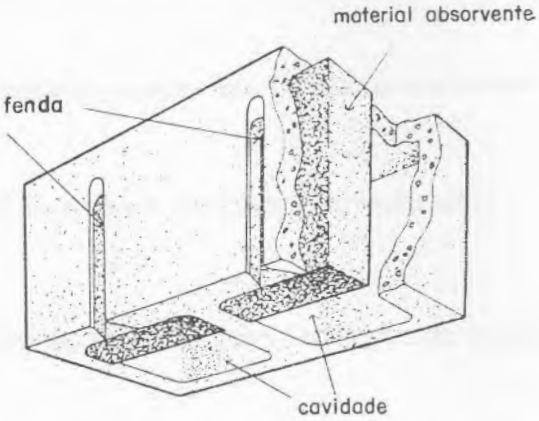


Figura III.10 - Ressonador de cavidade, feito com tijolo de concreto. O volume de ar é parcialmente preenchido com material poroso, melhorando o seu desempenho

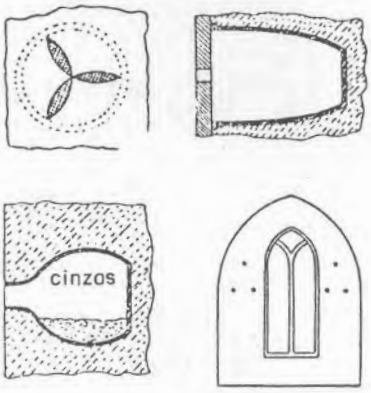


Figura III.11 - Ressonadores de cavidade. Esquema de sistemas encontrados em antigas igrejas suecas.

3.6.4 Baffles, Barreiras e Enclausuramento

São tratamentos adequados para ambientes muito grandes, onde as fontes de ruído ficam distantes das paredes e teto. É evidente que enclausurar a fonte de ruído, será a melhor maneira de diminuí-lo ou eliminá-lo, mas como nem sempre é possível, usam-se então, as barreiras e os baffles. Estes últimos além de servirem para diminuir a pressão acústica de ambientes, são usados também como correção do TR de salas.

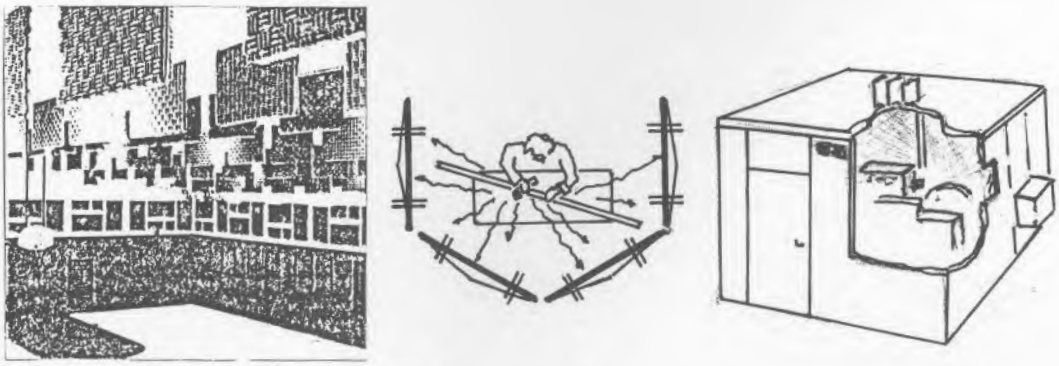


Figura III.12 - Baffles, barreiras e enclausuramento

Anexo 2

Sumário de Fórmulas

Redução sonora em campo livre (d2=2d1) $L_{p1} - L_{p2} = -20\log\frac{d_2}{d_1}$

Transmissão sonora em campo livre $L_p = L_W - 11 - 20\log d$

Transmissão sonora em campo reverberante $L_p = L_W + 10\log\left[\frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4}{R}\right]$

Redução sonora em campo reverberante $L_{p1} - L_{p2} \approx 10\log\frac{A_2}{A_1}$

Tempo de Reverberação (equação de Norris-Eyring) $TR = \frac{0{,}161V}{S\ln(1-\bar{\alpha})}$

Tempo de Reverberação (equação de Millington-Sette) $TR = \frac{0{,}161V}{\sum[-S_i\ln(1-\alpha_i)]}$

Tempo de Reverberação (equação de Sabine) $TR = \frac{0{,}161V}{\sum S_i\alpha_i}$

Frequência máxima de absorção para ressonador de membrana $f \approx 60\sqrt{\frac{1}{md}}$

Frequência máxima de absorção para ressonador de cavidade $f \approx 54{,}6\sqrt{\frac{S}{lV}}$

CAPÍTULO IV

Aplicação

Vimos nos capítulos anteriores, noções básicas de acústica arquitetônica, com ênfase ao condicionamento acústico. Este capítulo dá sugestões de aplicação desses conhecimentos, ressaltando que a principal proposta é a de divulgar o uso da acústica arquitetônica como prática cotidiana dos arquitetos e projetistas. Não se pretende dar receitas prontas, pois cada caso deve ser estudado individualmente. Além disso, novos materais, produtos e sistemas estão sendo pesquisados e desenvolvidos, possibilitando outras aplicações.
O trabalho de especialistas será sempre essencial, quando o nível de complexidade dos diversos problemas de poluição sonora e má qualidade acústica, ultrapassar as noções aqui apresentadas. Dependendo da qualidade solicitada, projetos de estúdios de gravação de rádio e televisão, assim como teatros, auditórios e salas de espetáculos, deverão ser confiados igualmente a especialistas da área.

4.1 O Projeto Acústico

A seguir, alguns passos básicos, para projetos onde a preocupação com a acústica torna-se relevante:

Estudo preliminar

- Definir, junto ao cliente, os critérios de qualidade desejados; estimar ou medir em diversos pontos, os níveis de ruído que possam interferir no projeto (fontes de ruído internas e externas).
- Estabelecer o ruído de fundo admissível para o local em questão (ver tabela II.3) e compará-los com as medições realizadas. O resultado mostrará a necessidade de isolamento ou redução sonora.
- Estudar a implantação e fazer a distribuição dos ambientes com relação a possíveis fontes sonoras internas e externas.
- Estabelecer os meios para obtenção do conforto acústico, através de estudo das formas, do isolamento e condicionamento.
- Conciliar o conforto acústico com o conforto térmico-lumínico, racionalizando a construção.

Cálculos

- Transmissão dos sons através de paredes, lajes, etc;
- Redução sonora através da absorção;
- Estabelecer o TR ótimo ou a constante da sala, quando necessário.
- Estudo de viabilidade: fatores econômicos versus desempenho acústico, mecânico, acabamento (estético), inflamabilidade etc.

Estudo de detalhes
- Estudar a influência dos elementos arquitetônicos na qualidade acústica do projeto, a saber: fundações, colunas e vigas, pisos e lajes, paredes e repartições, portas, janelas e outras aberturas como elementos passíveis de transmitir e absorver as radiações sonoras.

Instalações especiais
- De condicionamento de ar e ventilação;
- Hidráulico-sanitárias;
- Sistemas de amplificação sonora;
- Elevadores e escadas rolantes;
- Máquinas e motores de maneira geral.

Chamamos a atenção dos projetistas para não confundir problemas de isolamento sonoro, condicionamento acústico e isolamento térmico; não tomar ao pé da letra informações de catálogo e prospectos, sem saber como foram obtidas; executar a obra com os mesmos cuidados do projeto, pois qualquer negligência poderá comprometer o isolamento ou condicionamento acústico do local.

4.2 Residências

A ênfase neste caso deve ser dada ao bom isolamento acústico. Escolha apropriada do local de implantação, das aberturas em relação as fontes externas de ruído; localização correta das fontes internas, como canalizações, e ambientes ruidosos em relação aos locais de repouso; constituição apropriadas das paredes e pisos que separam cômodos e unidades (ver item 3.2 Isolamento acústico).

Uma sala de estar com acabamento lisos e reflexivos, traz a sensação de frieza além da reverberação do som. Na literatura especializada, não encontramos referência ao TR ideal para residências. Todos os casos estudados envolvem locais onde a boa audibilidade e qualidade do som é primordial, como em estúdios de rádio, auditórios, salas de espetáculo, templos, etc. Visto que a maioria dos acabamentos de construção para piso, paredes e teto (interiores) são reflexivos, cabe ao projetista, balancear estes acabamentos com superfícies absorventes como cortinas, tapetes, estofados e móveis em geral com um certo grau de porosidade e absorção sonora.

Acreditamos que o conhecimento de noções básicas de acústica sejam suficientes para habilitar o arquiteto a adequar o TR de residências em geral. Casos específicos de salas para música ou estúdios "caseiros" devem se referenciar a tabelas apropriadas.

Todas as tubulações, elevadores e outros equipamentos mecânicos devem ser posicionados no projeto e tratados acusticamente. Usar materiais absorventes nos tetos e pisos, ajuda a diminuir a intensidade sonora que pode ser transmitida entre as unidades residenciais.

De uma maneira geral, aconselhamos :

- Pisos – com material resiliente aplicado entre a laje estrutural e o contra-piso.
- Quartos de dormir – quanto menor o TR, mais íntimo e aconchegante o local.

Materiais: cortinas, tapetes, tecidos. *Atenção: em climas quentes, estes materiais podem não ser indicados, já que absorvem calor com capacidade para estocá-lo.* Rugosidades em geral são indicadas (estantes com livros, móveis em madeira natural não embutidos, tecidos drapeados, etc).

• Sala de estar — quando vários ambientes são dispostos na mesma sala, cuidados devem ser tomados em relação ao bom funcionamento de cada um, como: disposição dos assentos, barreiras acústicas (biombos, desníveis) revestidas de materiais porosos.

• Cozinhas e banheiros – normalmente com acabamentos lisos para facilitar a manutenção, facilitam também a propagação do som. Laminados foscos, madeiras naturais e borrachas são indicados (mesmo tendo baixos coeficientes de absorção).

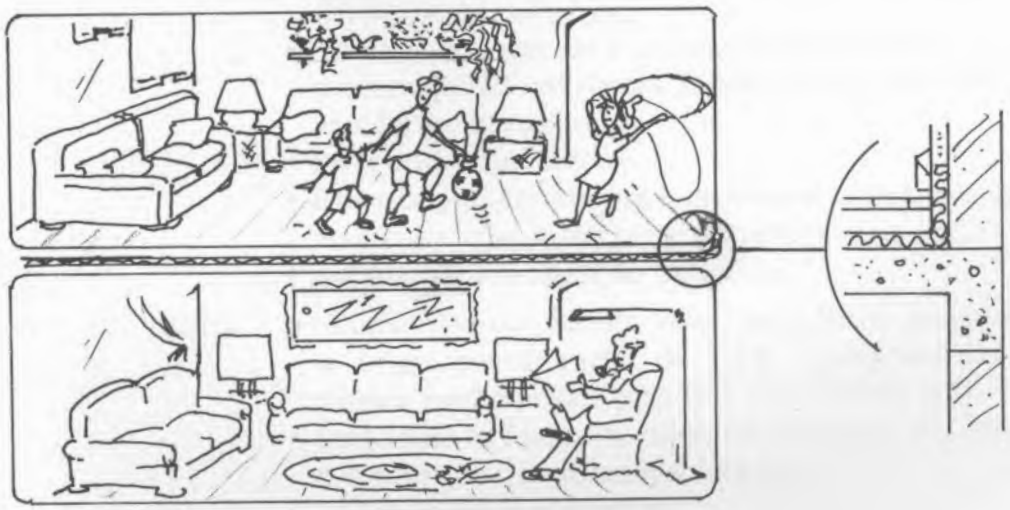


Figura IV.1 Tratamento de piso com material resiliente aplicado entre a laje estrutural e o contra-piso.

4.3 Indústrias

As fontes geradoras de ruído, neste caso, vão variar com o tipo de máquinas e atividades realizadas. O primeiro passo ao projetar uma fábrica ou indústria será o reconhecimento das possíveis fontes de ruído. Infelizmente, são raros os fabricantes de maquinário ruidoso, que informam sobre a potência sonora nas diversas bandas de frequência. Quando estes dados não estiverem disponíveis, será aconselhado obter medições de pressão sonora por banda de máquinas similares para o reconhecimento das frequências de pico, com níveis mais altos, ou seja, aquelas que vão predominar no local.

NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA POR BANDA DE FREQUÊNCIA

LOCAL	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SALA DE COMPRESSORES	73	90	95	97	96	90	78

No exemplo citado, o importante é saber as faixas de frequência de pico, já que o nível de pressão sonora vai variar com o condicionamento do local, priorizando assim o tratamento nestas faixas.
Indústrias, geralmente, concentram em grandes salões, uma gama variada de máquinas. Por suas grandes dimensões, o melhor tratamento será o enclausuramento das fontes de ruído, o que nem sempre é possível, devido ao funcionamento próprio da máquina. Solução também indicada, será o uso de barreiras acústicas com materiais de absorção voltados para a fonte e por último, o tratamento do ambiente.
Tratamentos indicados quanto a:

Máquinas
- Utilizar equipamento o mais silencioso possível, a disposição no mercado;
- Prever isolamento de vibração na base das máquinas, devidamente calculado;
- Prever, quando possível, o enclausuramento das máquinas ou dos operadores destas. Cuidados com manutenção, ventilação, exaustão;
- Semi-enclausuramento;
- Isolar os painéis, tampas e protetores com borrachas e revestí-los com materiais absorventes;
- Aconselhar manutenção periódica.

Local
- Estudar o lay-out, distribuindo o maquinário de maneira a evitar concentração de ruído, considerando os limites estabelecidos pela CLT (ver Tabela II.5).
- Posicionar as fontes de ruído em relação a sua direção e em função das aberturas do local;
- Utilizar barreiras acústicas;
- Aplicar a absorção no percurso do ruído, através de baffles ou dutos revestidos com materiais de absorção e atenuadores de ruído;
- Pisos: de borracha, para amortecer vibrações, se houver possibilidade de transmissão de som de impacto da área em estudo para áreas contíguas;
- Paredes: usar a lei de massa, quando necessário o isolamento acústico. Usar materiais porosos, ajudando a baixar a provável reverberação. Blocos de concreto celular ou mesmos blocos cerâmicos, se possível, aparentes ou revestidos com pintura a base de água, evitando bloquear a porosidade do material. Evitar ladrilhos, pedras e cerâmicas. No exterior, encontramos no comércio, blocos seguindo os pricípios do ressonador de Helmholtz (Figura III.10). No Brasil, estudos já foram feitos nesse sentido e aguardam comercialização;
- Tetos: aproveitar a baixa conductibilidade de alguns materiais absorventes para conciliar o tratamento térmico e acústico. Os forros suspensos com fibras minerais são aconselhados, e deverão ser selecionados segundo as necessidades de tratamento, nas faixas de frequência

mais solicitadas. Para pé-direito muito alto, o forro passa a ter importância menor, porém, evitar superfícies reflexivas em lugares ruidosos, será sempre uma premissa.

Importante: Nas indústrias, o tipo de produção – se envolve vapores e de que natureza; e poeira em suspensão, entre outros fatores – vai limitar e direcionar a escolha dos acabamentos internos. Um material poroso deverá ser devidamente protegido ou desaconselhado em lugares com poeira ou vapor em suspensão, se a manutenção não for possível.

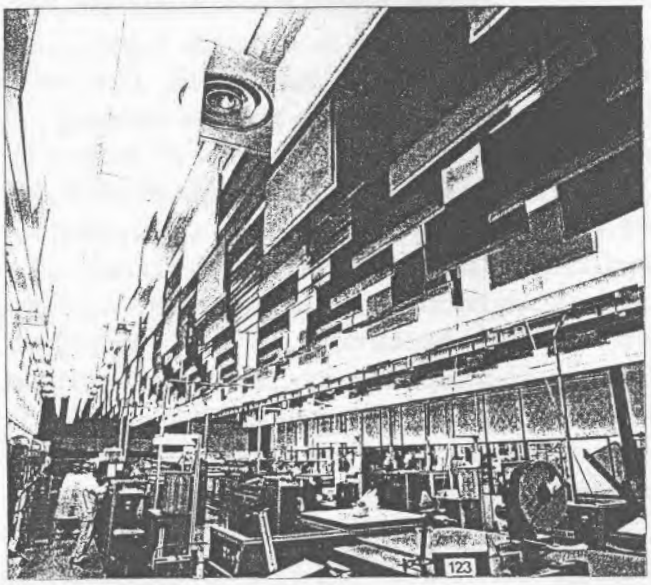


Figura IV.2 - Correção acústica em indústrias

4.4 Escritórios, Bancos e Lojas

Tipos de fontes comuns

a) Altas e médias frequências :

internas: Voz humana, máquinas de escrever, impressoras, campainha de telefones.

externas: Os mesmos ruídos vindos de salas adjacentes.

b) Baixas frequências :

internas: Salas de máquinas, compressores, geradores, alguns tipos de motores.

externas: ruídos de trânsito

É no projeto, que obteremos as melhores soluções para estes problemas. Três pontos serão relevantes :

- O planejamento deve levar em conta as prováveis fontes de ruídos do prédio (casa de máquinas), da rua (trânsito) e localizar de maneira adequada as salas de atividades que requerem silêncio.
- Prover as salas de isolamento sonoro.
- Usar materiais de absorção a fim de reduzir o tempo de reverberação e manter os locais com níveis de ruído aceitáveis.

Tratamentos indicados:
De uma maneira geral, qualquer tratamento será mais oneroso se feito após o funcionamento do local. É ainda no projeto que decisões para o conforto do usuário devem ser tomadas.
Escritórios do tipo "paisagístico" – grandes ambientes com divisórias baixas – tendem a misturar todas as fontes sonoras, dificultando a realização de tarefas que exijam muita atenção. Outro problema é a falta de privacidade. Neste caso, soluções visam amenizar o problema como o uso de tapetes espessos, divisórias com acabamento em tecido, música ambiente.
Para fontes do tipo *a*: usar materiais absorventes porosos (mecanismos resistivos), distribuídos entre pisos, paredes e teto.
Em grandes salas de escritórios, quando o pé-direito for menor que a metade da largura da sala, o teto será o melhor local para a colocação dos materiais de absorção acústica. Entretanto, quanto maior o pé-direito, menor sua importância no tratamento. A distribuição entre paredes, teto, e piso será recomendada.
A escolha correta dos materiais de absorção depende também de características estéticas e econômicas. Um material pode ter seu coeficiente de absorção maior do que um outro em determinada banda de frequência, perdendo porém, em matéria de textura, cor, durabilidade, inflamabilidade, manutenção, etc. A aparência final dos locais de trabalho também influi no conforto dos usuários e consequentemente em sua produção. A escolha acertada deverá, portanto, atentar para estes fatores, além de problemas de montagem do material e seu custo final.

Figura IV.3 - Sala de reunião com absorção acústica

Para fontes do tipo *b*: Enclausurar fontes, usar mecanismos reativos.
Através do uso correto de materiais de construção, conseguiremos isolamento sonoro do ruído de trânsito (espessura, massa). As aberturas merecem especial atenção com uso de vidros espessos, duplos ou triplos, a fim de equilibrar o isolamento das paredes com o das aberturas.
Nestes locais, o ar condicionado traz consequências quanto ao conforto

acústico. Aparelhos de parede, localizados em fachadas voltadas para as ruas de tráfego intenso, são desaconselhados, pois apresentam um ponto importante de "vazamento de ruído" através de seus filtros. Usar condicionamento de ar central será a medida indicada, porém, além do planejamento correto do posicionamento de casas de máquinas, dimensionamento e revestimento de dutos, outros cuidados importantes devem ser observados. A qualidade do ar insuflado mecanicamente é um deles, e vai depender de fatores como posicionamento das tomadas de ar externo, troca regular dos filtros e sobretudo a manutenção constante do sistema.

4.5 Restaurantes

KNUDSEN em seu livro "Acoustical Designing in Architecture", editado pela primeira vez em 1950, destaca o fato de que cada vez mais os restaurantes "modernos" vem fazendo do tratamento acústico, uma prática comum. No Brasil, esta prática ainda não chegou, mas existem exceções e a tendência atual, nesta década ecológica, é a de priorizar o Conforto Ambiental de uma maneira geral.

Se compararmos a sensação agradável de fazer refeições em local aconchegante e calmo, com aquela experimentada em locais onde se precisa falar alto para ser entendido, compreenderemos a necessidade real de tratamento nesses locais. As razões econômicas para o tratamento em restaurantes são evidentes. Até em churrascarias, locais tradicionalmente ruidosos, é possível se obter bons resultados, acabando com a sensação de fadiga comum a este tipo de ambiente.

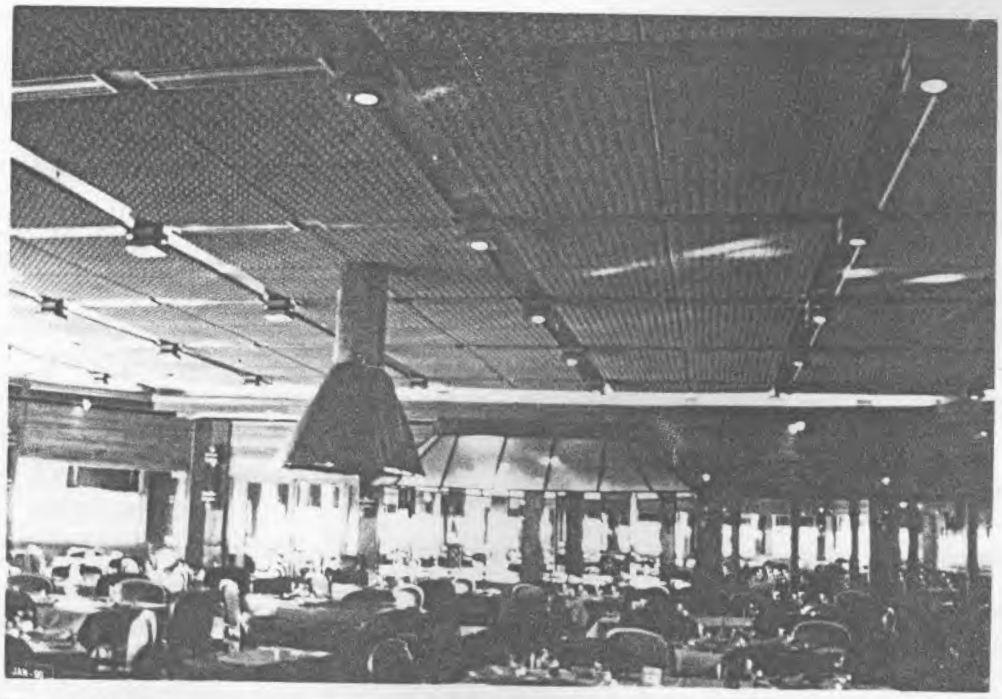


Figura IV.4 - Churrascaria com material absorvente no teto.

Tratamentos indicados:
Ao projetar um restaurante, bar ou cafeteria, a disposição das mesas e dimensões da sala vão interferir na qualidade acústica do local.
Pequenos grupos de mesas separados por barreiras (paredes de meia altura, biombos acústicos) ou localizados em cantos evitando as grandes dimensões contínuas, será uma escolha adequada.
Por razões de manutenção e limpeza, novamente o tratamento ideal será no teto, sobretudo em salas grandes. Para locais pequenos, com dimensões equivalentes entre altura, largura e comprimento, o recomendado será o tratamento parcial de teto e paredes. O estudo geométrico da emissão sonora objetivará a localização mais adequada dos materiais de absorção.

4.6 Escolas

Tipos de fontes comuns
a) Altas e médias frequências:
internas - vozes, ruído próprio das secretarias (escritório).
externas - áreas de recreação e esportes, ruído de outras salas.
b) Baixas frequências:
internas - salas de máquinas,
externas - ruído de trânsito (*)[1].

Tratamentos indicados:
Em escolas, a inteligibilidade será essencial, já que basicamente o aprendizado está ligado a fala e a audição. É portanto, indispensável adaptar acusticamente as salas de aula. Suas formas devem procurar encurtar o caminho do som, melhorando simultaneamente a visibilidade - fator também a merecer especial atenção.
No projeto acústico de escolas devemos levar em conta:

- Posicionamento de locais ruidosos – ginásios, áreas de lazer, com relação as salas de aula e auditórios.
- Localização de salas de aulas em relação a ruas (ruído de trânsito). Quanto mais distantes destas, melhor será (no mínimo a 16 metros). Uso de barreiras vegetais ou muros.
- Escolha adequada de materiais quanto ao isolamento acústico. Uso de materiais pesados ($\geq$ 350 Kg/m^2) para isolamento em torno de 50 dB(A), como por exemplo, tijolos maciços emboçados dos dois lados. Atentar para o isolamento acústico entre salas – divisórias ou frestas devem ser evitadas.
- Evitar salas extremamente estreitas ou largas.
- Evitar paralelismo entre paredes com acabamentos reflexivos (interna ou externamente).
- Evitar plantas com formas côncavas ou em "U", direcionadas para fontes de ruído (interno ou externo).
- Posicionar aberturas de maneira a criar o maior percurso possível ao ruído externo.

(*)[1] - Generalizamos o ruído de trânsito como baixa frequência, pois apresenta médias máximas nestas faixas.

Revestimentos internos:

Salas de aula e auditórios

Podemos calcular o tempo de reverberação ideal para salas de aula e auditórios, usando a curva da voz como referência (gráfico III.10). O cálculo deve ser feito com ressalvas, já que foi formulado para grandes espaços. Em salas pequenas ocorrerão mais facilmente ecos, focos, ressonâncias, e a incidência sonora será dificilmente aleatória, ao contrário do que ocorre em grandes ambientes com superfícies reflexivas.

A absorção de cadeiras, pessoas, portas e janelas, deve entrar nos cálculos (ver itens 5.1.2.6 e 5.1.7.6). O ideal seria distribuir material absorvente nas paredes, teto e piso, de maneira espaçada, aumentando a difusão e ajustando o TR. Pequenos detalhes podem ajudar no bom desempenho: quadros para fixação de trabalhos escolares em material absorvente sonoro; parede de frente para os alunos, lisa, auxiliando a reflexão; pequena inclinação no teto ou forro melhorando a distribuição do som até o fundo da sala, (quando necessário). Questões de custo, aparência, manutenção, etc, deverão também, ser levados em conta na escolha dos materiais. A redução do ruído interno e a qualidade da inteligibilidade, justificam largamente os custos iniciais, se pensarmos em termos sociais.

Corredores e "Halls"

No nosso clima tropical, é recomendado o uso de ventilação cruzada em salas de aula. Frequentemente, venezianas ou aberturas altas dão para os corredores e estes para pátios de recreação. Como consequência, todo o tratamento acústico da sala fica prejudicado. Conciliar conforto acústico e térmico, será um desafio para o arquiteto, sobretudo quando meios passivos de refrigeração forem usados (ventilação natural, etc.).

Um forro rebaixado poderá manter a exaustão do ar e trazer alguma absorção sonora ao corredor. No caso de configurações longas e estreitas entre paredes paralelas, ao menos uma delas deve receber revestimento absorvente.

No caso de "halls" com a finalidade de concentrar muitas pessoas e portanto trazer ruído, devem ser localizados distantes das salas e ser igualmente revestidos com material acústico com boa capacidade de absorção ($\alpha \geq 0,5$).

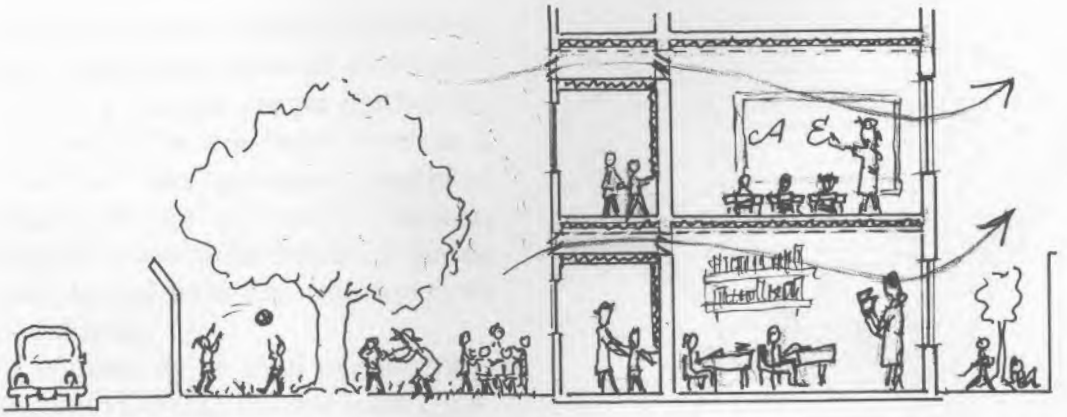


Figura IV.5 Escola - Corte esquemático. Conciliação de ventilação natural com correção acústica.

Ginásios

Normalmente, com formas retangulares e paredes paralelas, podem causar ecos múltiplos. Quando a distância entre as paredes é de cerca de 15m, um simples bater de mãos se repete em série até sumir. Com distâncias menores, este fenômeno tende a se acentuar e um estalar de dedos causa interferência sonora no local. Podemos imaginar o que ocorre quando pessoas gritam, aplaudem, juízes apitam... A quebra do paralelismo, utilizando-se a proporção de 1 para 20, será suficiente para eliminar este fenômeno. Comumente os materiais de construção do ginásios são reflexivos. Suas coberturas são frequentemente metálicas, com formas côncavas, altamente reflexivas. Podem causar focos sonoros e além de trazer desconforto do ponto de vista térmico, trazem ainda um ruído bastante desagradável em dias de chuva. O tratamento de coberturas leves com materiais acústicos jateados trará benefícios do ponto de vista acústico e térmico. O ideal será o uso de forro acústico (tramas com material fibroso) e cobertura ventilada, conciliando o conjunto, se necessário, com iluminação zenital. O tratamento deverá beneficiar as médias e altas frequências. Devem ser localizados longe das salas de aula.

4.7 Auditórios, Cinemas e Teatros

Os auditórios se desenvolveram a partir dos teatros ao ar livre da época greco-romana. Aos poucos, foram surgindo paredes e fechamentos, até que no século XVIII, a decoração luxuosa destes locais tornou-se mais importante. No século seguinte, os problemas acústicos dos auditórios começaram a ser alvo de estudos, o que em nossos dias tornou-se uma exigência.

Da boa visão e audição dependerá, o bom desempenho de auditórios, cinemas e teatros. Neste caso, os três fatores da acústica arquitetônica deverão ser considerados igualmente no projeto:

- Fator forma, volume interno;
- Isolamento acústico;
- Obtenção do tempo de reverberação ideal (TR).

Fator forma

A distância percorrida pelo som deve ser a mais curta possível, de forma a reduzir a energia sonora perdida no ar. Auditórios em leque tendem a satisfazer esta premissa, porém o ângulo de 140° partindo do locutor, limitará a boa audibilidade, já que as altas frequências têm características direcionais.

O volume de ar ideal por assento, segundo DOELLE (5), está entre 2,3m³ e 4,3m³ enquanto para KNUDSEN(1) este valor é de 1,75m³. Quanto menor

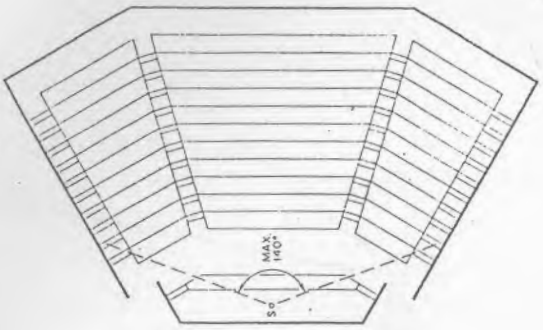


Figura IV.6 - Forma apropriada para auditórios.
Fonte: DOELLE (5)

o volume de ar, conforme os cálculos para o TR ideal, menos precisaremos de revestimentos absorventes no local. Para capacidade de 400 lugares não exceder 1800 m^3. O pé-direito não deve ultrapassar 7 metros.
Boas condições de escuta para fala, sem sistemas de amplificação, alcançam distâncias entre 9 e 12 metros. Usaremos o diagrama dos raios para definir a forma ideal deste tipo de sala.
Algumas limitações no uso do diagrama dos raios:
– O som se baseia na reflexão da luz. Lembramos que a acústica geométrica onde o ângulo de incidência de um determinado raio em uma superfície plana é igual ao ângulo do raio que se reflete, é válida apenas para médias e altas frequências.
– Não é possível se ter uma avaliação detalhada da difusão ou espalhamento do som no local. Há redução na pressão sonora a partir de certa distância.
Programas computacionais foram desenvolvidos neste sentido, como por exemplo, o programa "Simulação Numérica de Acústica de Salas", de Marcos de Lima Ballesteros, orientado pela equipe da COPPE UFRJ. Apesar das limitações, o diagrama dos raios é um instrumento válido na determinação de formas adequadas para salas de música e auditórios.
A diferença do caminho que o som refletido faz em relação ao som direto, está relacionado com a diferença de tempo que o ouvido humano percebe cada um. Por exemplo, se escutarmos o som refletivo após 1/17 de segundo do som direto, detectamos um eco (ver item 3.3.5), ou seja, quando um obstáculo reflexivo estiver a 11 m de uma fonte, por exemplo, um ator, este escutará sua voz duas vezes distintamente.

DIAGRAMA DOS RAIOS	
DIFERENÇA DO CAMINHO DO SOM EM METROS df (*)	CONDIÇÕES DE ESCUTA
menos que 9 metros	excelente para fala e música
entre 9 e 13,5 metros	boa para fala
entre 13,5 e 16,5 metros	razoável
entre 16,5 e 22 metros	negativa
maior que 22 metros	o eco torna-se muito forte

(*) df - caminho do som refletido, menos caminho do som direto.

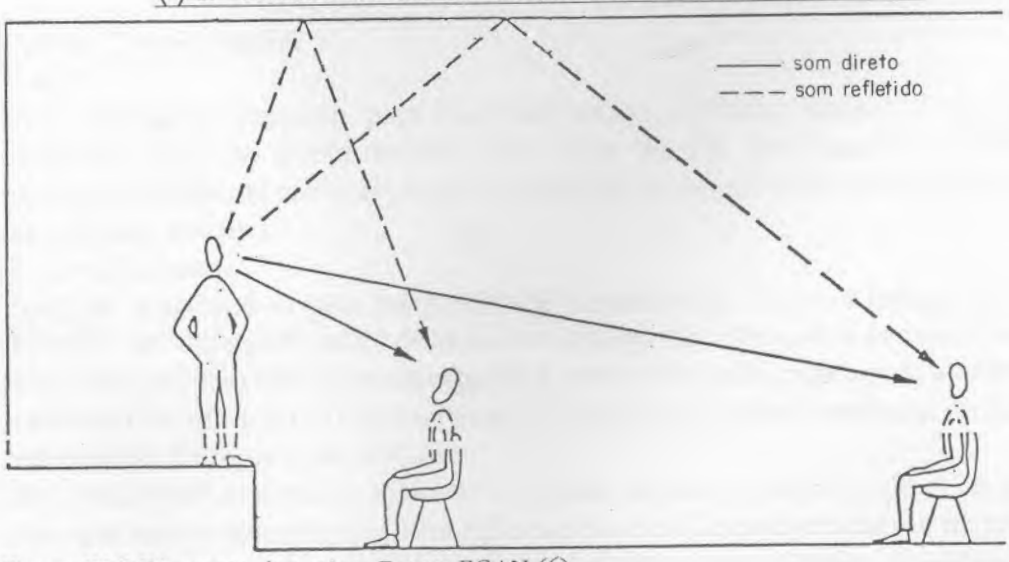


Figura IV.7 Diagrama dos raios Fonte: EGAN (6)

Isolamento Acústico
A escolha do local apropriado, longe das fontes externas de ruído e escolha dos materiais de construção adequados – pesados e maciços será fundamental. Usar sound-locks, corredores e áreas adjacentes para complementar o isolamento acústico.

TR ideal
O cálculo do tempo de reverberação foi desenvolvido para este tipo de sala, onde a qualidade acústica é relevante.
Quanto mais apurada for esta qualidade, mais estudos apropriados serão exigidos. Seguem sugestões para distribuição dos materiais de absorção:
Teto – ao menos a parte central perto do palco, deve ser reflexiva.
Paredes Laterais – devem ser difusoras e refletoras, ora encaminhando o som para o fundo da sala, ora distribuindo em todas as direções através de superfícies irregulares, como pedras formando ondulações ou pequenos painéis de madeira de diferentes dimensões (ver itens 3.3.1 a 3.3.3). As áreas próximas a platéia devem ser absorvedoras (abaixo de 1,20m).
Parede de fundo da platéia – deve ser absorvente (dependendo da distância em que estiver situada do palco).
Piso – tapete espesso (mais de 12mm) sobre manta, exceto para a área em frente ao palco.
O maior problema do arquiteto será conciliar boa acústica para fala e para música, que requerem TR diferentes. Sistema com painéis móveis são possíveis (uma face absorvente, outra reverberante), mas além de elevar o custo do tratamento, requerem manutenção e um operador capaz de adequá-los às diversas situações. Já existem vários sistemas como este comercializados no exterior (ver figura III.9). O cálculo deve levar em conta a ocupação da sala e as poltronas devem servir para estabilizar um TR próximo entre situações de sala cheia ou vazia. As poltronas devem ser bastante absorventes, de preferência grandes, confortáveis, estofadas e revestidas com tecido. Cálculo mais apurado para o tempo de reverberação ideal, levará em conta a absorção do ar (ver tabela 5.1.7.7).

Outras Considerações
Palco
Deve ter forma adequada para boa distribuição e difusão sonora. O poço da orquestra deve ser dimensionado com cerca de $3m^2$ por músico e deve ter material absorvente em suas paredes de fundo. Se possível ser coberto quando não estiver em uso.
Ar condicionado
Pode ser responsável pela má qualidade de uma sala. Dutos e locais técnicos deverão ser dimensionados de maneira apropriada e tratados acusticamente. Seu ruído próprio não deve ultrapassar a curva de classificação para auditórios e teatros (ver gráfico II.3). Isolar casas de máquinas e vedar passagem de dutos.
Sistema de Amplificação Sonora
Será realmente necessário quando o volume da sala exceder 1700 m^3 e a voz tiver que atravessar mais que 18m até o espectador. Locado em cima e no centro da boca de cena, deve cobrir todo o auditório para simular corretamente

amplificação da fonte. Sistemas de defasagem devem ser introduzidos em salas muito longas. A sala de controle, no fundo do auditório, deverá ser aberta o suficiente para que o operador possa escutar o som e controlá-lo de maneira correta.

Balcões

O uso de balcões pode ser uma boa opção para aumentar a capacidade do local e aproximar o espectador da cena. Sua profundidade deve ser menor que o dobro de sua altura (caso de cinemas e óperas). Para orquestras sinfônicas a profundidade não deve exceder a altura.

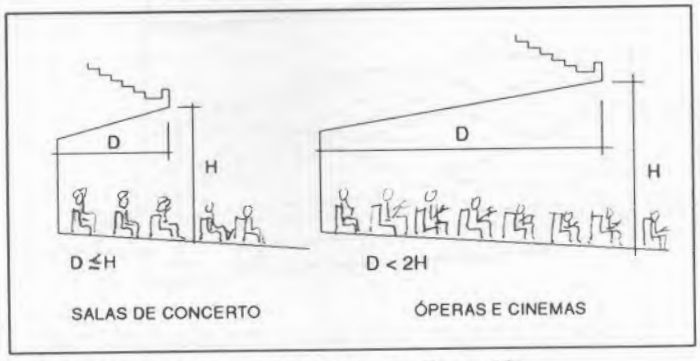


Figura IV.8 - Balcão para salas de música Fonte: Egan (6)

A sala de espera e corredores formam espaços acoplados ao auditório e devem ter no mínimo, a metade da área de paredes e tetos, tratados com absorção $\alpha > 0,7$ e piso com tapete espesso.

Cinemas

Seguem todas as considerações anteriores. As paredes atrás da tela deverão ser recobertas com materiais bastante absorventes, de cor escura para evitar reflexões sobre a tela.

Cabines de Projeção – são fontes de ruído e devem ser tratadas com materiais isolantes e acabamentos internos absorventes.

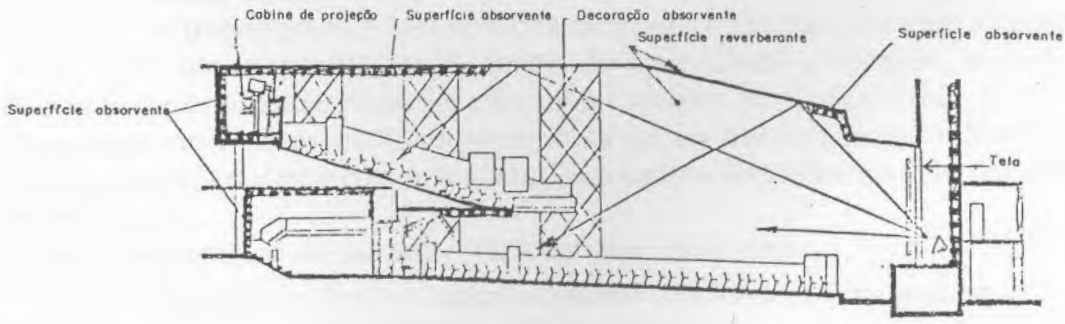


Figura IV.9 - Cinema Fonte: Delebecque (4), segundo Saint Gobain.

Como o som é amplificado, a acústica dos cinemas não dependerá das reflexões benéficas das paredes e forro, como no caso de auditórios sem amplificação.

Teatros

Consideraremos que pequenos teatros serão comparados a pequenos auditórios (até 400 lugares) e seguirão as considerações descritas nesse item. Quando a

capacidade é acima de 1000 lugares, frequentemente não são bons acusticamente para fala sem sistemas de ampliação sonora. Problemas de isolamento e eliminação de ruído interno como nos circuitos de ventilação e ar condicionado ganham relevância. Quando o teatro tem uso musical, além do dramático, será necessário levar em conta as características de reverberação para música e fala, localizando cuidadosamente os materiais de absorção, de maneira a uniformizar a média de perda sonora em todas as partes do teatro.

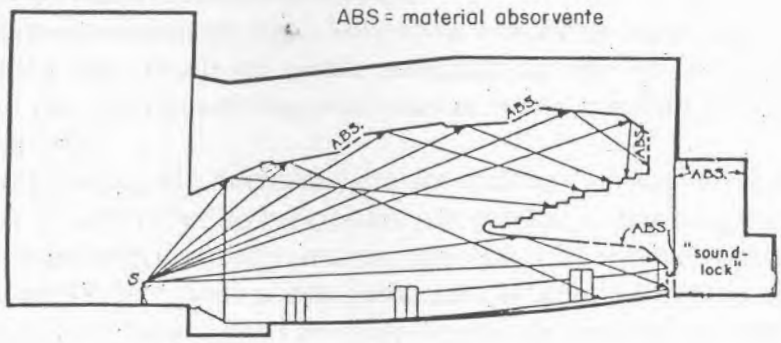


Figura IV.10 - Corte longitudinal de teatro ideal Fonte: Knudsen (1)

Salas para Música

Segundo Doelle (5), a música, se tocada numa sala pequena dá a impressão de "intimidade acústica". Como vimos no diagrama dos raios (pág. 62), se a diferença do som refletido com o som direto for menor que 9m, analisando de vários pontos, podemos concluir que a sala tem boa "intimidade acústica" para a música.

Se tivermos um TR longo (maior que 1,5 seg) para altas e médias frequências, tenderemos a escutar de maneira plena os tons destas frequências. Se a sala for pequena e muito absorvedora com TR curto, a música parecerá seca e sem interesse. Quando o TR for relativamente longo para baixas frequências (abaixo de 250 Hz), resultará qualidade mais "quente" da música com baixos de extrema riqueza. O ideal será então, controlar adequadamente o TR para todas as gamas de frequências. A sala terá boa definição e clareza se todos os sons forem escutados separadamente, dentro de uma rápida passagem, quando diferentes instrumentos musicais estiverem tocando. Será importante que os elementos construtivos, ou de cenários próximos aos músicos, sejam reflexivos e difusivos para misturar o som de forma harmoniosa antes que este chegue aos espectadores.

Existem vários tipos de música e TR ideal para cada uma:

Barroca e Clássica - salas pequenas tendendo a retangulares
Barroca - com TR curto - 1,0 seg p/500 Hz
Clássica e Moderna - TR - 1,5 seg p/500 Hz
Romântica - TR - 2,0 seg p/500 Hz
Ópera - TR - 1,2 a 1,4 seg p/500 Hz

Quando o local não for usado somente para música, o TR de 1,7 em 500 Hz para salas cheias, será um bom compromisso.

Porém, em geral, as salas não são construídas para um tipo específico de música e o cálculo do TR não garantirá sozinho a boa acústica da sala.

4.8 Estúdios de Rádio e Televisão

Existem vários pequenos estúdios de gravação para organizações que necessitam de material promocional, educativos ou religiosos. Na maioria dos casos, os recursos econômicos e técnicos são limitados. É possível projetar bons estúdios com custos razoavelmente reduzidos.
Vários fatores entram em jogo. Subjetivos e técnicos. Aparência e conforto são qualidades mais fáceis de serem avaliadas do que as qualidades acústicas, portanto não devem ser desconsideradas, e isto é valido para todos os itens deste capítulo.
O som registrado pelo microfone em um estúdio, consiste em som direto e som refletido. O som refletido funcionará nas médias e altas frequências, segundo a acústica geométrica (diagrama dos raios); já com o som de baixas frequências (abaixo de 300 Hz), pode ocorrer ressonância (item 3.3.6) pois, salas pequenas tem dimensões comparáveis ao comprimento de onda (por exemplo: em 85 Hz λ = 4 metros).
O som direto só será percebido muito próximo da fonte. Quanto menor o local, menor a abrangência do som direto.
Outro componente do som indireto, ou refletido, é dado pelos materiais de construção: janelas, portas, pisos e paredes, entram em vibração afetados pela fonte sonora de maneira diferenciada.
O tempo de reverberação é a média dos três tipos de som indireto. Medir o TR de um estúdio, não implica em conhecer estes seus componentes, não sendo portanto, um perfeito indicador da qualidade de um estúdio.
Como vimos, no caso de salas de aula, o campo sonoro de pequenos ambientes é não raro, completamente reflexivos e a equação de Sabine é baseada nas propriedades estatísticas de campo sonoro aleatório. Portanto, não seria próprio aplicá-la em salas pequenas, mas na prática, acreditamos que sim. O tempo de reverberação mede a taxa de redução por banda de frequência. Um TR de 0,5 segundo significa que uma redução de 60 dB ocorre em 0,5 segundo depois que o som foi extinto. Mesmo quando o campo sonoro não é difuso, o som terá taxas próprias de redução até nas baixas frequências.
Sendo assim, é prático utilizar a equação de Sabine para estimar as necessidades de absorção nas diferentes faixas de frequência, apesar das limitações do cálculo.
Além da taxa de diminuição do som, deve-se atentar para o volume, proporções da sala, difusão, e isolamento de possíveis ruídos indesejáveis.

Volume

Uma das relações sugeridas para altura, largura e comprimento, em estúdios de gravação é 1,00:1,28:1,54. Existem muitos estudos sobre o assunto e não caberia aqui aprofundá-los. A resposta para baixas frequências em estúdios maiores (volume superior a 230 m^3) é melhor que em pequenos estúdios, fato que pode ser relevante na gravação de música.

Proporção da sala

A forma cúbica, deverá ser evitada, assim como, o uso de múltiplos nas relações entre suas dimensões, por exemplo: para um pé-direito de 4 metros, o

comprimento da sala não deverá ter 8 metros. Isto nos evitará problemas com relação a música, seus harmônicos etc.
Como já enfatizado anteriormente, deve-se evitar paralelismo de superfícies reflexivas.

TR ideal

Quando estão em jogo, música e fala, muitas variáveis são possíveis: se a voz é feminina ou masculina; se o locutor fala pausadamente ou rápido como numa narração de futebol; se a música é valsa, concerto para violinos, rock, rap,reggae etc. O tempo de reverberação ideal vai variar segundo o apuro musical de cada indivíduo e raramente será o mesmo para as diversas situações citadas. O gráfico IV.1, mostra na área hachurada, um compromisso médio para estúdios de gravação de locução e música.

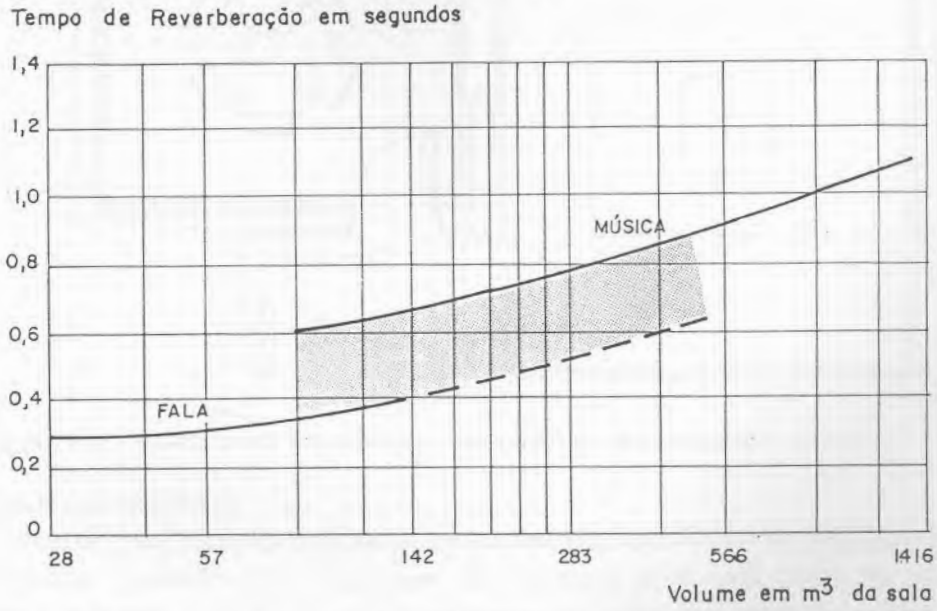


Gráfico IV.1 - TR sugerido para estúdios de gravação Fonte: EVEREST (12)

Difusão

Usar formas geométricas com protuberâncias ou elementos específicos para este fim. Complementar com a distribuição de elementos de absorção em placas espaçadas, ajustando TR e boa distribuição do som no local.

Isolamento

Isolar um estúdio do ruído da rua, evita também que o som por ele gerado incomode a vizinhança. O ruído mais nocivo neste tipo de local será o produzido pelo ar condicionado, se os devidos cuidados não forem tomados. Quando vários estúdios estão lado a lado, a distribuição do ar de insuflamento e retorno deve ser individual, ou o som gerado num estúdio passará para outro através dos dutos.
É possível tratar dutos com atenuadores, quando o sistema individual não é viável, por exemplo, por falta de espaço. Atenuadores serão também indispensáveis nas saídas das casas de máquinas quando próximas dos estúdios. Enfim, será necessário um criterioso estudo quanto maior a exigência de qualidade.
É evidente também, que paredes entre os estúdios devem ter septos tão

isolantes quanto as próprias paredes. Frestas são as grandes vilãs do bom isolamento. Não adianta usar um visor com bom espaçamento de ar entre dois vidros espessos, se entre o caixilho e a parede se não houver uma boa vedação. Visores e portas dependem de sua perfeita execução e montagem, para funcionarem de maneira satisfatória. Boas portas acústicas são fabricadas com batentes adequados, devidamente tratados com borrachas de vedação e o conjunto instalado na obra por técnicos especializados.
Espaços intermediários entre os estúdios e acesso (sound lock), aumentam o desempenho das portas.

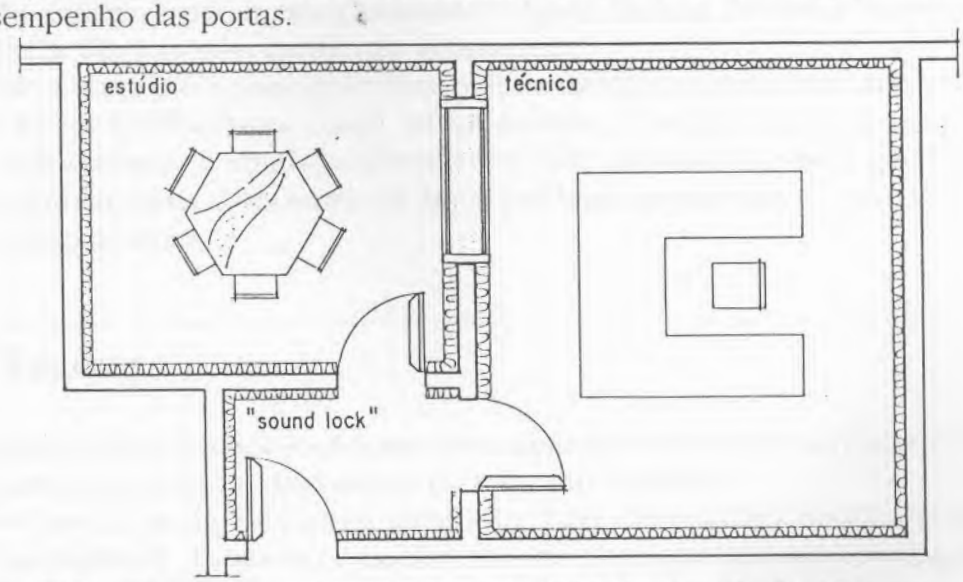


Figura IV.11 - Planta baixa esquemática para estúdios de transmissão de rádio.

Fatores Econômicos
O nível de qualidade e resposta acústica determinará o custo e cuidados a serem tomados. Quando não dispomos de recursos para utilização de materiais industrializados, poderemos substituí-los por materiais menos nobres, como caixa de ovos de papelão, sacos de serragem, palha, enfim, materiais reciclados após testá-los por ensaio e erro, até conseguirmos a resposta satisfatória.
É possível projetar escolas, residências, fábricas, estúdios, edificações em geral, com qualidade e custos compatíveis com a realidade econômica do cliente. O necessário, seja em acústica ou qualquer outra área específica da arquitetura, será sempre ter conhecimentos básicos, bom senso e a devida programação de todos os fatores que influenciarão no resultado final.

CAPÍTULO V

Materiais de Absorção, Correção Acústica

A falta de informação, leva alguns projetistas, munidos de informes publicitários, a usarem incorretamente, materiais veiculados como "acústicos". Os materiais listados neste capítulo, têm propriedades de absorção acústica e portanto, servem para adequar a qualidade do som produzido num local ou atenuar o ruído emitido neste mesmo ambiente. Alguns poucos produtos apresentam também desempenho quanto ao isolamento.
Sendo a absorção o principal objetivo deste trabalho, outros itens importantes não foram aprofundados como, inflamabilidade e reação a agentes químicos, ou simplesmente à umidade. Ressaltamos que materiais porosos, geralmente são também bons absorventes de água, perdendo assim suas propriedades de absorção acústica.

5.1 Fichas Técnicas

Constam destas fichas, informações sobre alguns dos materiais com propriedades de absorção acústica, disponíveis no mercado brasileiro.
São constituídas de: Fabricante, Descrição, Tipo, Densidade, Conductibilidade, Inflamabilidade, Espessura e Coeficientes de Absorção Sonora. Ressaltamos a falta de uma regulamentação de controle de qualidade, único instrumento capaz de tornar confiáveis os dados aqui discriminados.
As fichas estão organizadas da seguinte maneira:

5.1.1 *Produtos Fibrosos* (pág. 72)
5.1.1.1 Lã de vidro
5.1.1.2 Lã de rocha
5.1.1.3 Fibras de madeira
5.1.1.4 Fibras cerâmicas
5.1.1.5 Diversos (feltros, tapetes, tecidos, cortinas)
5.1.2 *Produtos Celulares* (pág. 83)
5.1.2.1 Espuma de poliuretano
5.1.2.2 Concreto celular
5.1.2.3 Vermiculita expandida
5.1.2.4 Cortiça
5.1.2.5 Borracha
5.1.2.6 Vidro
5.1.3 *Argamassas e Fibras Projetadas* (pág. 88)
5.1.3.1 A base de lã de vidro
5.1.3.2 A base de vermiculita
5.1.3.3 A base de celulose
5.1.3.4 A base de poliuretano
5.1.4 *Forros* (pág. 90)
5.1.4.1 A base de lã de vidro
5.1.4.2 A base de fibra de madeira

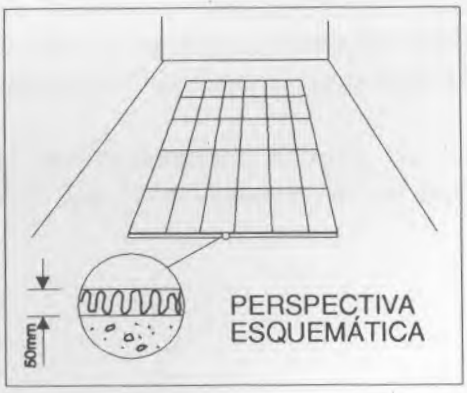
5.1.4.3 A base de vermiculita
5.1.4.4 A base de lã de rocha
5.1.5 *Ressonadores* (pág.93)
5.1.6 *Baffles* (pág.95)
5.1.6.1 Baffles de lã de vidro
5.1.6.2 Baffles de espuma de poliuretano
5.1.7 *Diversos* (pág. 97)
5.1.7.1 Tijolo
5.1.7.2 Concreto
5.1.7.3 Gesso
5.1.7.4 Madeira
5.1.7.5 Pisos
5.1.7.6 Assentos e platéia
5.1.7.7 Aberturas e outros

Notas e abreviações:

Tipo: nome ou sigla do produto
Condut. térmica: condutibilidade térmica; em Kcal/h.m.°C
Inflamabilidade: cert. = certificado.
Todas as informações contidas neste item foram fornecidas pelos fabricantes (mesmo quando não indicados).

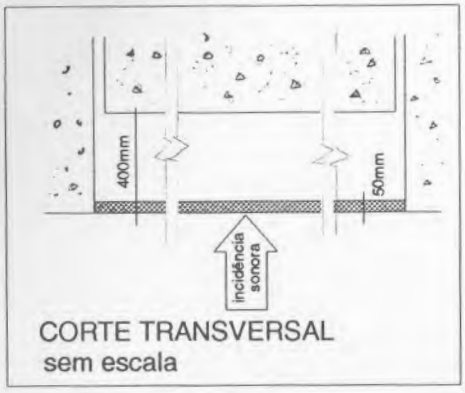
Montagem da Amostra:

piso = mantas depositadas sobre o piso da câmara reverberante, justapostas pelas laterais, geralmente com recobrimento das bordas laterais por sarrafos de madeira ou perfil de alumínio.



Fonte: teste do IPT - SP

forro suspenso = mantas justapostas pelas laterais, depositadas sobre grelhas de perfis de alumínio, com vãos de malhas subdivididas em três partes, em ambos sentidos, por sarrafos de madeira. A variação do "plenum" é indicada.



Fonte: teste do IPT - SP

Certificado e Data: Se refere ao coeficiente de absorção sonora, indica o organismo que fornece o certificado e data da emissão.

Fonte: se refere ao coeficiente de absorção sonora, porém são dados de fabricantes ou das fontes citadas. Não se sabe como foi montada a amostra e da confiabilidade dos dados.

Coeficiente de Absorção Sonora (α): É idealmente definido como uma fração do nível de potência sonora, que incide aleatoriamente sobre uma superfície e por ela absorvido. O coeficiente de absorção sonora obitido em câmara reverberante, às vezes apresenta valores superiores à unidade. Segundo a norma ASTM-C 423-90, isto deve-se ao efeito da difração. Adotar o valor máximo teórico para cálculos 1,00 (hum). A norma ISO 354, recomenda a manutenção da formulação matemática, para fins de uniformidade entre laboratórios. α em sabine métrico/m^2.

NR: "Noise Reduction" - Redução Sonora: Numa banda de frequência específica a diferença entre a média dos níveis de pressão sonora medidos em dois locais fechados ou salas, obtidos com uma ou mais fontes sonoras em um dos locais.

NRC: "Noise Reduction Class" - Coeficiente Médio de Absorção Sonora: Média aritmética dos coeficientes de absorção entre as frequências de 250, 500, 1000 e 2000 Hz, aproximada ao mais próximo número múltiplo de 0,05. O NRC é um índice que pode ser utilizado quando as baixas frequências não são importantes, como por exemplo, em escritórios ou locais onde só a fala interferirá. Sendo um número médio, é possível que dois materiais distintos com desempenho de absorção diferentes nas diversas faixas de frequência, tenham um mesmo NRC.

STC: "Sound Transmission Class" - Classe de Transmissão Sonora, ou CTS (adotado pela ABNT): Um indicador global das características de isolação sonora.

5.1.1 Produtos Fibrosos

5.1.1.1 Lã de vidro
5.1.1.2 Lã de rocha
5.1.1.3 Fibras de madeira
5.1.1.4 Fibras cerâmicas
5.1.1.5 Diversos (feltros, tapetes, tecidos, cortinas)

5.1.1. PRODUTOS FIBROSOS

5.1.1.1.1. Lã de Vidro — Fabricante : STA Marina — Descrição : Feltro em rolo

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C A 24°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
FSB-12 50	12	0,039	INCOMBUSTIVEL SEGUNDO FABRICANTE	piso 12 m²	Nº782056 IPT 05/09/90	50	0,16	0,42	0,60	0,94	0,95	1,00
FSB-12 75	12	0,039		"	Nº782055 IPT 05/09/90	75	0,22	0,72	0,97	1,07	0,90	1,02
FSB-16 25	16	0,036		"	Nº770441 IPT 27/03/90	25	0,10	0,29	0,51	0,71	0,81	0,00
FSB-16 50	16	0,036		"	Nº782054 IPT 05/09/90	50	0,17	0,55	0,77	0,92	0,97	1,01
FSB-20 25	20	0,033		"	Nº770442 IPT 27/03/90	25	0,12	0,33	0,59	0,81	0,90	0,93
FSB-20 50	20	0,033		"	Nº775516 IPT 10/11/89	50	0,21	0,50	0,84	1,00	0,99	1,03

5.1.1.1.1. Lã de Vidro — Fabricante: STA Marina — Descrição: feltro em rolo

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C a 24°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
FSB-16 25	16	0,036	INCOMBUSTIVEL SEGUNDO FABRICANTE	FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº770500 IPT 02/04/90	25	0.34	0.50	0.43	0.61	0.65	0.64
FSB-20 50	20	0,033		"	Nº776372 IPT 15/12/89	50	0.40	0.73	0.59	0.74	0.71	0.67

5.1.1.1.1. Lã de Vidro Fabricante : STª Marina Descrição: Painel Rígido

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C a 100°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
PSI-30 25	30	0,034	INCOMBUSTÍVEL SEGUNDO FABRICANTE	PISO 10,00 m²	Nº782053 IPT 05/09/90	25	0,08	0,27	0,50	0,87	0,90	1,04
PSI-30 50	30	0,034		PISO 10,00 m²	Nº781047 IPT 30/08/90	50	0,17	0,62	0,90	1,08	1,07	0,97
PSI-40 50	40	0,033		FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº782429 IPT 20/09/90	50	0,50	0,87	0,75	0,81	0,88	0,83
PSI-40 25	40	"		FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº776376 IPT 15/12/89	25	0,50	0,73	0,49	0,71	0,74	0,69
PSI-40 50	40	"		FORRO SUSPENSO PLENUM 100MM 12 M²	Nº782947 IPT 12/10/90	50	0,20	0,78	0,87	0,83	0,85	0,72
PSI-40 50	40	"		FORRO SUSPENSO PLENUM 200MM 12 M²	Nº782948 IPT 12/10/90	50	0,31	0,90	0,86	0,88	0,85	0,79

5.1.1.1.1. Lã de Vidro Fabricante : STª Marina Descrição: Painel Rígido

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C a 100°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
PSI-40 50	40	0,033	INCOMBUSTÍVEL SEGUNDO FABRICANTE	FORRO SUSPENSO PLENUM 300MM 12 M²	Nº782430 IPT 20/09/90	50	0,41	0,85	0,84	0,85	0,78	0,71
PSI-40 50	40	0,033		FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº776373 IPT 15/12/89	50	0,53	0,80	0,66	0,78	0,79	0,73
PSI-40 50	40	0,033		FORRO SUSPENSO PLENUM 500 MM 12 M²	Nº782420 IPT 20/09/90	50	0,52	0,77	0,71	0,83	0,81	0,83
PSI-40 25	40	0,033		PISO 10,00 m²	Nº776047 IPT 05/12/89	25	0,05	0,24	0,58	0,78	0,87	0,87
PSI-40 50	40	0,033		PISO 10,00 m²	Nº776045 IPT 05/12/89	50	0,12	0,69	0,90	1,02	1,05	1,06
PSI-60 25	60	0,032		FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº775801 IPT 24/11/89	25	0,50	0,74	0,60	0,73	0,79	0,78

5.1.1.1.1. Lã de Vidro Fabricante : S^TA Marina Descrição: Painel Rígido

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C a 100°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
PSI-60 50	60	0,032	INCOMBUSTÍVEL	FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº775492 IPT 10/11/09	50	0,53	0,77	0,72	0,00	0,02	0,74
PSI-60 25	60	0,032		PISO BORDAS C/ ALUMINIO 10,00 M²	Nº775510 IPT 10/11/09	25	0,05	0,27	0,60	0,94	1,03	1,05
PSI-60 25	60	0,032	SEGUNDO FABRICANTE	PISO BORDAS APAREN-TES 10,00 M²	Nº775510 IPT 10/11/09	25	0,06	0,27	0,67	0,96	1,06	1,04
PSI-60 50	60	0,032		PISO BORDAS C/ ALUMINIO 10,00 M²	Nº775515 IPT 10/11/09	50	0,13	0,75	0,96	1,03	0,00	0,96
PSI-60 50	60	0,032		PISO BORDAS APAREN-TES 10,00 M²	Nº775515 IPT 10/11/09	50	0,14	0,70	1,07	1,10	1,06	1,09

5.1.1.1.1. Lã de Vidro Fabricante : S^TA Marina Descrição: Painel Industrial

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
PI-100 25	80	-	INCOMBUSTÍVEL	FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº775003 IPT 24/11/09	25	0,46	0,74	0,53	0,70	0,74	0,72
PI-100 25	80	-		PISO 10,00 m²	Nº775002 IPT 24/11/09	25	0,03	0,29	0,75	1,02	1,06	0,95
PI 1100 25	100	-	SEGUNDO FABRICANTE	FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº775004 IPT 24/11/09	25	0,41	0,63	0,57	0,00	0,77	0,76
PI 1100 25	100	-		PISO BORDAS C/ ALUMINIO 10,00 M²	Nº775517 IPT 10/11/09	25	0,04	0,36	0,03	0,96	1,03	0,96
PI 1100 25	100	-		PISO BORDAS APAREN-TES 10,00 M²	Nº775517 IPT 10/11/09	25	0,05	0,37	0,01	1,05	1,09	1,00

5.1.1.1.1. Lã de Vidro Fabricante : STª Marina Descrição: Mantas Industriais

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C a 100°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
MI 540 50	40	0,033	INCOMBUSTIVEL SEGUNDO FABRICANTE	piso 11,1 m²	Nº776044 IPT 05/12/09	50	0,20	0,85	1,05	1,06	1,01	0,97
MI 540 75	40	0,033		piso 11,1 m²	Nº776041 IPT 05/12/09	75	0,38	1,04	1,14	1,07	1,06	1,05
MI 540 100	40	0,033		piso 11,1 m²	Nº776042 IPT 05/12/09	100	0,55	1,14	1,09	1,03	1,01	1,05
MI 560 100	60	0,032		piso 11,1 m²	Nº775973 IPT 01/12/09	100	0,60	1,06	1,11	1,12	1,00	1,05
MI 560 75	60	0,032		piso 11,1 m²	Nº775974 IPT 01/12/09	75	0,50	1,09	1,06	1,06	1,02	1,01
MI 560 50	60	0,032		piso 11,1 m²	Nº775975 IPT 01/12/09	50	0,33	0,99	1,01	1,05	1,02	0,94

5.1.1.1.1. Lã de Vidro Fabricante : STª Marina Descrição: Placa de Lã Aglomerada com resina sintetica

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
SHEDI-SOL BRANCO	60	0,027	Cat 4 codigo de edif. de SP segundo fabricante	FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº775491 IPT 10/11/09	15	0,22	0,14	0,13	0,54	0,55	0,55
SHEDI-SOL VERDE	60	0,027		FORRO SUSPENSO PLENUM 600 MM 12 M²	Nº739259 IPT 04/09/06	15	0,09	0,07	0,26	0,57	0,58	0,56
SHEDI-SOL	60	0,027		FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº781040 IPT 30/08/90	25	0,20	0,31	0,41	0,50	0,50	0,49

5.1.1.1.1. Lã de Vidro Fabricante : S^TA Marina Descrição: Manta de Lã de Vidro resinada com filme de polietileno

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C a 24°c	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Rollisol 12-AE-Preto	12	0,039		FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº776374 IPT 15/12/09	50	0,41	0,64	0,46	0,65	0,50	0,40
Rollisol 12-AE-Preto	12	0,039	PLASTICO AUTO EXTINGUIVEL	piso 12 m²	Nº776046 IPT 05/12/09	50	0,15	0,45	0,75	0,90	0,69	0,63
Rollisol 16-AE-Preto	16	0,036		FORRO SUSPENSO PLENUM 400 MM 12 M²	Nº776375 IPT 15/12/09	25	0,34	0,53	0,34	0,56	0,57	0,34
Rollisol 16-AE-Preto	16	0,036		piso 12 m²	Nº776043 IPT 05/12/09	25	0,10	0,30	0,54	0,84	0,80	0,45

5.1.1.1.1. Lã de Vidro Fabricante : S^TA Marina Descrição: Duto de ar condicionado

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C a 10 °c	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
DUTO-VID	80	0,026	-	4 PLACAS S/ PISO DA CAMARA, FACE ALUMINIO P/ BAIXO 11,7 M²	Nº658577 IPT 11/08/02	25	0,03	0,19	0,58	0,95	1,02	1,03

Obs. : Resistencia ao arraste de fibras até 30 m/s (insuflamento de ar) certificado do I.A. Falcão Bauer

5.1.1.1.2. Lã de Vidro Fabricante : Eucatex Descrição : Fibras de Lã de Vidro aglomeradas com resina

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/m.h.°C a 50 °C	Inflamabilidade	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensões (m) LARG. x COMPRIM.
Eucavid Feltro	16	0,029	TEMP. DE OPER. ATÉ 200 °C	FABRICANTE	25	0,23	0,49	0,50	0,77	0,87	0,92	1,24 x 0,00 a 24,00
	16	0,029		FABRICANTE	50	0,39	0,74	0,95	0,94	0,96	0,95	
Eucavid Painel	40	0,026	TEMP. DE OPER. ATÉ 200 °C	FABRICANTE	25	0,25	0,40	0,66	0,87	0,94	0,94	0,60 x 1,20
	32	0,026		FABRICANTE	25	0,23	0,51	0,60	0,87	0,94	0,94	
Eucavid Manta Branca	40	0,020	TEMP. DE OPER. ATÉ 500 °C	FABRICANTE	50	OBS. MANTA COSTURADA SOBRE TELA METALICA DE ARAME GALVANIZADO						1,00 x 3,00
	40	0,020			75							
	40	0,020		FABRICANTE	100							
	40	0,020			125							
Eucavid Isoduto	10	-	TEMP. DE OPER. ATÉ 200 °C	FABRICANTE	25	OBS. FELTRO REVESTIDO EM UMA DAS FACES COM PAPEL -KRAFT- E ALUMINIO INDICADO QUANDO HÁ NECESSIDADE DE BARREIRA DE VAPOR						1,20x 24,00
	12	0,30		FABRICANTE	50							1,20x 12,00
	16	0,29										

5.1.1.1.3. Lã de Vidro Fabricante : Somax Descrição : Painel de Lã de Vidro com colmeia de cartão no centro, revestido de tecido

Tipo	Inflamabilidade	Densid. Superf. Kg/m²	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	400	NRC
DS 90	CLASSE1 BS476 RESISTENTE À ABRASAO	2,5	FABRICANTE SEGUNDO ISO 354 DE 1985 E BS 3638 DE 1987	16	0,02	0,08	0,43	0,87	0,88	0,9	0,55

Obs. : Acabamento em tecido lavavel, com varias cores e padronagens. Indicado para revestimento de paredes.

5.1.1.2. Lã de Rocha Fabricante : Fiberglas Descrição : Material com fibras longas de lã de rocha , aglomeradas com resina

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Certificado e Data	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	NRC	Dimensões (m)
Mantas		à 100 °C											
MS 20	32	0.039			50	0.35	0.40	0.74	0.00	0.91	0.96	0.75	12.00
MS-20	32	0.039			100	0.84	0.90	1.10	1.11	1.09	1.17	1.07	
MS 30	40	0.030			-			-					×
MS-40	64	0.037	SEGUNDO FABRICANTE	Realizado	50	0.50	0.50	0.91	1.10	1.05	1.06	0.90	6.00
MS-40	64	0.037		no	100	0.87	1.23	1.19	1.15	1.12	1.09	1.17	
Feltro			INCOMBUSTIVEL NÃO SE DEFORMA, ATÉ 750 °C	Lab. da UFSC em 10/11/88									0.00
FS-10	20	0.044											×
FS 16	25	0.041											6.00
Painels													
PS-50	80	0.037		Piso 10.8 m²									12.00
PS-60	96	0.034											×
PS-70	112	0.034											6.00
PS-80	128	0.035											
Flocos Amorfos	96 (embalado)	-	NAO SE DEFORMA, ATÉ 1000 °C			OBS. UTIL PARA PREENCHIMENTO DE FRESTAS. NAO ABSORVE UMIDADE							

5.1.1.3.1. Fibras de Madeira Fabricante : Eucatex Descrição : Chapa de Fibra de Eucalipto

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Fonte	Espessura mm	NRC	Dimensões (m)	Observações
Isolante Simples	260	0,043		Fabricante	10	-	12,20 × 24,40	UTILIZACAO PARA FORROS E DIVISORIAS
	260	0,043			12	0,30		
Isolante Super	230	0,031	-	Fabricante	12,7	-	12,20 × 24,40	UTILIZACAO PARA PISO FLUTUANTE, FORRO, DIVISORIAS, DUTOS, BASE ANTI-VIBRATORIA, ETC.
	230	0.031			25,4	-		
	230	0.031			30,1	-		
	230	0.031			50,8	0,43		
	230	0,031			76,2	-		
	230	0,031			101,6	0,48		
Isolante Revestido	260	0,043		Fabricante	12	0,30	12,20 × 24,40	UTILIZAÇÃO PARA FORROS E DIVISORIAS

5.1.1.3.2. Fibras de Madeira Fabricante : Climatex Descrição : Chapa de fibra de Madeira mineralizada prensada com cimento

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e Área da amostra	Certificado e Data	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensões (m)
C-25 natural	440	0,032	RETARDANTE AO FOGO - CLASS. F-30 PELA NORMA DIN 4102	piso 11,52 m²	nºLMCC -001/90	25	0.03	0,10	0,23	0,59	0,81	0,62	4,04 × 1,98
gessado					Lab da UFSM de 08/11/90	25	–	–	–	–	–	–	
C-25/248 natural	440	0.032		piso 11,52 m²	"	25	0,03	0,10	0.23	0,59	0,81	0.62	0,04 × 2.40
gessado						25	–	–	–	–	–	–	

5.1.1.4. Fibras Ceramicas Fabricante : Morganite Descrição : Fibras Cerâmicas a base de silica e alumina

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/ m.h.°C a 50 °C	Inflamabilidade	Certificado e Data	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	NRC	Dimensões (m)
Manta Kao-wool	64	0.023	incombustível segundo fabricante	nºRAL-A06-343 Riverbank Acoustical Labs. MONTAGEM PISO 13 m²	25	0.10	0.29	1,00	1.04	0.99	0.90	0.05	7,62 × 0,61 em rolo
Manta Kao-wool	96	0.023			25	0,12	0,35	0.99	0.00	0.90	0,91	o.00	
Manta Kao-wool	120	0.023			25	0.15	0.50	0.92	0.91	0.91	0.94	0.00	
Manta Kao-wool	64	0.023			51	0.27	0,92	1,01	1.01	1.03	1,10	1.00	
Manta Kao-wool	96	0.023			51	0,33	0,92	0,03	0.09	0.92	0,91	0.90	
Manta Kao-wool	120	0.023			51	0.42	0.00	0,72	0.06	0,92	1.02	0,05	

5.1.1.4. Fibras Cerâmicas Fabricante : Morganite Descrição : Fibras Cerâmicas a base de silica e alumina

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/m.h.°C	Inflamabilidade	Certificado e Data	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	NRC	Dimensoes (m)
Placa Kao-wool	270 media	0,40	incomb. segundo fabric.	Nº RAL-A86-343 RIV. ACOUST. LABS.	25	0,26	0,41	0,40	0,47	0,58	0,65	0,45	0,91 x 0,61 OU SOB ENCOMENO
Flocos Amorfos	Variavel	-	"	Obs. : Util para preenchimento de frestas, vedacao									

			Certificado e Data	Esp mm	Perda na transmissao de sons aéreos 125	250	500	1000	2000	4000	STC
Manta Kao-wool	64		Nº RAL-A86-343 RIV. ACOUST. LABS.	25	8	10	11	12	19	26	14
	96			25	10	12	12	19	24	34	17
	128			25	12	14	13	18	31	45	19
Placa Kao-wool	270 MEDIA		"	25	17	19	22	28	39	30	27

5.1.1.5.1. Diversos Fabricante : Rhodia Descrição : Manta de Poliester extrudado filamentos interligados por agulhagem

Tipo	Perfuração cm²	Condut. Térmica Kcal/m.h.°C	Inflamabilidade	Densidade Superficial Kg/m²	Montagem e área da amostra	Certificado e Dat.	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Didin		a 40 °C	AUTO-EXTINGUIVEL SEGUNDO FABRICANTE		Piso da Câmara 10 m²	IPT Nº 470 997 DE 18/02/76		0,03	0,05	0,12	0,20	0,30	0,50
OP60	50	0,024		600			5,9 mm						
OP60	10	0,025		600									
OP40	50	0,024		400			3,8 mm						
OP40	10	0,025		400									
OP20	50	0,023		200			2,9 mm						
OP20	10	0,025		200									

Dimensões : em bobinas comprimento 100 m , larg. 2.15 ou 4.30 m

Obs. : Indicado para revestimento de dutos de ar condicionado. Com velocidades de até 20 m/s. não ocorre arrastamento de filamentos (cert. nº 219 - PMO/76 emitido pelo CTA)

5.1.1.5.2. Carpetes Fabricante : Fademac Descrição : Manta com 100% de Polipropileno

Tipo	Condut. Térmica Kcal/m.h.oC	Inflamabilidade	Densidade Superficial Kg/m²	Montagem e área da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Mural-flex		SATISFAZ CONFORME CERTIF. IPT METODO ASTM 2859	0,48	piso 11,0 m²	Nº799210 IPT 08/07/92	3,7	0,02	0,04	0,09	0,10	0,29	0,40
Carpete Boucle Nº632			0,69	piso 12 m²	Nº702090 IPT 06/09/90	4,5	0,03	0,07	0,17	0,30	0,53	0,69

5.1.1.5.3. Diversos

Descrição	Fonte	Espessura Total mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Feltro de fibra natural	ABNT NB-101 conforme Hans W. Bobran	5	0,09	0,12	0,18	0,30	0,55	0,50
Tapete 5mm sobre base de feltro de 5mm	ABNT NB-101 conforme Hans W. Bobran	10	0,07	0,21	0,57	0,60	0,87	0,72
Carpete com pelos 8mm sobre manta de 3mm	BUILDING RESEARCH STATION USA CONFORME DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO VIDEO LTDA	11	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,25
Carpete com pelos 10mm sobre concreto	BUILDING RESEARCH STATION USA CONFORME DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO VIDEO LTDA	10	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,47
Tecido de Algodão esticado liso	ABNT NB-101 conforme Hans W. Bobran	-	0,04	-	0,13	-	0,32	-
Tecido de Juta de fio grosso	ABNT NB-101 conforme Hans W. Bobran	-	0,05	-	0,07	-	0,12	-
Cortina de Algodão 400 GR/M2 dobrado em 1/2 área	BUILDING RESEARCH STATION USA CONFORME DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO VIDEO LTDA	-	0,07	0,37	0,49	0,81	0,66	0,54
Idem dobrado em 3/4 de área	BUILDING RESEARCH STATION USA CONFORME DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO VIDEO LTDA	-	0,04	0,23	0,40	0,57	0,53	0,40
Cortina de veludo 500 GR/M2 dobrado em 1/2 área	BUILDING RESEARCH STATION USA CONFORME DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO VIDEO LTDA	-	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65

5.1.2 Produtos Celulares

5.1.2.1 Espuma de poliuretano
5.1.2.2 Concreto celular
5.1.2.3 Vermiculita expandida
5.1.2.4 Cortiça
5.1.2.5 Borracha
5.1.2.6 Vidro

Nota: Os coeficientes da Tabela 5.1.2.1.3 são relativos ao recheio e não ao produto acabado, já que este apresentará superfície rígida, pouco porosa, como acabamento final. Portanto, estes coeficientes de absorção não serão válidos para cálculos.

5.1.2. Produtos Celulares

5.1.2.1.1. Espuma de Polluretano Fabricante : Illbruck Descrição : Espuma flexivel com cunhas

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e area da amostra	Certificado e data	Esp mm	Coeficiente de Absorcao sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensoes (m)
Sonex		a 20 °C			IPT-12/90								
20/35	35	0.031			Nº766445	200	0,04	0,12	0,20	0,44	0,60	0,73	Placas de 1,00 X 1,00
35/35	35	0,031			Nº766446	350	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,09	
50/75	35	0,031	AUTO-EXTINGUIVEL	Piso 12 m²	Nº766442	500	0,07	0,32	0,72	0,00	0,97	1,01	
50/125	35	0,031			Nº766441	500	0,09	0,32	0,50	0,73	0,00	0,95	
75/75	35	0,031			Nº766444	750	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00	
75/125	35	0,031			Nº766443	750	0,14	0,55	0,96	1,06	1,02	1,09	
Sonex com chumbo	–	–		Piso 12 m²	IPT-07/92 Nº799050	42,2	0,20	0,21	0,25	0,35	0,40	0,50	"

Tipo				Montagem e area da amostra	Certificado e data	Esp mm	Perda na tranmissao de sons aereos 125	250	500	1000	2000	4000	STC
Sonex com chumbo				Portico 2,02 m²	IPT 07/92 Nº799050	44,5	24	26	29	42	53	66	36

Painel de chapa de aco 2 mm + espuma lisa 5 mm + pelicula de chumbo 0,25 mm + Sonex 35/35

5.1.2.1.2. Espuma de Polluretano Fabricante : Art espuma Descrição : Espuma sobre folha de chumbo

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e area da amostra	Certificado e data	Esp mm	Coeficiente de Absorcao sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensoes (m)
Art lustic	35	–	AUTO-EXTINGUIVEL	piso 12 m²	IPT 10/12/91 Nº793535	60,3	0,27	0,77	0,63	0,67	0,71	0,85	

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e area da amostra	Certificado e data	Esp mm	Perda na transmissao de sons aereos 125	250	500	1000	2000	4000	STC
60/55	35	–	AUTO-EXTINGUIVEL	piso 12 m²	IPT 10/12/91 No793736	62,3	25	22	31	47	60	70	33

Obs. : Painel de chapa de aco 2 mm + placa de espuma esculpida 30 mm + espuma lisa de 25 mm + pelicula de chumbo 0,3 mm + espuma lisa de 10 mm compactada par 5 mm

Espessura final de 60 mm

5.1.2.1.3. Espuma de Poliuretano Fabricante : L'Avalle Descrição : Painel de aglomerado impermeavel com recheio de poliuretano (23 mm)

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Fonte	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensoes (m)	NRC
Painel	30 a 35 ou 35 a 40	0,016	AUTO-EXTINGUIVEL	Fabricante	35	0,12	0,18	0,27	0,47	0,62	0,42	2,40 x 1,22	0,32

Tipo		Fonte	Esp mm	Perda na transmissao de sons aereos 125	250	500	1000	2000	4000	STC
Painel		Fabricante	35	20	24	30	40	45	43	20

Obs. : 30 a 35 Kg/m³ - acabamento em aglomerado
35 a 40 Kg/m³ - acabamento em cimento-amianto

5.1.2.2.1. Concreto Celular Fabricante : Siporex Descrição : Blocos de Concreto celurar autoclavado

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.C	Inflamabilidade	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensoes (m)
Blocos 0,30	~ = 300	0,10 a 0,13	INCOMBUSTIVEL 6 H SEGUNDO FABRICANTE	Fabricante	100	0,02	-	0,19	-	0,34	-	100x100 x200 a 100
0,45	= 450											100x500 x50 a 200
0,50	~ = 500											"

Tipo		Fonte	Espessura mm	Perda na transmissão de sons aéreos 125	250	500	1000	2000	4000	STC
Blocos		Fabricante	100	35	26	26	36	43	50	34

5.1.2.2.2. Concreto Celular Fabricante : Sical Descrição : Blocos de concreto celular autoclavado

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/m.h.°C	Inflamabilidade	Fonte	Espessura mm	Observações	STC	Dimensões (m)
Blocos BL laje mista	410	0,083	Parede 10 cm corta-fogo 3 h segundo fabricante	FABRICANTE	100	Parede nao revestida	37 dBA	sob encomenda
BA alv. vedação	410	0,083			150	Parede nao revestida	30 dBA	600x375x de 100 a 600
BP alv. auto-port.	600	0,083			250	Parede dupla com blocos de 10 cm separados por 05 cm de la de vidro	55 dBA	600x375x de 100 a 600
Painel armado	550	0,083			350	Parede dupla com blocos de 15 cm separados por 05 cm de la de vidro	57 dBA	sob encomenda

5.1.2.3. Vermiculita Expandita Fabricante : Eucatex Descrição : Produtos a base de Vermiculita

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/m.h.°C	Inflamabilidade	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensões (m)
Argamassa Isotemp 16	330	0,10	INCOMBUSTIVEL SEGUNDO FABRICANTE	Fabricante	50	-	0,32	0,47	0,00	0,72	-	-
10	280	0,09										
110	250	0,08										
Chapas Isolante Fibraroc	400	0,075	DIFICILMENTE INFLAMAVEL SEGUNDO FABRICANTE	"	10	-	0,15	0,35	0,65	0,70	0,063	1,20 x 3,00
					15							
					30							
					45							
Isoplac	404	-	INCOMBUSTIVEL SEGUNDO FABRICANTE	"	de 20 a 100	-						400 x 300

Obs. : Indicado para o isolamento sonoro e miolos corta-fogo para portas e paredes

5.1.2.4. Cortiças

Tipo	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
em placas	Documentation Française du Batiment (marca S.N.C.I)	25	0,00	0,00	0,37	0,60	0,30	0,47
em placas	ABNT NB-101 conforme Hans W.Bobran	19	0,00	0,02	0,06	0,19	0,21	0,22
em placas coladas no chão	Building Research Station - USA Conforme Knudsen e Harris	0,0	0,00	0,02	0,00	0,19	0,21	0,22
idem encerradas	Building Research Station - USA Conforme Knudsen e Harris	0,0	0,04	0,03	0,05	0,11	0,07	0,02

5.1.2.5. Borracha

em rolo	ABNT NB-101 conforme Hans W. Bobran	3	0,04	0,04	0,00	0,12	0,03	0,10

5.1.2.6. Vidro

Tipo	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Vidraça de janela	ABNT NB-101 conforme Hans W. Bobran	-	-	0,04	0,03	0,02	-	-
Vidraça de janela	General Building Material and Furnishing - USA conforme Knudsen e Harris	-	0,35	0,25	0,10	0,12	0,07	0,04
Tijolo de vidro placas de 0,3 a 0,6 m	Documentation Française du Batiment, (marca Verdex ACR) ensaios em tubo de Kundt	40	0,45	0,00	0,70	0,73	0,99	0,05

5.1.3 Argamassas e Fibras Projetadas

5.1.3.1 A base de lã de vidro
5.1.3.2 A base de vermiculita
5.1.3.3 A base de celulose
5.1.3.4 A base de poliuretano

5.1.3. Argamassas e fibras projetadas

5.1.3.1. A base de lã de vidro — Fabricante : STAMarina

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e area da amostra	Certificado e Data	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Pisto-fibra amarelo	60	0.027	INCOMBUSTIVEL SEGUNDO FABRICANTE	VER OBSERV. **	Nº733427 IPT 12/05/86	de 30 a 40	0.07	0.33	0.64	0.75	0.89	0.96

5.1.3.2. A base de Vermiculita — Fabricante : Eucatex

Isocustic	360 a 400	-	INCOMBUSTIVEL SEGUNDO FABRICANTE	-	Fonte Fabricante	10	-	0.15	0.35	0.65	0.70	0.65

** Obs. : Montagem= Aplicado sobre 10 telhas de cimento amianto, colocadas no piso da câmara
Área= 11 m²

5.1.3.3. A base de Celulose — Fabricante : Tratamento Termo-Acústico Ltda.

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Térmica Kcal/ m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e área da amostra	Certificado e Data ou Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Acustic-Mil	-	-	-	-	Fabricante	-	0,05	0,24	0,65	0,07	0.99	1.00
Celu-Jet	56	0,036	AUTO EXTINGUIVEL SEGUNDO FABRICANTE	-	Nº713455 IPT 14/05/85	25 a 30	0,06	0,22	0,60	0,07	0,90	1.00

5.1.3.4. A base de Poliuretano Pulverizado — Fabrican te : L'Avalle

Espuma Pulverizada	40	0,016	AUTO EXTINGUIVEL SEGUNDO FABRICANTE	-	Fabricante	25	0,12	0,10	0,27	0,19	0,62	0,22

5.1.4 Forros

5.1.4.1 A base de lã de vidro
5.1.4.2 A base de fibra de madeira
5.1.4.3 A base de vermiculita
5.1.4.4 A base de lã de rocha

5.1.4. Forros

5.1.4.1.1. Lã de Vidro Fabricante : STA Marina Descrição : Placa de Lã de Vidro aglomerada com resina sintetica revestida de filme plastico decorativo

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/ m.h.C	Inflamabilidade	Montagem e area da amostra	Certificado e Data	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensoes (m)
Forro-vid K-60 Glacial	60	0,027	Classe TRB	FORRO SUSPENSO, PLENUM 400MM 12M²	Nº775490 IPT 10/11/89	25	0,20	0,30	0,40	0,51	0,25	0,11	1,20 x 0,60
Forro-vid Marfim	00	-	-	"	Nº702946 IPT 12/10/90	20	0,16	0,32	0,45	0,53	0,33	0,12	"
Forro-vid Estampe P.A.	00	-	-	"	Nº701124 IPT 01/08/90	20	0,23	0,12	0,22	0,70	0,36	0,10	"
Forro-vid Estampe	00	-	-	"	Nº701123 IPT 01/08/90	15	0,17	0,10	0,15	0,50	0,43	0,30	"
Forro-vid K-100 ALFA	100	0,026	-	"	Nº775400 IPT 10/11/89	20	0,11	0,10	0,06	0,45	0,27	0,09	"
Forro-vid Plafon 50	50	-	-	"	Nº775409 IPT 10/11/89	25	0,30	0,59	0,48	0,49	0,29	0,18	"
Forro-vid	60	-	-	"	Nº770501 IPT 02/04/90	20	0,24	0,52	0,44	0,49	0,27	0,10	"

5.1.4.1.2. Lã de Vidro Fabricante : Eucatex Descrição : Painel de lã de vidro revestido em uma face com filme vinílico

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/ m.h.C	Inflamabilidade	Fonte	Espessura mm	NRC	Dimensoes (m)
Euca-vid Coral Linho	46	0,023	Classe A NBR 9442	Fabricante	20	0,76	0,6 x 1,20

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
BIBLIOTECA

5.1.4.2. Fibra de Madeira Fabricante : Eucatex Descrição : Painel de fibra de madeira prensada, estruturada

Tipo	Condut. Térmica Kcal/ m.h.C	Inflamabilidade	Densidade Superficial Kg/m²	Fonte	Espessura mm	NRC	Dimensões (m)
Forro-pacote	0.043	-	4.5	Fabricante	-	0.17	0.5 x 1.25
Acustico Perfurado A	0.043	-	4.5	Fabricante	19	0.50	0.30 x 0.30
Acustico Perfurado B	0.043	-	4.5	Fabricante	19	0.50	0.60 x 0.30
Acustico Branco	0.043	-	4.0	Fabricante	12	0.17	0.30 x 0.30
Acustico Perfurado	0.043	-	4.0	Fabricante	12	0.44	0.30 x 0.30
Acustico Pin-point	0.043	-	4.0	Fabricante	12	0.33	0.30 x 0.30
Isolante BE	0.075	-	6.5 7.0	Fabricante	15	0.12	0.60x 1.20 0.50x 1.25

5.1.4.3. Vermiculita expandida Fabricante : Eucatex Descrição : Painel a base de Vermiculita com uma face pintada com tinta acrilica

Tipo	Condut. Termica Kcal/ m.h.C	Inflamabilidade	Dens. Superficial Kg/m²	Fonte	Espessura mm	NRC	Dimensoes (m)
Fibraroc	0.075	-	6.5 7.0	Fabricante	15	0.12	0.60x1.20 0.50X1.25

5.1.4.4. Lã de Rocha Fabricante : Eucatex Descricao : Painel de lã de rocha

Tipo	Condut. Térmica Kcal/ m.h.C	Inflamabilidade	Dens. Superficial Kg/m²	Fonte	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	NRC	Dimensões (m)
Eucaroc Perf.A regular	0.07	classe A	4.5	Método de tubo	-	0.31	0.39	0.47	0.60	0.77	0.79	0.56	0.50 x 1.25
Perf.B Irregular				Câmara de ar 50 mm	-	0.32	0.21	0.30	0.42	0.52	0.60	0.42	0.62 x 1.25
Text. Pin-point				Lab. Igor Sreznewky	-	0.14	0.12	0.20	0.20	0.36	0.30	0.29	0.62 x 1.25
Juta				Segundo Fabricante	-	0.07	0.12	0.10	0.12	0.12	0.30	0.12	0.62 x 1.25
Azteca					-	0.07	0.12	0.10	0.12	0.12	0.30	0.12	0.62 x 1.25
Coral					-	0.07	0.12	0.10	0.12	0.12	0.30	0.12	0.62 x 1.25

5.1.5 Ressonadores

5.1.5. Ressonadores

5.1.5.1. Sistemas Absorventes Especiais

Tipo	Fonte	Coeficiente de Absorção sonora α					
		125	250	500	1000	2000	4000
Caixões de chapa perfurada, com chapas de feltro de lã de vidro de 30 mm, suspensos a 100 mm	ABNT NB101 Conforme Hans W. Bobran	0,30	0,43	0,61	0,62	0,85	0,60
Chapa perfurada, forrada de lã de vidro espessa, na frente 40-50 mm de espaço vazio		0,01	0,03	0,10	0,16	0,17	0,20
Chapa perfurada de 3 mm, proporção de furos 16%, de 5 mm de diametro, forrada de fibra de mineral, na frente de 40-50 mm de espaço vazio.		0,01	0,10	0,19	0,25	0,46	0,21
Chapa de cimento amianto, 4 mm, furos na proporção de 15% de 5 mm de diametro, na frente de tecido e feltro de lã mineral de 50 mm (dens. 50 Kg/m³)		0,20	0,60	0,91	0,82	0,92	0,76

5.1.6 Baffles

5.1.6.1 Baffles de lã de vidro
5.1.6.2 Baffles de espuma de poliuretano

5.1.6. Baffles

5.1.6.1. Lã de Vidro Fabricante : STA Marina Descricao : Lã de vidro revestida completamente com filme de polietileno auto-extinguivel

Tipo	Massa Volum. Kg/m³	Condut. Termica Kcal/m.h.°C	Inflamabilidade	Montagem e area da amostra	Certificado e Data	Esp mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000	Dimensoes (m)
Baffle /50 com filme 0.05 mm	40	-	-	5 fileiras 3 painels vert. 0,60m do piso camara separacao	Nº770904 IPT 07/06/09	50	0,13	0,30	0,70	1,02	0,93	0,60	1,20 × 0,60
Baffle /100 com filme 0.10 mm	40	-	-	fileiras 0,50m	Nº770905 IPT 07/06/09	50	0,15	0,39	0,82	1,02	0,69	0,43	1,20 × 0,60
Baffle TP tela de poliester de 0,30mm	40	-	-		Nº779510 IPT 07/06/09	50	0,13	0,36	0,69	0,94	1,01	0,87	1,20 × 0,60

5.1.6.2. Espuma de Polluretano Fabricante : Trorion Descricao : Espumas com cunhas nas duas faces e anels para fixação

Baffle	35	-	AUTO-EXTINGUIVEL	ver OBS. ** **	Nº769324 IPT 31/03/09	70	0,20	0,46	0,74	1,15	1,26	1,29	0,00 × 1,20

** OBS. : 2 fileiras, 3 paineis montados verticalmente a 0,50m do piso camara.
** separação fileira 1,20 a 0,60m

5.1.7 Diversos

5.1.7.1 Tijolo
5.1.7.2 Concreto
5.1.7.3 Gesso
5.1.7.4 Madeira
5.1.7.5 Pisos
5.1.7.6 Assentos e platéia
5.1.7.7 Aberturas e outros

5.1.7. Diversos

5.1.7.1. Tijolo

Descrição	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Parede de tijolo pintada	W.C. Sabine segundo Knudsen e Harris	450	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Parede de tijolo não pintada	W.C. Sabine segundo Knudsen e Harris	450	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Blocos de tijolo vazado com aberturas expostas (15 x 10 x 20 cm)	J.I. Pizzuti Lab. da U.F.S.M. (piso)	200	0,05	0,20	0,20	0,32	0,32	0,40
Idem. cheios de casca de arroz	J.I. Pizzuti Lab. da U.F.S.M. (piso)	200	0,55	0,95	0,60	0,05	0,00	0,60

5.1.7.2. Concreto

Descrição	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Bloco de concreto rustico	General Building Mat. and Furnishing segundo Knudsen e Harris	–	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Bloco de concreto pintado	General Building Mat. and Furnishing segundo Knudsen e Harris	–	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Concreto despejado sem pintar	General Building Mat. and Furnishing segundo Knudsen e Harris	–	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Concreto despejado pintado ou envernizado	General Building Mat. and Furnishing segundo Knudsen e Harris	–	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

5.1.7.3. Gesso

Gesso/massa fina acab. liso sobre tijolo ou telhas	General Building Mat. and Furnishing segundo Knudsen e Harris	–	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Gesso cartonado (gypsum) sobre sarrafos de 40 cm	General Building Mat. and Furnishing segundo Knudsen e Harris	12,5	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09

5.1.7.4. Madeiras

Espessura do painel (aglomerado)	General Building Mat. and Furnishing segundo Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda.	6	0,60	0,30	0,10	0,09	0,09	0,09
Espessura do painel (aglomerado)	General Building Mat. and Furnishing segundo Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda.	10	0,20	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11

5.1.7.5. Pisos

Descrição	Fonte	Espessura mm	Coeficiente de Absorção sonora α 125	250	500	1000	2000	4000
Concreto ou ceramica	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO KNUDSEN.HARRIS	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Linoleo, asfalto, borracha ou placa de cortiça sobre concreto	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO KNUDSEN.HARRIS	-	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Taco colado em concreto	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO KNUDSEN.HARRIS	-	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Taco colado em concreto	ABNT NB 101 SEGUNDO HANS BOBRAN	-	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17
Piso de madeira	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO KNUDSEN.HARRIS	-	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07

Obs. : Ver Tapetes em 5.1.1.5. Diversos - produtos fibrosos

.1.7.6. Assentos e plateia (unidade x A)

Descrição	Fonte	Absorção sonora A 125	250	500	1000	2000	4000
Assento/desocupado estofado em couro	ABNT NB 101 SEGUNDO HANS BOBRAN	0,13	-	0,15	-	0,07	-
Assento/desocupado estofado em tecido	ABNT NB 101 SEGUNDO HANS BOBRAN	0,20	0,20	0,20	0,20	0,34	0,34
Uma pessoa com assento	ABNT NB 101 SEGUNDO HANS BOBRAN	0,33	-	0,44	-	0,46	-
Assento/muito estofado com tecido	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO E VIDEO LTDA.	0,33	0,42	0,46	0,51	0,51	0,46
assento/de madeira desocupado	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO E VIDEO LTDA.	0,05	0,06	0,00	0,07	0,06	0,07

Obs. : $A = S\alpha$
S em m^2

5.1.7.7. Aberturas

Descrição	Fonte	Coeficiente de Absorção sonora α					
		125	250	500	1000	2000	4000
Grelhas de ventilação	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO KNUDSEN E HARRIS	-	-	0,15	0,50	-	-
Mezanino profundo com bancos estofados	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO KNUDSEN E HARRIS	-	-	0,50	1,00	-	-
Palco com poucos móveis	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO E VIDEO LTDA.	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Palco com muitos móveis	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO E VIDEO LTDA.	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
Ar (sabins por 100 m³)	GENERAL BUILDING MAT. AND FURNISHING SEGUNDO DIGITAL TECNOLOGIA DE AUDIO E VIDEO LTDA.	-	-	-	-	7,50	23,6

5.2 Gráficos Comparativos

Estudaremos mais a fundo os produtos constituídos por fibras, no caso a lã de vidro, por serem os melhores absorventes sonoros. Nestes produtos, a absorção se dá via atrito viscoso (aberturas entre as fibras), como na maioria dos materiais porosos, e também por perdas internas (absorção da energia vibratória adquirida pelas próprias fibras)
A forma de montagem, espessura e densidade influenciam no desempenho acústico dos materiais. Através dos dados levantados nas fichas técnicas, os gráficos mostram visualmente os diferentes resultados e estão divididos da seguinte forma:

5.2.1 *Produtos de Lã de Vidro* (pág.103)
5.2.1.1 Efeitos da espessura
Gráficos de 1 a 6
5.2.1.2 Efeitos da densidade
Gráficos de 7 a 8
5.2.1.3 Efeitos da montagem
Gráficos de 9 a 18
5.2.1.4 Efeitos da película de proteção
Gráficos de 19 a 21
5.2.2 *Produtos diversos* (pág. 118)
5.2.2.1 Para ambientes de trabalho pesado
Gráficos 22 e 23
5.2.2.2 Para ambientes de trabalho leve
Gráfico 24
5.2.2.3 Materiais projetados
Gráfico 25
5.2.2.4 Forros
Gráficos 26 e 27
5.2.2.5 Baffles
Gráfico 28

Notas e abreviações:

Montagem de piso – amostra testada no piso da câmara. O material terá este desempenho sempre que colocado contra uma superfície rígida.
Montagem do forro com *plenum* – significa que o material terá este desempenho sempre que afastado da superfície rígida.
α – Coeficiente de absorção sonora
f – Frequência em Hertz

Produtos de lã de vidro - Fabricante: Sta. Marina
FSB® – Feltro flexível
PSI® – Painel rígido
MI® – Manta industrial
PI® – Painel industrial

Rollissol® – Feltro ensacado em plástico auto-extinguível
Shedisol® – Placa resinada, revestida em uma das faces com filme poliester.
Os tipos do produto vem seguidos de sua densidade e espessura.
Por exemplo:
FSB-12-50 – feltro com densidade de 12 Kg/m^3 e 50 mm de espessura.

5.2.1 Produtos de Lã de Vidro

5.2.1.1 Efeitos da Espessura

Na literatura internacional encontramos o efeito da espessura resultando em melhora na eficiência em baixas frequências. Os gráficos 5 e 6 comprovam esta teoria quando comparados a materiais com densidade de 40 e 60 Kg/m³. Porém, quanto mais baixa a densidade (gráfico 1) esta tendência diminui, tornando-se mais expressiva entre 250 e 1000 Hz (gráficos 1, 2, 3).

Então, concluímos que para materiais fibrosos:

Montagem de material contra superfícies rígidas.

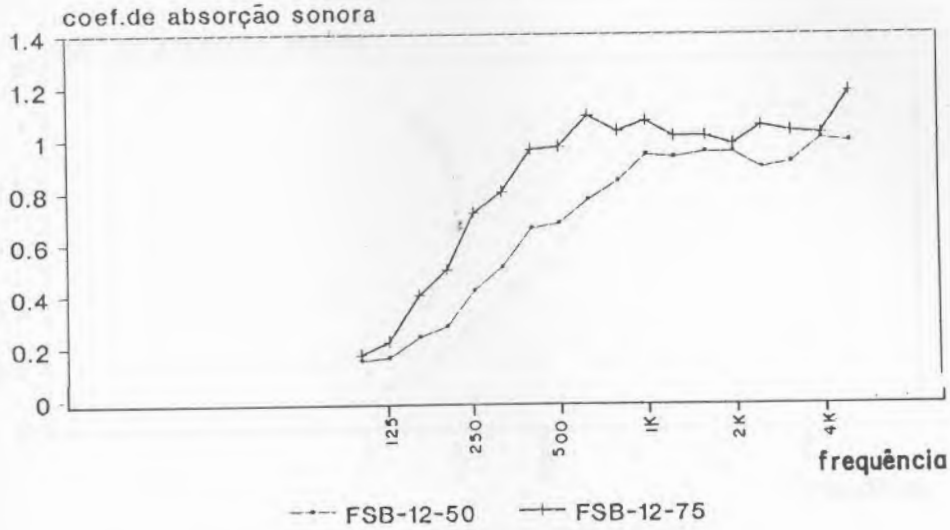
- com baixas densidades (de 12 a 30 Kg/m³) – quanto maior a espessura melhor desempenho em médias frequências.
- densidades de 40 e 60 Kg/m³ – quanto maior a espessura melhor desempenho em baixas frequências

Montagem de material com espaçamento de ar

- varia conforme camada de ar, tendendo a melhorar entre 250 e 4000 Hz.

Gráfico 1

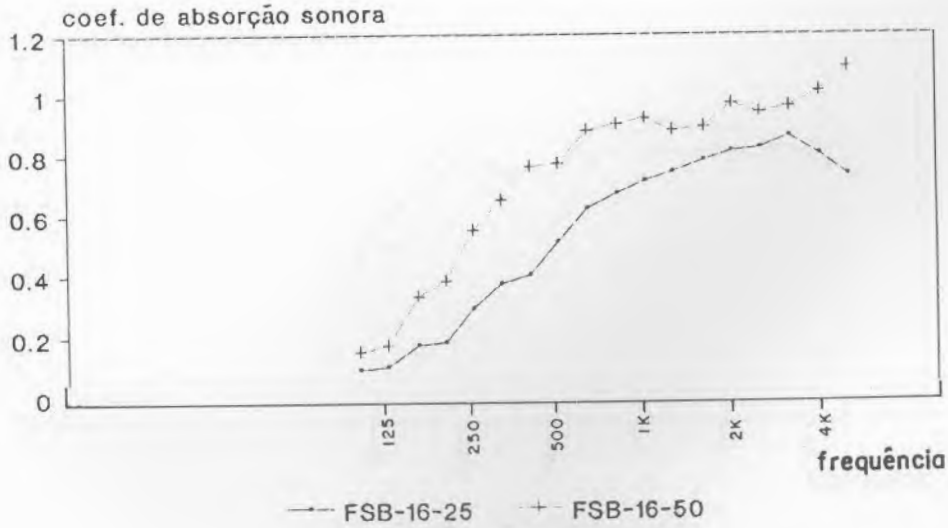
mesma montagem, mesma densidade,
espessura diferente



Montagem : Piso

Gráfico 2

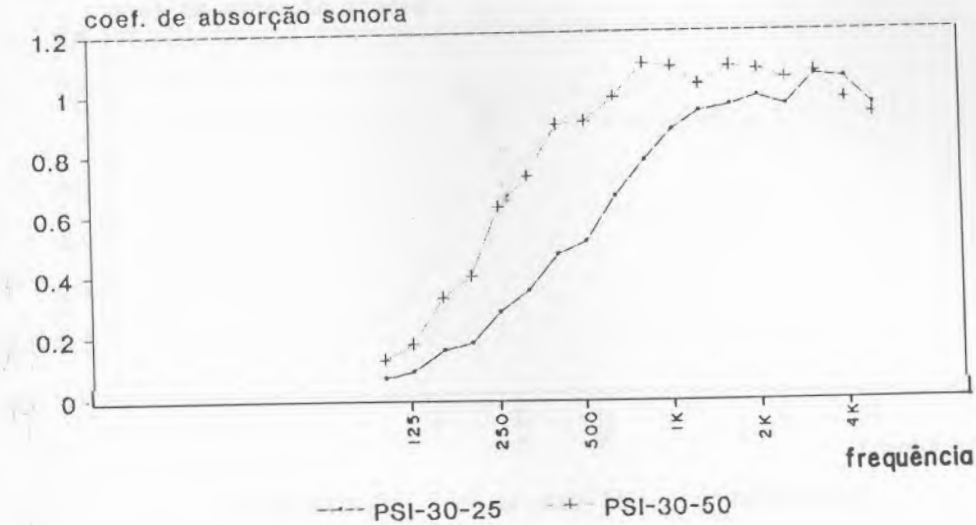
mesma montagem, mesma densidade
espessura diferente



Montagem : Piso

Gráfico 3

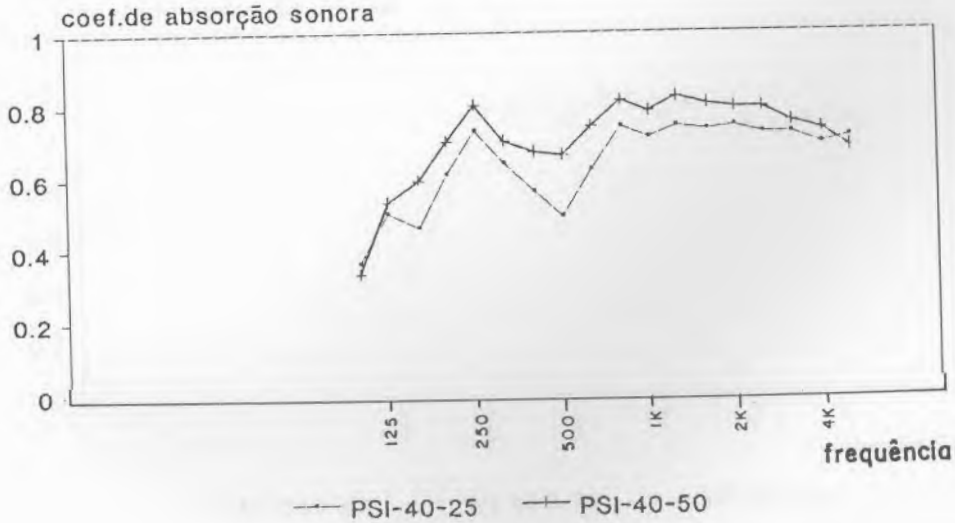
mesma densidade, mesma montagem
espessura diferente



Montagem : Piso

Gráfico 4

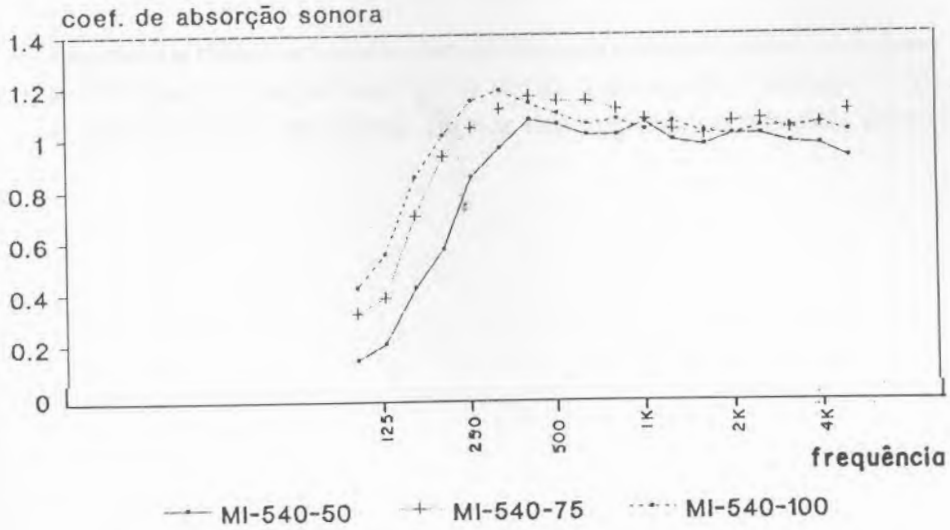
mesma densidade, mesma montagem
espessura diferente



Montagem : Forro Plenum 400

Gráfico 5

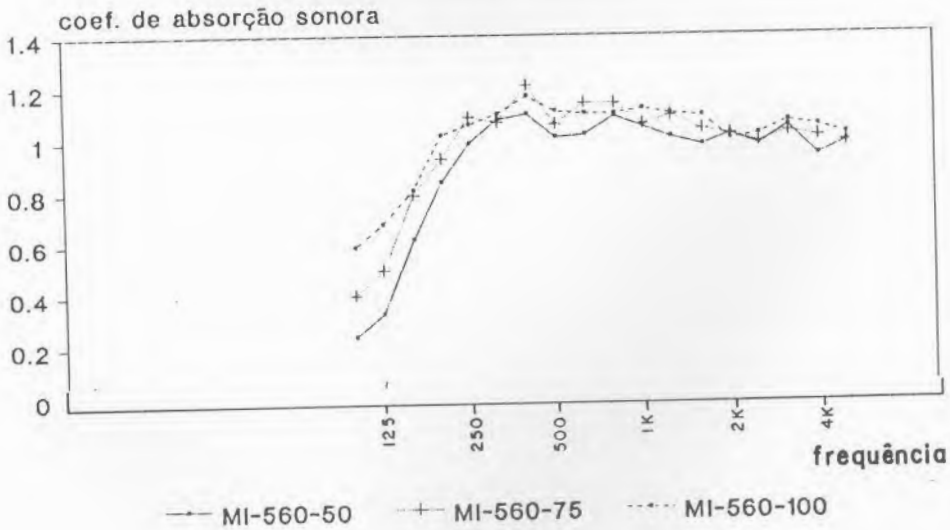
mesma montagem, mesma densidade
espessura diferente



Montagem : Piso Densidade : 40 Kg/m

Gráfico 6

mesma montagem, mesma densidade
espessura diferente



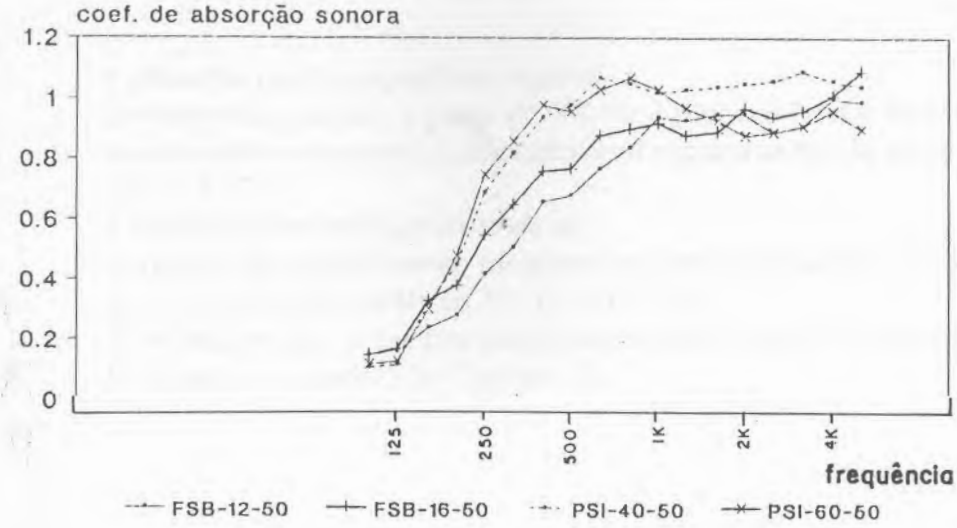
Montagem : Piso Densidade : 60 Kg/m

5.2.1.2 Efeitos da Densidade

Quando a diferença entre densidades não é significativa, o mesmo ocorre com a eficiência. Comparando estes dados com os da literatura verificamos:
– quanto maior densidade menor desempenho em baixas frequências.

Gráfico 7

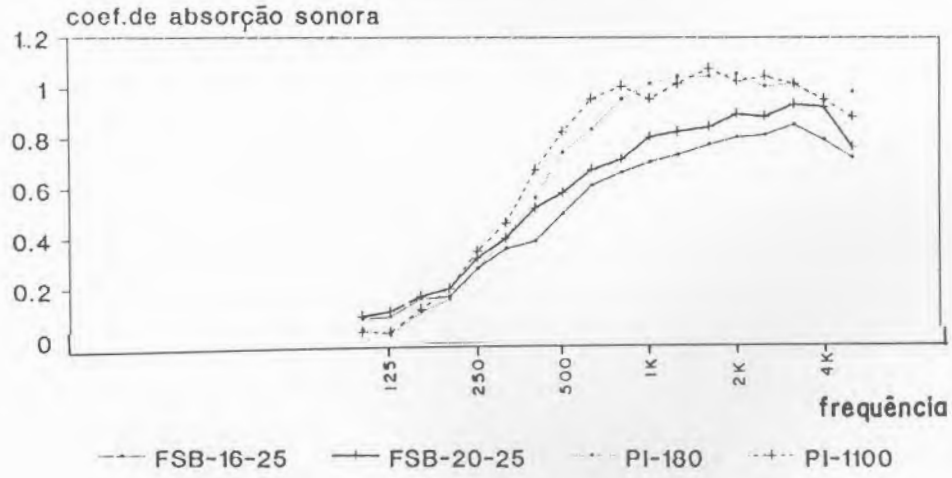
mesma montagem, mesma espessura
densidade diferente



Montagem : Piso

Gráfico 8

mesma montagem, mesma espessura
densidade diferente



Montagem : Piso
Densidade : PI-180 80 Kg/m
PI-1100 100 Kg/m

5.2.1.3 Efeitos da Montagem

• *Material contra superfícies rígidas*
Desempenho melhor a partir de 500 Hz e pior nas baixas frequências, quando comparado com material montado com espaçamento de ar (gráficos 9, 12, 13, 14, 15 e 17).
• *Material com espaçamento de ar*
Variações no espaçamento mostram pequenas alterações. Dados insuficientes para comparação (gráficos 10, 11, 16 e 18).
Acreditamos que o melhor espaçamento deve seguir o exposto no item 3.5.2 Montagem e Ajustes, do Capítulo III.

Gráfico 9

montagem diferente, mesma espessura
mesma densidade

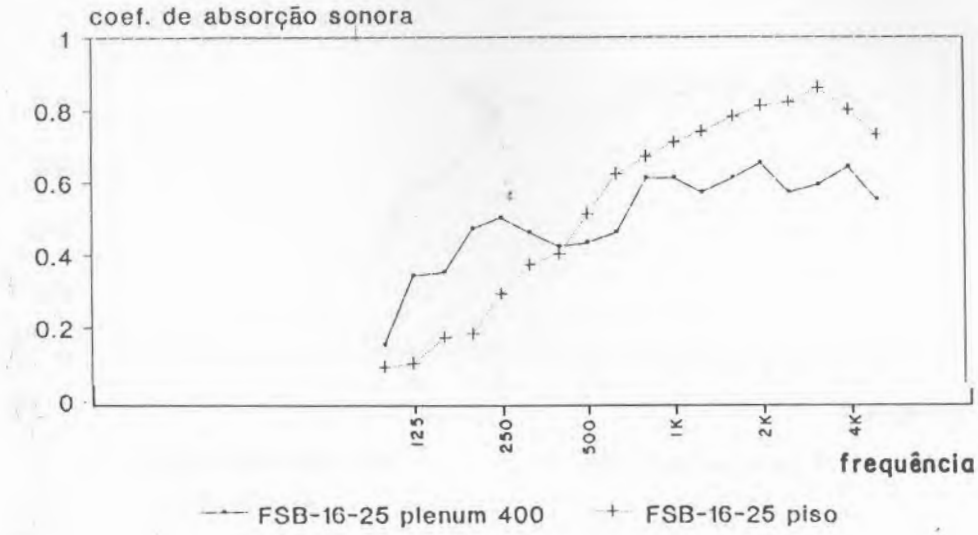


Gráfico 10

montagem diferente, mesma espessura
mesma densidade

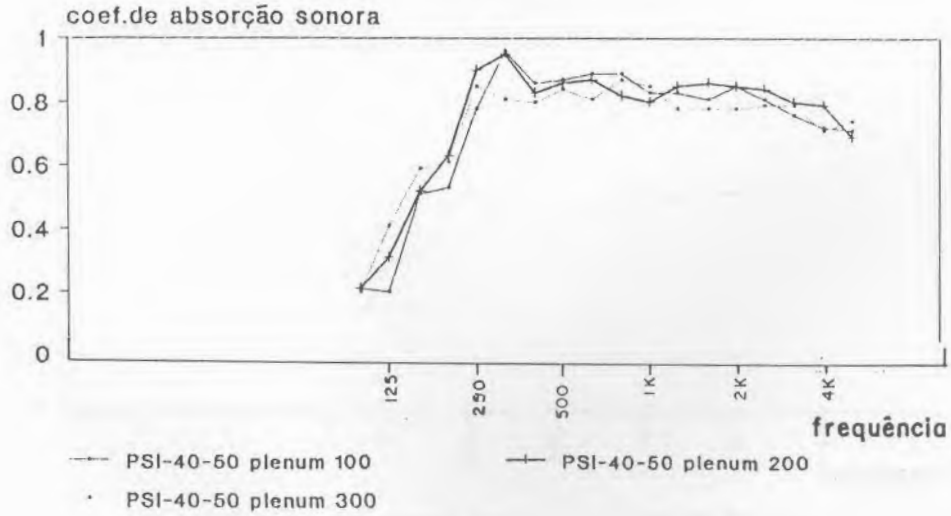


Gráfico 11

montagem diferente, mesma espessura, densidade diferente

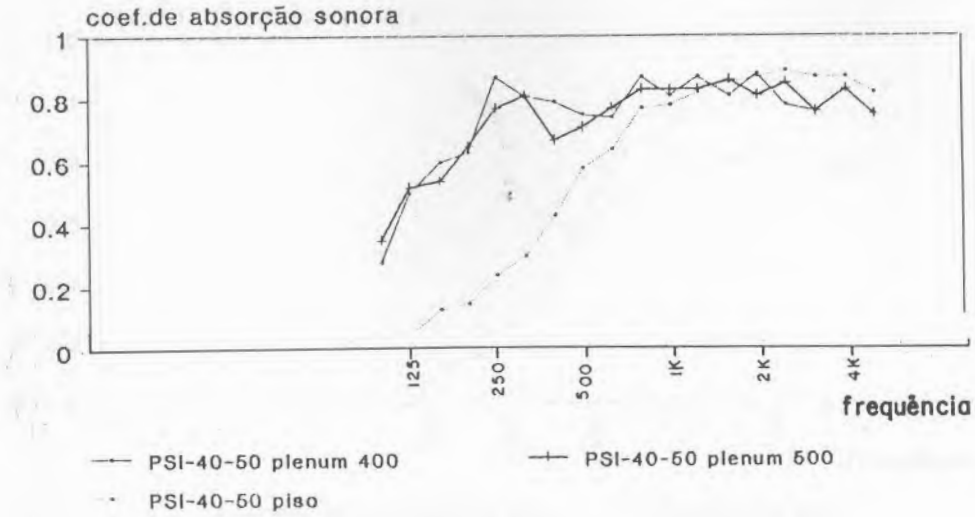


Gráfico 12

montagem diferente, mesma espessura, mesma densidade

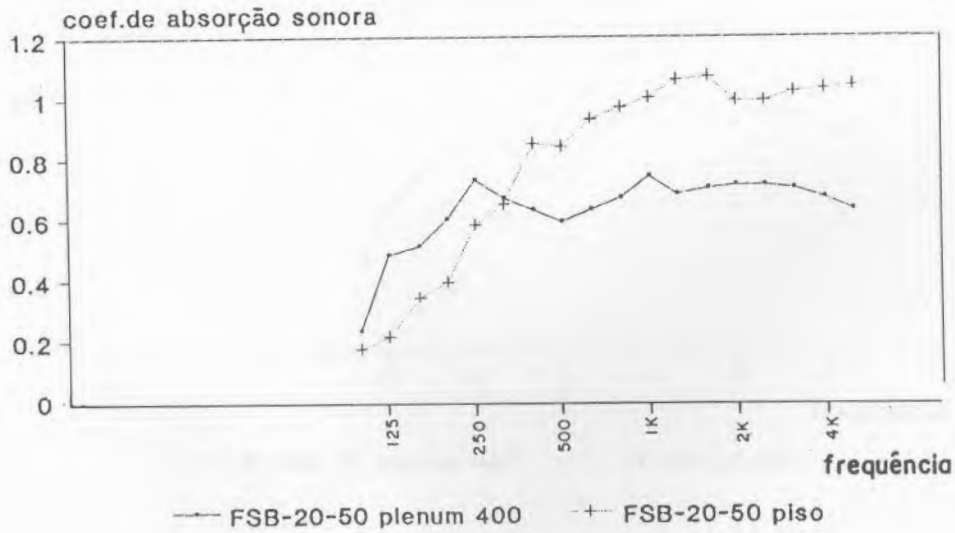


Gráfico 13

montagem diferente, mesma espessura
mesma densidade

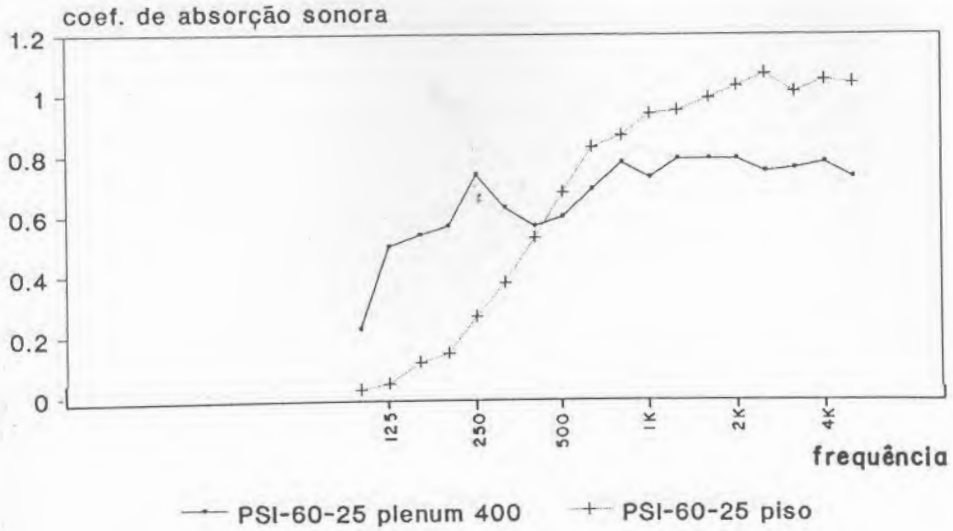


Gráfico 14

montagem diferente, mesma espessura
mesma densidade

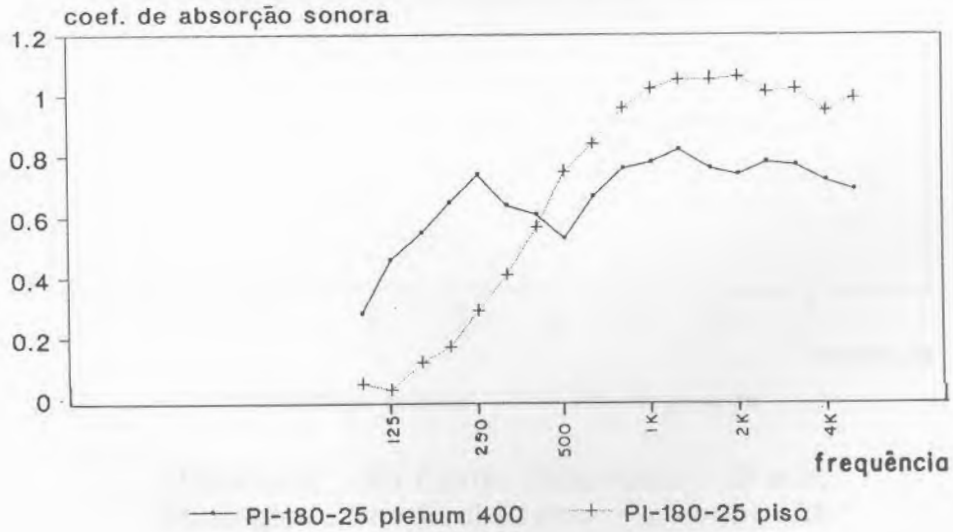


Gráfico 15

montagem diferente, mesma espessura,
mesma densidade

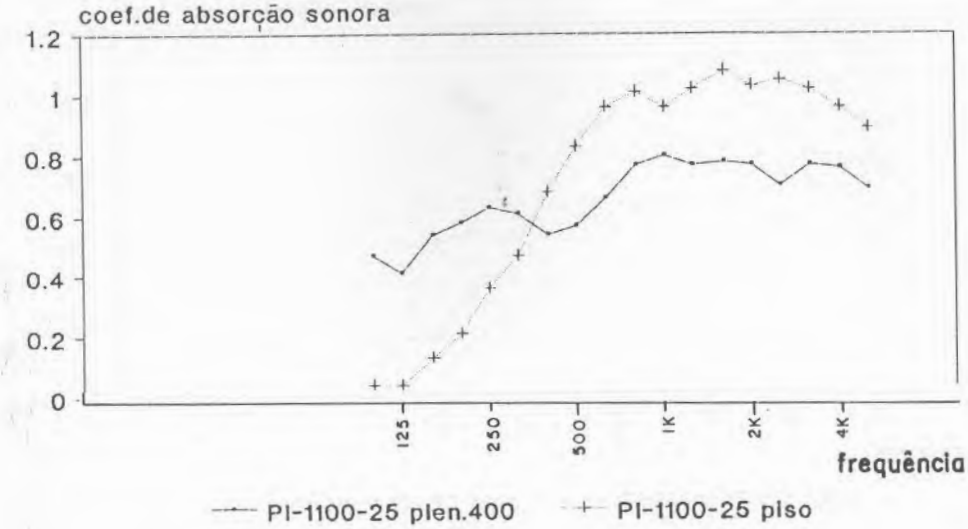
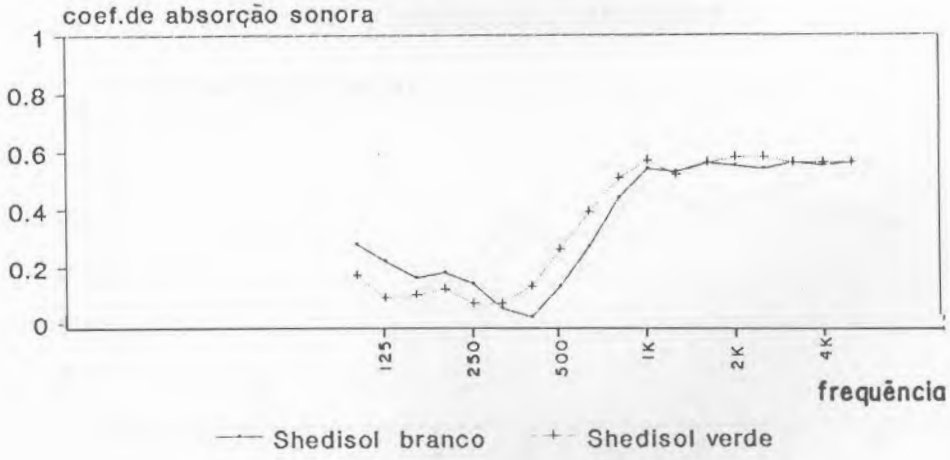


Gráfico 16

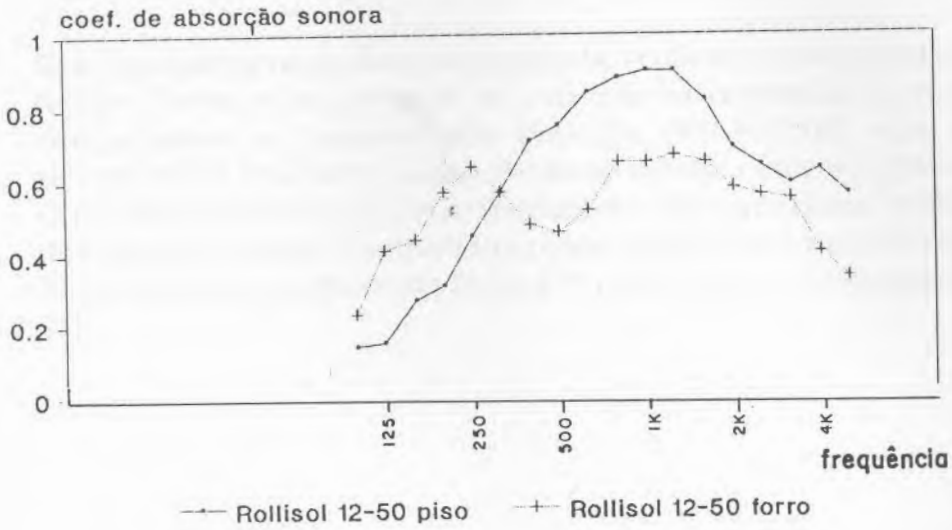
montagem diferente, mesma espessura,
mesma densidade



Densidade : 60 Kg/m Espessura : 15 mm
Montagem : Shedisol Branco - plenum 400
Shedisol Verde - plenum 600

Gráfico 17

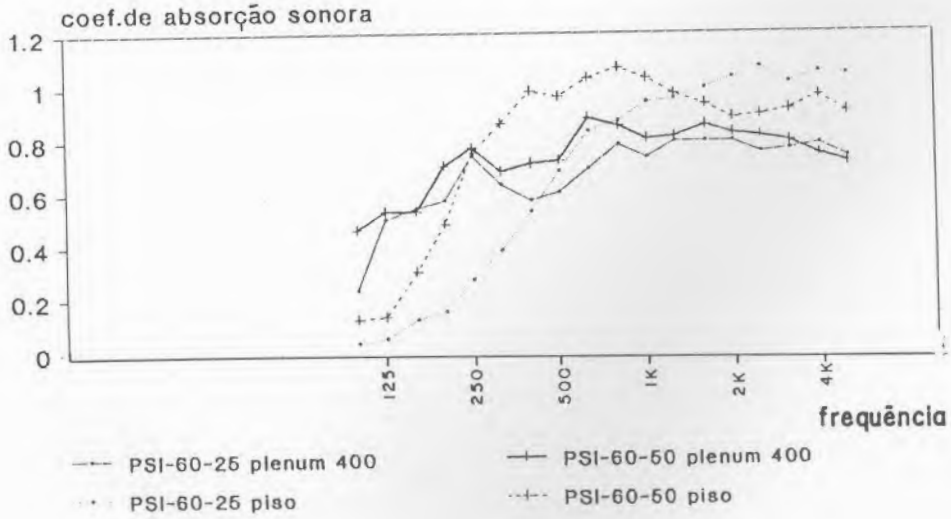
montagem diferente, mesma espessura, mesma densidade



forro com plenum 400 mm

Gráfico 18

mesma densidade, montagem e espessura diferentes

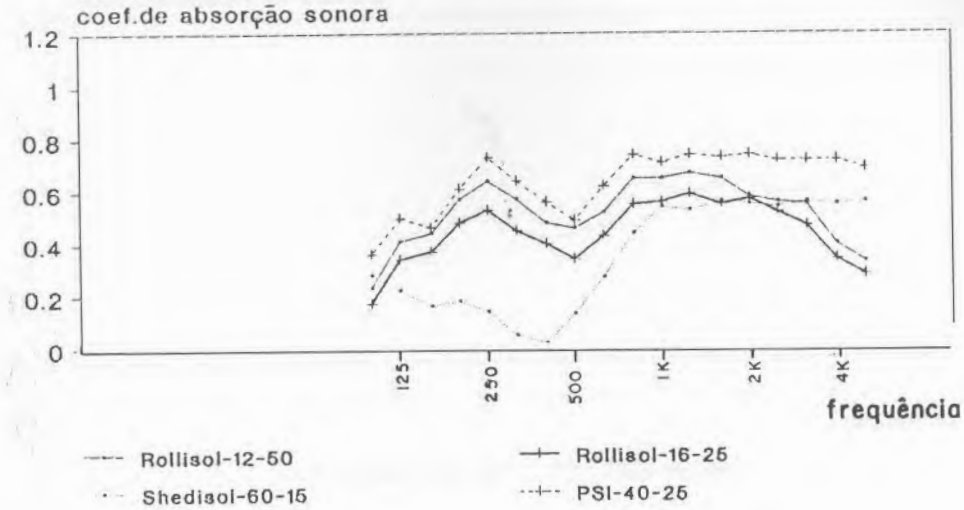


5.2.1.4 Efeitos da Película de Proteção

Se compararmos os produtos com película, verificamos que o mais espesso tem melhor desempenho apesar de ser o de mais baixa densidade. No entanto, se compararmos ao material sem proteção (PSI-40-25)®, este supera os desempenhos anteriores, apesar de denso e pouco espesso (gráfico 19).
O produto revestido com PVC– Shedisol ® – apresenta queda considerável no desempenho, quando comparado a produto similar sem a película (gráfico 20).
Já a película de polietileno do Rollisol ®, pouco influi no desempenho (gráfico 21).

Gráfico 19

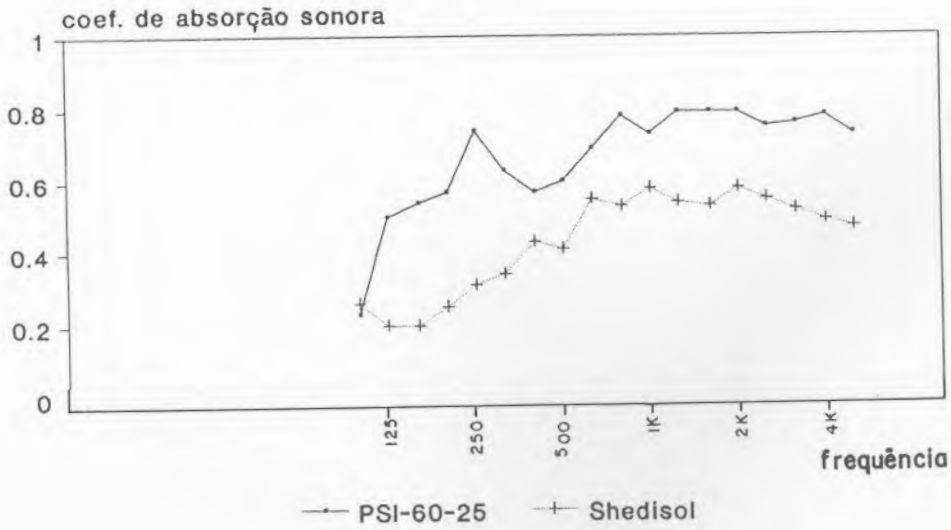
mesma montagem, densidade e espessura diferentes



Montagem : Forro plenum 400 mm

Gráfico 20

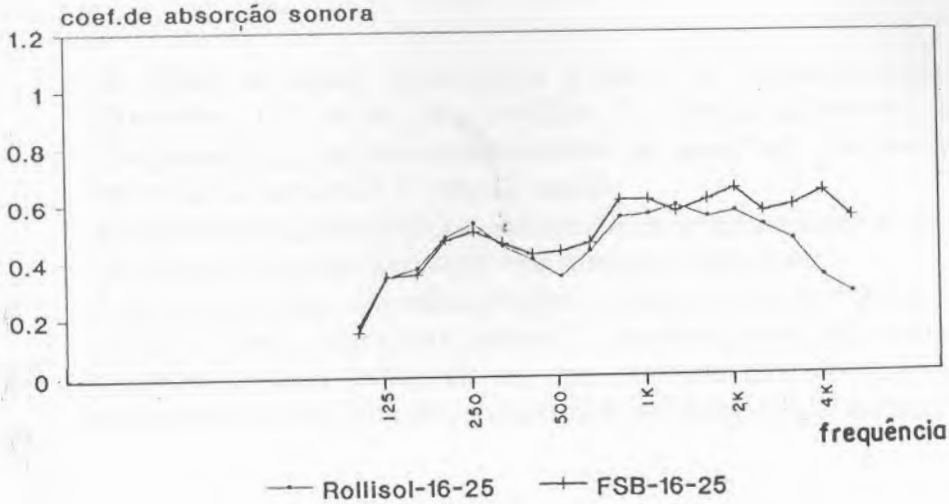
mesma montagem, densidade, espessura, e tipo diferente



Montagem : Forro plenum 400 mm

Gráfico 21

mesma montagem, densidade, espessura
e tipo diferentes



Montagem : Forro plenum 400 mm

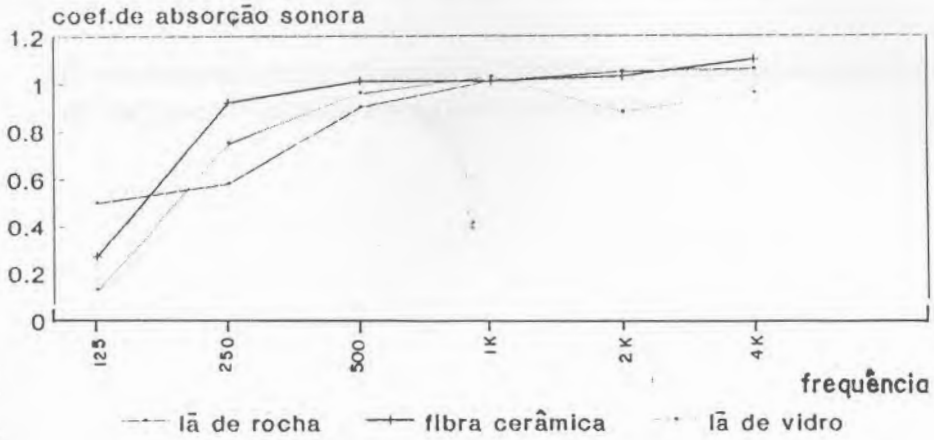
5.2.2 Produtos Diversos

As séries, a seguir, apresentam gráficos de produtos, tipos e fabricantes diferentes. Os dados são também de fontes diferentes, prejudicando a comparação, já que não existe controle de qualidade, mesmo quando os testes executados seguiram a mesma norma.
Ainda assim, alguns gráficos comparativos foram montados a título de exemplo de algumas opções possíveis em situações diferentes.
É preciso lembrar, que nem sempre o melhor desempenho nos trará a melhor solução. Como vimos no Capítulo IV, teremos de balancear em nossa escolha, questões como a resistência ao fogo, conforto térmico do local, durabilidade do material, custo final do produto após montagem, viabilidade econômica, etc.

5.2.2.1 Para Ambientes de Trabalho Pesado

Gráfico 22

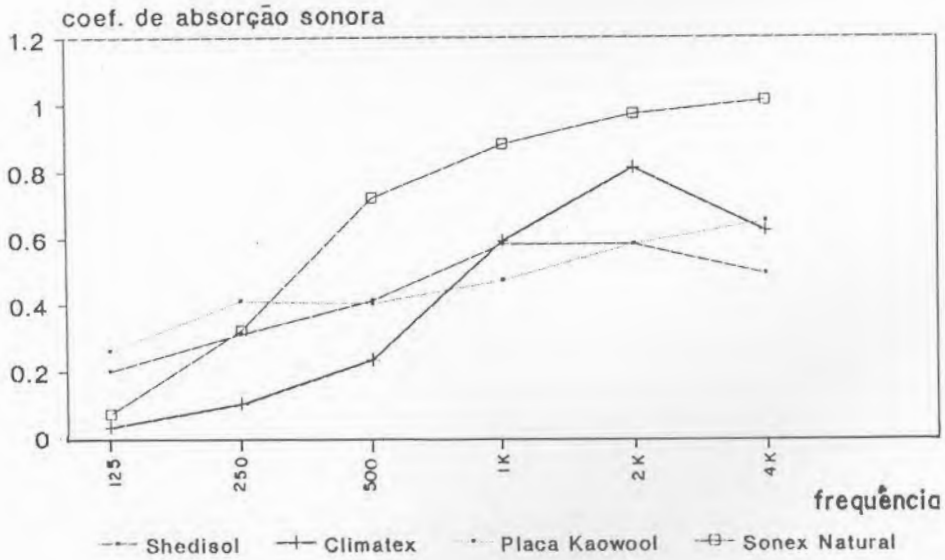
tipos diferentes, densidade semelhante, mesma montagem, mesma espessura



Montagem : Piso Espessura : 50 mm
densidade : lã de vidro 60 Kg/m^3
lã de rocha e fibra cerâmica 64 Kg/m^3

Gráfico 23

Produtos diferentes

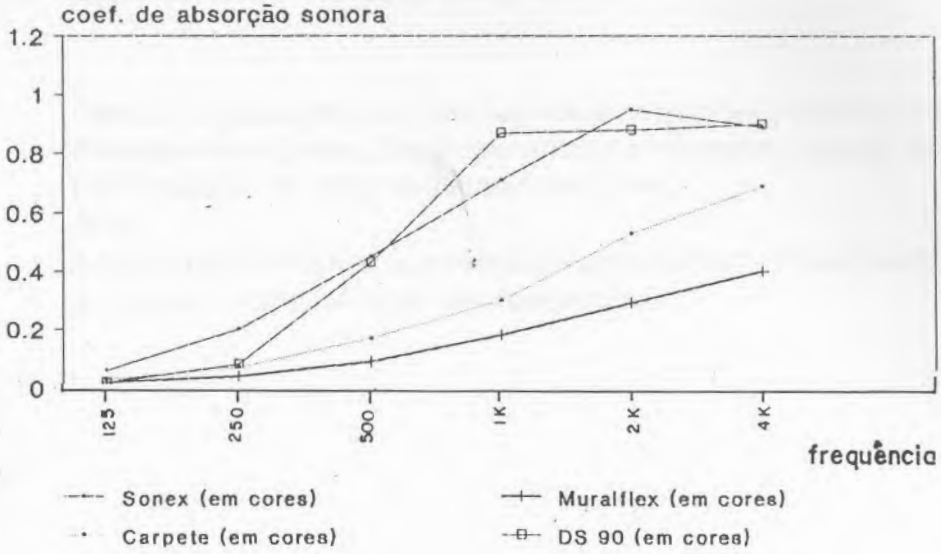


Montagem: Piso (Shedisol— Montagem: Forro)

5.2.2.2 Para Ambientes de Trabalho Leve

Os materiais fibrosos do gráfico 22 também são adequados para estes ambientes desde que revestidos com filmes ou tecidos.

Gráfico 24
Produtos diferentes



5.2.2.3 Argamassas e Fibras Projetadas

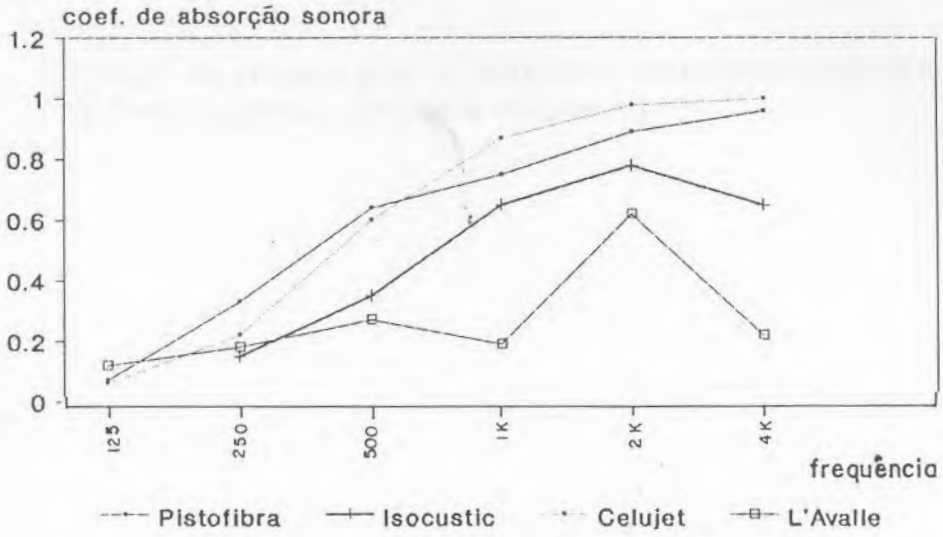
Usadas comumente projetadas em tetos de galpões e fábricas, melhorando seu desempenho térmico. Em locais sujeitos a vibrações, devem ser evitadas, pela possibilidade do desprendimento de fibras.

Nota:

Apenas dois produtos apresentaram certificados – Pistofibra® e Celujet® – e portanto, a rigor, só estes são comparáveis.

Gráfico 25

Tipos diferentes
Argamassas e fibras projetadas

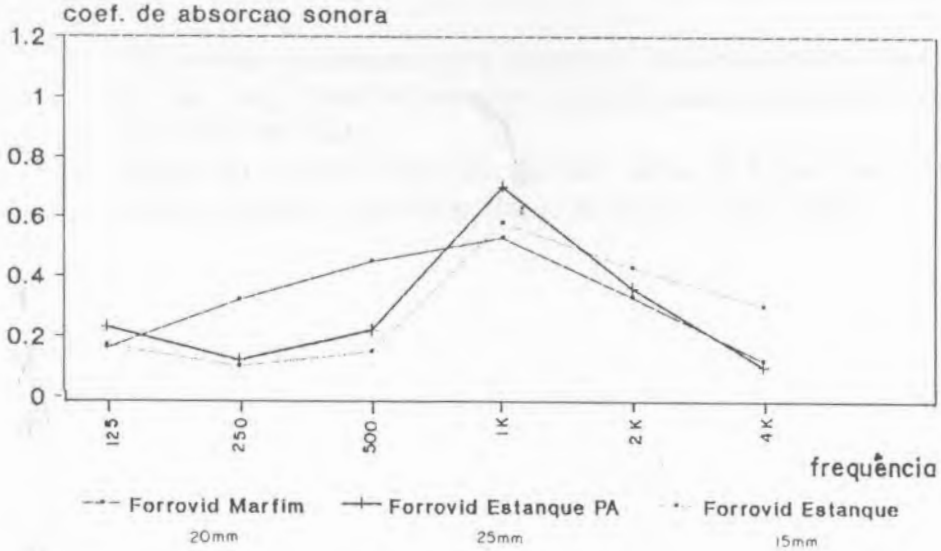


5.2.2.4 Forros

Usados em diversos tipos de ambientes. Ver também gráficos com montagem de forro suspenso. (Produtos fibrosos 5.1.1)

Grafico 26

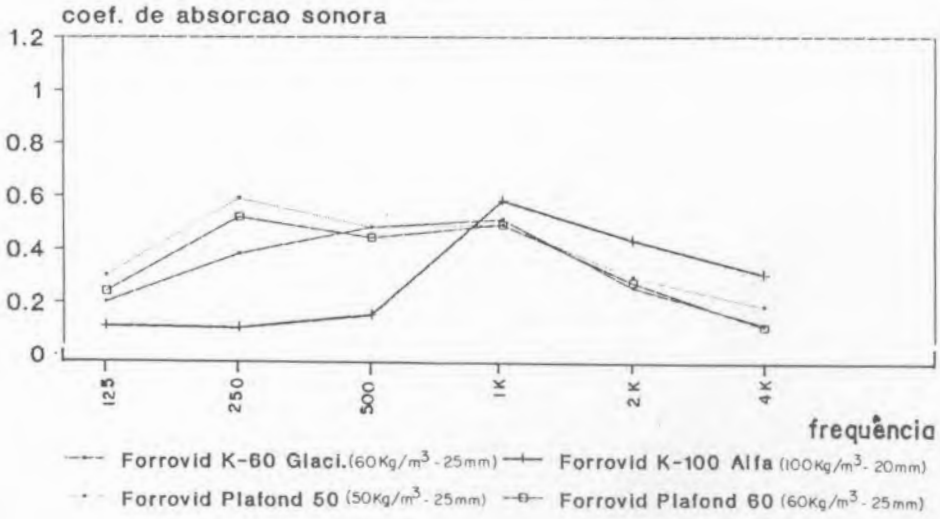
mesma montagem,mesma densidade,
espessuras diferentes



Montagem : Forro
densidade: 20 Kg/m^3

Grafico 27

mesma montagem, densidade e
espessura diferentes



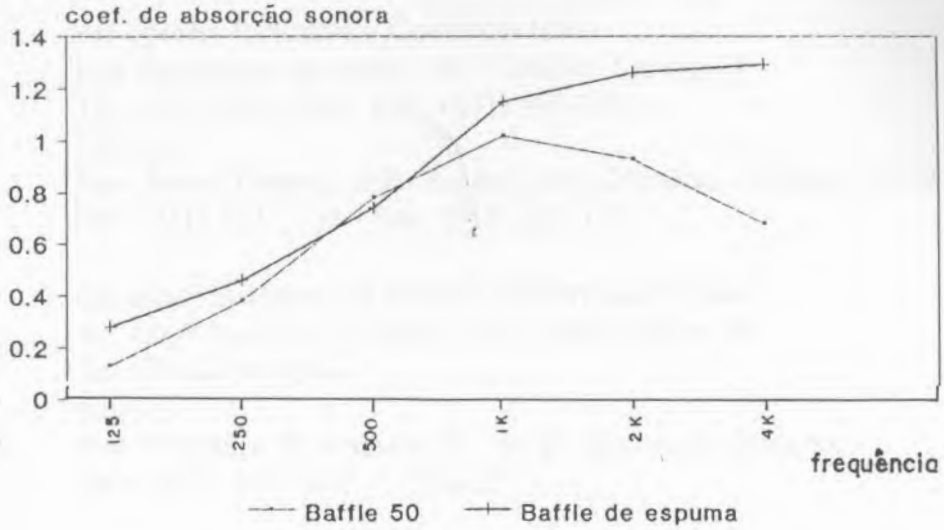
Montagem : Forro

5.2.2.5 Baffles

Elementos suspensos com superfície absorvente dos dois lados. Ideais para locais com pé-direito elevado, possibilitando aproximar o material absorvente da fonte de ruído.
Baffle 50 – lã de vidro, Sta. Marina, dens. 40 Kg/m^3, esp. 50mm
Baffle espuma – Illbruck, dens. 35 Kg/m^3, esp. 70mm

Gráfico 28

mesma montagem, mesmo tipo,
densidade e espessura diferentes



Montagem : Forro

5.3 Lista de Fabricantes

Art Spuma Indústria e Comércio Ltda.
Rua Domingos de Meira, 35 - Campos Limpo, SP
Tel: (011) 843-1566 - Fax: (011) 843-1663
Fábrica:
Rua Áurea Tavares, 280- Pq. Ind. das Oliveiras - Taboão da Serra, SP
Tel: (011) 491-1733 - Fax: (011) 491-1146

Climatex Indústria de Madeira Mineralizada Ltda.
Av. Engº Frederico Dahne, 255 - Porto Alegre, RS
Tel: (0512) 40-4922
Filial:
Rua Ubaldino do Amaral, 80 - Lj. B - Rio de Janeiro, RJ
Tels: (021) 232-7265 / 232-6127

Eucatex S.A. Indústria e Comércio
Av. Francisco Matarazzo, 584/612 - São Paulo, SP
Tel: (011) 823-2233 (PABX)
Filial:
Praia de Botafogo, 440 - 5º andar/ 501 - Rio de Janeiro, RJ
Tel: (021) 266-5522 (PABX)

Fademac S.A.
Variante Getúlio Vargas, Km 1 - Jacareí, SP
Tel: (0123) 51-9033
Filial:
Rua Evaristo da Veiga, 55 - s/605 a 608 - Rio de Janeiro, RJ
Tel: (021) 240-4016

Fiberglas Owens/Corning
Rua General Flausino Gomes, 42, 6º andar, Brooklin Novo, SP
Tel: (011)240-7900 (PABX) - Fax: (011)542-2303
Filial:
Av. Marechal Câmara, 160 - s/1215 - Rio de Janeiro, RJ
Tel: (021)220-2267

Illbruck Tecnologia em Espumas Ltda.
Av. Plastispuma, 630 p.01-03 - Diadema, SP
Tel: (011)745-3095 - Fax: 745-2684
Revenda:
Rua Coronel Gomes Machado, 136, s/903 - Niterói, RJ
Tel: (021)717-8360

L'Avalle Indústria e Comércio de Isolantes Térmicos Ltda.
Rua Pedro Paulino, 642 - Itapevi, SP
Tel: (011)426-5000

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
BIBLIOTECA

Morganite Fibras Cerâmicas Ltda.
Rua Darcy Pereira, 83 - Rio de Janeiro, RJ
Tel: (021) 395-2366/2164/2400 - Fax: (021) 395-2405

Rhodia Indústrias Químicas e Têxteis S.A.
Atividade Bidin:
Av. Maria Coelho de Aguiar, 215 - bloco B, 6º andar - São Paulo, SP
Tel: (011)545-6651 - Fax: (011)545-2990
Revenda:
Rua Jacurutã, 842 - Penha - Rio de Janeiro, RJ
Tel: (021)280-9544 (PABX)

Santa Marina Cia. Vidraçaria Santa Marina
Matriz:
Rua João Alfredo, 177 - Santo Amaro, SP
Tel: (011)247-2122 - Fax: (011)523-9260
Revenda:
Isotran - Tel: (021)289-7849

Sical/CESA Cia. Empreendimentos Sabará
Fábrica:
Via Geraldo Dias Km 2,5 - Barreiro de Cima - Belo Horizonte, MG
Tel: (031)322-1511
Filial:
Rua D'Ajuda, 35 - 17º andar - sala 1702 - Rio de janeiro, RJ
Tel: (021)240-2737

Siporex Concreto Celular S.A.
Av. Humberto de Campos 124 - Ribeirão Pires, SP
Tel: (011)459-3099 - Fax: (011)459-2492

Somax Tecnologia Acústica Ltda.
Praça Olavo Bilac, 28 - sala 612 - Rio de Janeiro, RJ
Tel: (021)242-0149 - Fax: (021)242-1392

Tratamento Termo Acústico Ltda.
Av. Nossa Senhora do Sabará, 5807 - São Paulo, SP
Tel: (011)247-1600 - Fax: (011)247-4328

CAPÍTULO VI

Normas

Instrumento de regulamentação e controle, as normas em acústica existem desde a década de 70. Em constante aprimoração e desenvolvimento, são ainda desconhecidas da maioria dos projetistas e fabricantes. Mal divulgadas e caras, enfrentam o descaso de sua não aplicação.
Com os crescentes problemas de poluição sonora, a tendência atual aponta para o desenvolvimento de selos de qualidade nos diversos setores que contribuem para a redução dessa poluição. Acreditamos ser fundamental o conhecimento, exigência e desenvolvimento das Normas Técnicas, como forma de pressionar o mercado a aplicá-las.

6.1 Normas Brasileiras

Abreviações :

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
NB - Norma Brasileira
NBR - Norma Brasileira Registrada
TB - Terminologia Brasileira
MB - Método de Ensaio

Entre as normas pesquisadas segue um resumo da NB-101:
NB-101/Nov. 88 – "Tratamento Acústico em Recintos Fechados"
Esta norma fixa critérios fundamentais para execução de tratamentos acústicos em recintos fechados. Entre várias definições, cita o tratamento acústico englobando o isolamento e condicionamento acústico. Este último procura garantir em um recinto o tempo ótimo de reverberação e a boa distribuição do som.
Como roteiro para o desenvolvimento do tratamento acústico, esta norma indica que se deve conhecer como condições gerais, certos valores, como nível de som do exterior e do recinto, além das plantas, cortes e especificações dos materiais empregados na construção do local. Em seguida se fará o isolamento acústico, levando-se em conta o nível de ruído de fundo fixado pela NB-95. Os materiais isolantes devem ser selecionados em função dos valores de tabela anexa desta norma. Quanto ao condicionamento, cita o estudo da forma do local e o cálculo do TR ideal, usando a fórmula de Sabine ou de Eyring (α>0,30). Os coeficientes de absorção, α , são especificados em tabela anexa para vários materiais de construção e elementos diversos necessários ao cálculo. Desta tabela, tiramos vários dados que incluímos em nossas fichas técnicas (ver Capítulo V).
Além das tabelas, a norma traz o gráfico de TR segundo Beranek e Newman, também por nós apresentado (gráfico III.10).
Enfim, trata-se de um roteiro completo para quem já tem algum conhecimento do assunto.

Normas Pesquisadas :

- MB-268 - "Medidas de Nível de Som em Ambientes Internos e Externos".
- P-TB-143/73 - "Poluição Sonora (em estágio experimental)
- NBR-10151/87 - "Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade". (NB-1095)
- NBR-10152/87 - "Níveis de Ruído para Conforto Acústico". (NB-95)
- NBR-7731/83 - "Guia para Execução de Serviços de Medição de Ruído Aéreo e Avaliação dos Seus Efeitos Sobre o Homem". (NB-616)

Outras Normas Existentes (relativas a Acústica Arquitetônica):

- NB-1187 - "Avaliações de Projetos e Instalações de Salas de Projeção Cinematográfica".
- TB-355 - "Caixilho para Edificação - Acústica dos Edifícios".
- MB-3071 - "Caixilho para Edificação - Janela - Medição da Atenuação Acústica".
- NB-865 - "Fixação de Valores de Redução de Nível de Ruído para Tratamento Acústico de Edificações Expostas ao Ruído Aeronáutico".
- MB-2958 - "Reverberação – Análise do Tempo de Reverberação em Auditórios".

6.2 Normas Estrangeiras

Abreviações :

ISO - International Organization for Standardization.
(normas internacionais)
BS - British Standards.
(normas britânicas)
ASTM - American Society for Testing and Materials.
(normas americanas)
AFNOR - Association Française de Normalisation
(normas francesas)

Dentre as normas pesquisadas, a ASTM-C 423 é resumida a seguir:
ASTM-C 423-90 - "Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method" (Seção 4, volume 6, pág.126 a 132) Ed. ASTM, PA, USA, 1991.
Esta norma é utilizada para medir absorção sonora em câmara reverberante. Mede-se a absorção de salas, objetos e materiais absorventes. A unidade é o sabine métrico (A) ou coeficiente de absorção sonora (α). Acreditamos ser útil o conhecimento desta norma para podermos avaliar os laudos que nela se baseiam.

Medição da sala
Um ruído aleatório, em determinada banda de frequência, é usado como sinal para o teste e emitido o tempo suficiente para que o nível de pressão sonora na sala atinja a estabilidade. Quando o sinal é desligado, a pressão sonora vai decrescer e o percentual de diminuição será medido pelo tempo de queda específico por banda de frequência.
A equação de Sabine é baseada na premissa de que o campo do som incidente é difuso, antes e durante a queda da energia no local e que nenhuma energia adicional entra no local durante a queda – esta condição deve ser observada se as medidas forem validadas. A absorção sonora é função da frequência e as medidas são feitas em séries de bandas de frequências.

Medição do Coeficiente de Absorção Sonora
Depois de colocar a amostra na sala, o aumento da absorção é dividido pela área do material testado, representando-se o coeficiente de absorção em sabine métrico por m^2, ou sabine por pé quadrado.
Medida de absorção de objetos como telas, cadeiras ou "baffles". A absorção da sala reverberante é medida antes e depois de colocar um ou mais objetos idênticos na sala. O aumento da absorção é dividido pelo número de objetos, sendo a absorção em sabines métricos por objeto ou sabines por objeto.

Significado e Uso
A medição da absorção sonora de uma sala, é parte dos procedimentos para outras medições acústicas como determinação do nível de potência sonora de uma fonte ou o STC de uma parede. É também preliminar em certos cálculos como a estimativa do nível de pressão sonora na sala quando se conhece o nível de potência sonora da fonte colocada na sala.
O coeficiente de absorção sonora de uma superfície é propriedade do material que compõe a superfície. É idealmente definido como uma fração do nível de potência sonora, que incide aleatoriamente em uma superfície e é por ela absorvido. A relação entre o coeficiente definido teoricamente e operacionalmente medido está sob estudo contínuo.
O efeito de difração causa, usualmente, a impressão de que a área da amostra é maior do que sua área geométrica real, assim aumentando o coeficiente medido. Quando os coeficientes são grandes, as medições podem exceder a unidade. Como os efeitos da difração são menores quando as áreas testadas são maiores, o tamanho recomendado para teste deve ser maior do que 6,69 m^2 (72 ft^2).
Os coeficientes medidos baseados nesta norma devem ser usados com precaução, já que os materiais utilizados na prática são geralmente maiores que as amostras, e o campo é raramente difuso. No laboratório pode-se simular condições reais. Na prática, porém, as condições que determinam a efetiva absorção são geralmente imprevisíveis. Apesar destes fatores, os coeficientes medidos baseados nesta norma têm sido usados com sucesso, por arquitetos e consultores nos projetos de acústica arquitetônica.

Sala Reverberante
Deve ser projetada para que o campo reverberante se aproxime ao máximo de

um campo difuso, ambos estáveis, durante todo o processo de medição. Deve ser de paredes maciças, de alvenaria, concreto ou aço, já que construções leves podem vibrar e confundir as medições. A média do coeficiente de absorção medido na sala para cada frequência deve ser menor que 0,06. A sala deve ser isolada de ruídos externos.

Dimensões
A menor dimensão deve ser maior que λ e, preferivelmente, maior que 2λ da frequência central da mais baixa de terço de oitava na qual forem feitas as medidas. Nenhuma dimensão deve ser igual ou razão de números inteiros pequenos. A razão entre a maior e a menor dimensão deve ser inferior a 2:1. O volume deve ser menor que $V = 4 \times (\lambda)^3$ ou $\pm$ 85 m^3 por terço de oitava centrado em 125 Hz.

Difusão Sonora
A sala pode ter painéis reflexivos pendurados e/ou móveis para que mude continuamente de forma. O objetivo é obter energia de todas as direções e aumentar a probabilidade da sala de receber energia com a mesma intensidade em todas as suas superfícies.

Testes
Montagem – a amostra deve ser montada para simular a sua instalação real. As formas de montagem são descritas na norma ASTM-E 795.
Colocação – a amostra deve ser colocada no piso de maneira não centrada para evitar simetria. Cortinas devem ser colocadas em sua posição real.
Precauções – as bordas do material testado devem ser seladas com material não absorvente.

Relatório
Deve constar de: descrição da amostra, tamanho, montagem, peso e outros detalhes significativos.

Outras normas pesquisadas:

- ISO-354-1985 e BS-3638-1987 – normas idênticas, sendo que a britânica adotou a internacional "Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room" (Medição de Absorção Sonora em Câmara Reverberante)
- ASTM-E 795 – "Mounting Test Speciments During Sound Absorption Tests" (Montagem de Amostras Durante Testes de Absorção Sonora)
- ASTM-C 634-89 – "Standard Terminology Relating to Environmental Acoustics" (Terminologia Padrão com Relação à Acústica do Meio Ambiente)
- ASTM-E 90-90 – "Standard Test Method for Laboratory Measurement of Air Borne Sound Transmission Loss of Building Partitions" (Método de Teste Padrão para Medições em Laboratórios de Redução de Som Aéreo Através de Paredes ou Divisórias)

- ASTM-E 413-87 – "Classification for Rating Sound Insulation" (Classificação para Avaliação de Isolamento Sonoro)
- ISO-717/1 – "Acoustics - Rating of Sound Insulation in Building and Building elements." (Avaliação do Isolamento Acústico de Edificações e de Elementos de Construção).
- NF-S 31-003 – "Mesure du Coefficient d'Absortion Acoustique en Salle Réverbérante" (Medição do Coeficiente de Absorção Sonora em Câmara Reverberante).
- NF-531-013 – "Evaluation de l'Exposition au Bruit em Millieu Profissionnal et Estimation du Déficit Auditif Induit par le Bruit de Populations Exposées" (Avaliação da Exposição ao Ruído em Meio Profissional e Estimativa da Deficiência Auditiva Induzida pelo Ruído das Populações Expostas).
- NF-31-009 – "Sonomètres de Précision" (Medidor Acústico de Precisão).
- NF-31-047 – "Évaluation des Distances d'Intelligibilité de la Parole dans une Ambience Bruyante" (Avaliação das Distâncias de Inteligibilidade da Palavra em um Ambiente Ruidoso).

6.3 Agências de Normatização e Organismos Ligados à Área

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
Av. Treze de Maio, 13 - 28° andar, Rio de Janeiro, RJ
Tel: (021)210-3122 - Fax: (021)240-8249

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia
Laboratório de Eletroacústica - Divisão de Acústicas e Vibrações
Av. Nossa Senhora das Graças, 50 - Vila Operária, Xerém
Duque de Caxias, RJ - CEP 25250.
Tel: (021)779-1585/779-1416 Fax: (021)779-1539

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
Laboratório de Acústica
Cidade Universitária 05508 São Paulo, SP - Caixa Postal 7141 CEP 01000
Tel: (011)268-2211

SOBRAC – Sociedade Brasileira de Acústica
. Regional Rio de Janeiro
Laboratório de Acústica e Vibrações
Programa de Engenharia Mecânica/COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro
C.P. 68503, 21945, Rio de Janeiro, RJ
Tel: (021)280-8832 R-412 Fax: (021)290-6626

. Regional São Paulo
Rua das Alfazemas, 31, Vila Alpina
03204 São Paulo, SP
Tel: (011)918-0066 Fax: (011)216-5810
. Regional Sul
Laboratório de Vibrações e Acústica
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
C.P. 476, 88049, Florianópolis, SC
Tel: (0482)319-227 Fax: (0482)341-519

Laboratório de Termo-Acústica da Universidade Federal de Santa Maria
Faixa de Camobi Km 09, Santa Maria, Rio Grande do Sul
Fax: (055)226-1697

Capítulo VII

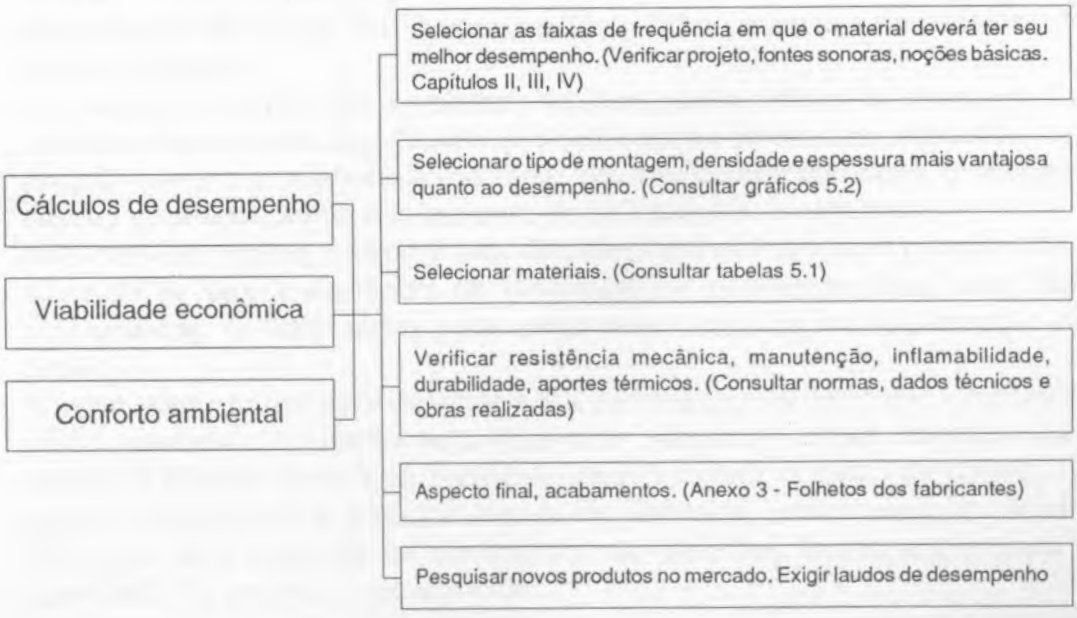
Conclusões

A absorção acústica influi, fundamentalmente, na qualidade do ambiente construído. O homem se comunica através da fala, e a absorção está diretamente relacionada com a inteligibilidade.

A Escolha do Material

Os materiais listados no presente trabalho, são frequentemente caros, analisando-se o contexto econômico atual do Brasil, como um todo. O professor PIZZUTTI (32) e equipe estão atualmente desenvolvendo pesquisas para testar materiais alternativos mais econômicos, como casca de arroz e embalagens de papelão, obtendo resultados bastante satisfatórios. Esperamos que pesquisas como essas, sirvam para incentivar a indústria local a investir em produtos de baixo custo. Entretanto, é essencial que produtos já industrializados continuem a ser comercializados e desenvolvidos. Existe também, uma enorme gama de produtos acústicos estrangeiros que poderiam ser adaptados a realidade brasileira, e incorporados a nossa produção, sobretudo, para absorção de baixas frequências. O exemplo mais marcante são os tijolos baseados no princípio do ressonador de cavidade (Figura III.10). Uma fábrica com ruído dominante em baixas frequências, utilizando estes tijolos como fechamento, terá um aumento de produtividade, ao preservar com isso a saúde de seus funcionários. Existindo problemas, existe mercado.

Cada projeto tem suas variáveis próprias que determinarão a escolha do material mais acertado para cada caso. Portanto, não basta escolher o material com melhor desempenho se este é inviável economicamente. Um material pouco denso e espesso pode ter desempenho similar a outro, muito denso e fino. Em suma, uma série de fatores interligados apontará a melhor solução para cada projeto.



Desempenho - Os Coeficientes de Absorção

Vimos que a absorção influi na qualidade do ambiente construído, através da adequação de suas características à música ou à voz. O conhecimento dos coeficientes de absorção, nos permite também reduzir o ruído em ambientes, sob determinadas condições.

Ficou claro que a falta de um controle de qualidade, impede que se tenha inteira confiabilidade nos dados fornecidos pelos fabricantes. Os dados fornecidos por laboratórios, apesar de atestarem unicamente sobre determinada amostra, são os dados mais precisos no momento.

Será necessário seguir padrões internacionais onde os produtos recebem um selo de qualidade, de acordo com normas padronizadas, sendo sua produção regularmente verificada e atestada.

Atualmente, os especialistas da área, comparam os laudos com os dados fornecidos na literatura estrangeira, sobre o desempenho de materiais similares. Infelizmente, ficaria muito oneroso, testar materiais a cada projeto, já que isto envolve laboratórios e técnicos especializados. No capítulo VI, a descrição sucinta da normalização para testes em câmara reverberante, dá uma idéia do problema.

Alguns profissionais conscientes testam materiais ou sistemas, que ainda não foram industrializados, para, somente de posse dos resultados, especificá-los ou não. Quanto aos testes em tubo de impedância, uma pesquisa recente no laboratório de ensaios acústicos do INMETRO, concluiu ser necessário adotar critérios rigorosos de repetibilidade para obtenção de resultados confiáveis (31). No Rio de Janeiro, este é o único laboratório gabaritado para testar desempenho de absorção dos materiais em câmara reverberante.

Enquanto o selo de qualidade não for implantado, a solução será especificar materiais já testados, exigir normas e laudos, forçando com isto, adoção pelas indústrias de um permanente controle da qualidade de seus produtos.

O Projeto Consciente

Acústica, como ciência, é estudada a cerca de cem anos, desde as primeiras experiências de Sabine, mas continua sendo o último aspecto a ser considerado numa edificação.

Na transição dos princípios acústicos teóricos para a prática da construção, o projetista dá um passo significante que nem sempre é bem compreendido. Um projeto envolve a colaboração de várias equipes complementares, e depende da boa coordenação de um conjunto de informações e objetivos.

Não existem receitas prontas e sim, decisões bem elaboradas e programadas. Quando se tem consciência de determinados problemas, fica mais fácil contorná-los. O bom senso pode evitar erros comuns na implantação do projeto.

Porque construir na frente de um terreno, próximo a vias de acesso e fontes de ruído, quando o contrário seria bem mais adequado? Basta trabalhar com jardins e taludes, formando barreiras naturais contra o ruído de trânsito. A correta distribuição e posicionamento de aberturas, assim como a escolha adequada dos materiais de construção, são decisões fundamentais para a qualidade do projeto como um todo.

Habitantes de grandes cidades estão "acostumados" a um certo nível de

poluição sonora. Ao procurar um imóvel, raramente o futuro proprietário se preocupa com esta questão, mas ao executar atividades que necessitem de atenção, perceberá a má escolha da compra. No caso de residências, de pouco adianta um forro acústico para eliminar sons de impacto; de nada serve um reforço na parede que dá para uma via expressa, se nela existe uma esquadria mal vedada e um aparelho de ar condicionado que deixa passar ar e ruído.
Respeitar princípios básicos da acústica arquitetônica, não leva necessariamente a projetos elitistas. A boa qualidade é relativa e pode ser obtida em qualquer escala, bastando observar na implantação, o posicionamento de aberturas e fontes de ruídos e a escolha adequada de materiais.
É necessário conciliar acústica ao conforto térmico e lumínico, além das questões de energia, ergonomia, fluxograma funcional, estética, racionalização, custo, impacto ambiental e muitas outras implicações de urbanismo. A tarefa do arquiteto é árdua e ampla, mas não impossível.
Precisamos convencer a indústria de construção civil que a acústica arquitetônica é bem mais que uma abstração, é uma prática necessária.

BIBLIOGRAFIA

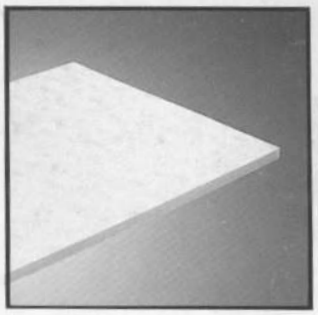
(1) KNUDSEN, V.O. e HARRIS, C.M., *Acoustical Designing in Architecture,* Ed. American Institute of Physics for the Acoustical Society of America, 1978.
(2) Documentation Française du Bâtiment, *L'Acoustique*, Paris Ed. Publications du Moniteur, 2ª Edição, 1987.
(3) PORGES, G., *Applied Acoustics*, London Ed. Edward Arnold, 1977.
(4) DELEBECQUE, R. e ROMAGNOLI, J., *Confort de l'Habitat, Isolation Acoustique*, Ed. Delagrave, 1975.
(5) DOELLE, L.L., *Environmental Acoustical*, New York, Ed. McGraw-Hill Book Company, 1972.
(6) EGAN, M.D., *Concepts in Architectural Acoustics*, New York, Ed. McGraw-Hill Book Company, 1972.
(7) HARRIS, C.M., *Manual para el Control del Ruido*, Madrid, Ed. Instituto de Estudios de Administracion Local, Vol. I e II, 1ª Edição, 1957.
(8) MEISSER, M., *Acustica de los Edificios*, Barcelona, Editores Técnicos Associados, S.A., 1973.
(9) BERANEK, L.L., *Noise and Vibration Control*, New York, Ed. McGraw-Hill, 1957.
(10) PÉRIDES, S., *Acústica Arquitetônica*, Belo Horizonte, Ed. Engenharia e Arquitetura, 1971
(11) CARVALHO, B.A., *Acústica Aplicada à Arquitetura*, São Paulo Ed. Livraria Freitas Bastos, 1967
(12) EVEREST, F.A., *The Master Handbook of Acoustics*, Philadelphie Ed. Tab. Books Inc., 2ª edition, 1989.
(13) CYSNE, L.F.O, *Audio Engenharia e Sistemas*, Rio de Janeiro Ed. H. Sheldon, 1989/90.
(14) LEHMANN, R. *L'Acoustique des Batiments*, Paris Ed. Presses Universitares de France, 1968.
(15) TEMPLETON, D., *Detailing for Acoustics*, London, Ed. The Architetural Press, 1983
(16) ROULET, C.A., *Energetique du Bâtiment I*, Lausane, Ed. Presses Polytechnìques Romandes, 1987.
(17) GONZALEZ, M.F., *Acustica Aplicada e Bidim*, Ed. Rhodia S.A.
(18) BERANEK, L.L., *Acustica*, Madrid, Ed. Hispano Americana S.A., 1961.
(19) NEPOMUCENO, L.X., *Acústica Técnica*, São Paulo Ed. Etegil S.A., 1968.
(20) BARING, J.G.A. e LALLI, F.P., *Tecnologia de Edificações* (IPI), São Paulo Editora Pini, 1ª Edição, pp. 415 - 457, 1988.
(21) ROSA, L.Z., *Arquitetura e Meio Ambiente - Bioclimatismo*, Rio de Janeiro Edição Restrita, 1992.

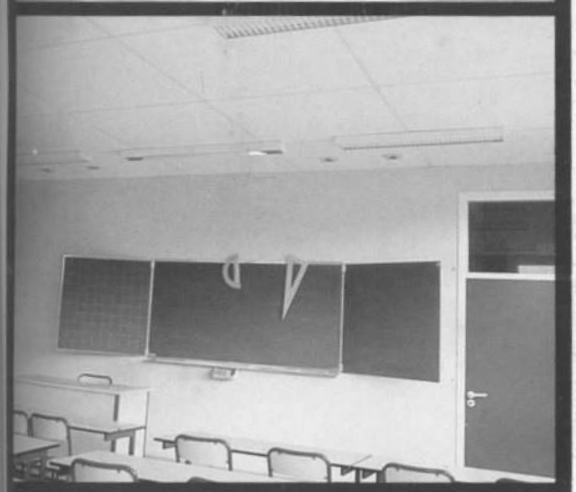
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
BIBLIOTECA

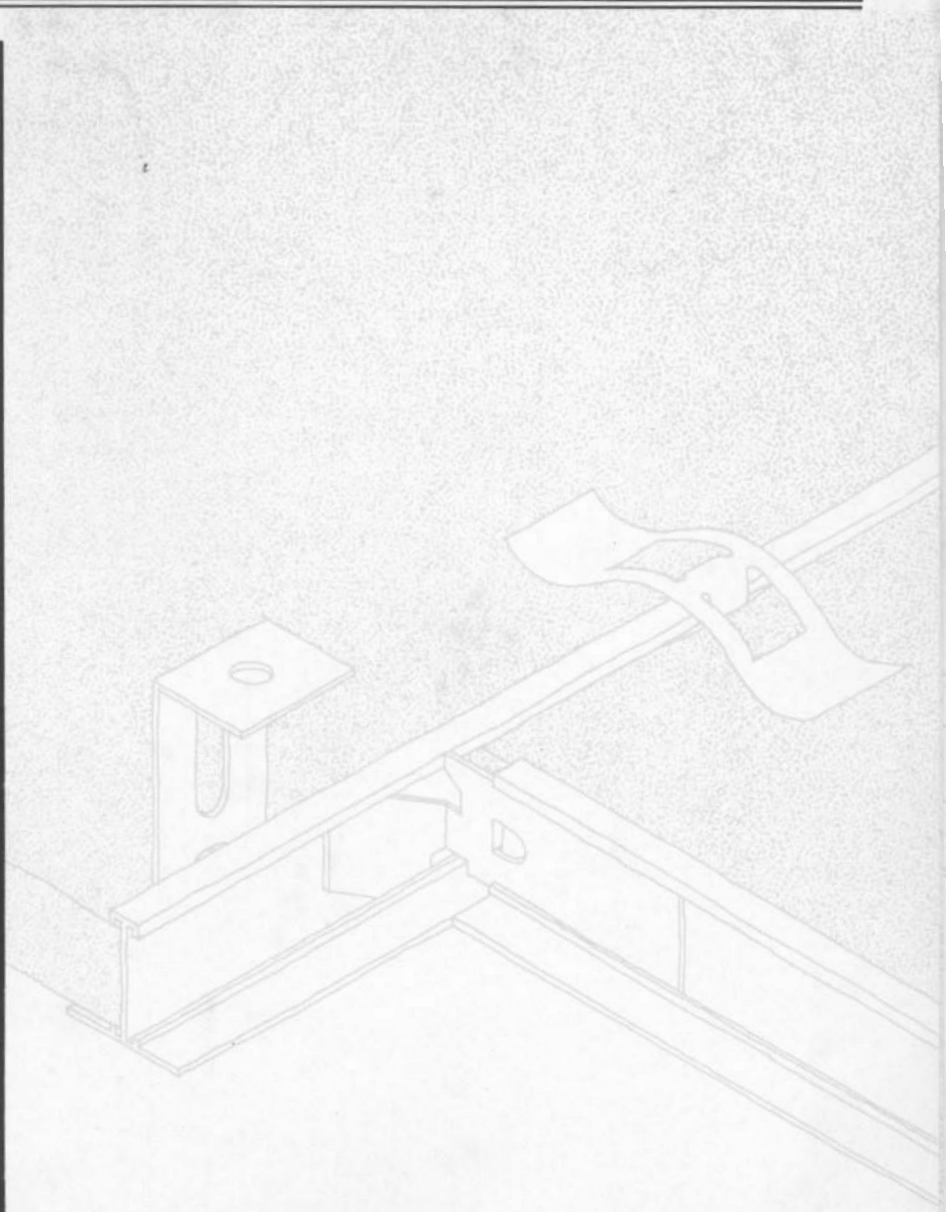
(22) SILVA, R.B., *Manual de Termodinâmica* - Transmissão de calor.
Ed. Grêmio Politécnico, SP, 1980.
(23) SOARES, L., *The Non-Environment Control Room.*
Studio Sound, pag. 22 a 29, november 1991.
(24) VENET, C., *Seminário sobre Acústica e Sonorização*
Fundição Progresso, agosto de 1990.
(25) WETHERILL, E., *Architectural Acoustics. The Forgotten Dimension,*
Audio Engineering Society Preprint, Los Angeles, 1990.
(26) SLAMA, J.G., *Seminário Sobre Acústica* - Curso de Conforto Ambiental
FAU/UFRJ, setembro 1989.
(27) SAMIR, N.Y.G., *Palestra sobre Acústica* - Encontro Nacional de Conforto
no Ambiente Construído, julho 1990, Gramado, RS
(28) MANSON, C.A., *Acoustics of Cinema Auditoria* (1941) - Benchmark Papers
in Acoustics
Ed. Thomas D. Northwood, 1977, USA pg. 42 a 47.
(29) SCHRAG, R., *Exposing Acoustical Myths*
Broadcast Engineering, march 1992, pg. 69 a 75.
(30) LEHMANN, R., *Revue Critique des Théories de la Reverbération*
Revue d'Acoustique nº 59 - 1981, pg. 293 a 302.
(31) KORTCHMAR, L. e VIVEIROS, E.B., *Repetibilidade do Método de Medição de Absorção Sonora em Tubo de Impedância*
IV Seminário Internacional de Controle de Ruído, maio 1992.
(32) PIZZUTTI, J.L. et al , *Estudo de Materiais Alternativos para Uso em Absorção Acústica*
IV Seminário Internacional de Controle de Ruído, maio 1992.

Anexo 3. Folhetos dos Fabricantes

FORROVID GLACIAL







ISOVER
SANTA MARINA

FORROVID GLACIAL

APRESENTAÇÃO

Placas para forro com características termo-acústicas, constituídas por lã de vidro aglomerada por resinas sintéticas. Revestidas na face aparente por filme plástico gravado, decorativo e auto-extinguível.
Cor: Branca
Dimensões Nominais: 1250 x 625 x 25 mm ou 1200 x 600 x 25mm (sob encomenda)
Densidade: 60 kg/m³
Peso: 1,5 kg/m²

APLICAÇÕES

Desde pequenos escritórios até grandes magazines, passando por vários tipos de construções, os mais de 10 milhões de metros quadrados já aplicados, aliados às excelentes performances térmicas e acústicas transformam Forrovid Glacial em sinônimo de conforto e economia.

ISOLAÇÃO TÉRMICA

- **Conforto Térmico:** Reduz o fluxo de calor/frio entre ambientes distintos.
- **Economia de Energia:** Diminui o consumo de energia em ambientes climatizados com consequentes ganhos em durabilidade dos equipamentos.
- **Conservação:** Um melhor condicionamento térmico do ambiente facilita a conservação de estoques de produtos diversos.
- **Produtividade:** Ambientes em condições térmicas adequadas são o ponto de partida na busca do melhor desempenho de funcionários e da satisfação e conforto de clientes.

- Coeficiente de Condutividade Térmica a 24°C (K)
  0,027 Kcal/m.h.°C = 0,031 w/m°C

- Resistência Térmica (R)
  $0{,}93 \frac{m^2.h.°C}{Kcal} = 0{,}81 \frac{m^2 °C}{w}$

PERFORMANCE ACÚSTICA

Por absorção e difusão das ondas sonoras, Forrovid Glacial reduz os efeitos da reverberação tornando os ambientes mais agradáveis acusticamente, facilitando a inteligibilidade da fala e sons em geral, possibilitando ainda a redução do ruído aéreo ambiente em alguns decibéis.
A presença do desconforto acústico nos ambientes pode provocar irritação e fadiga nos seus ocupantes, com óbvios prejuízos ao desempenho e satisfação na execução de todo o tipo de atividade.

ABSORÇÃO SONORA						
Freqüência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de Absorção Sonora	0,20	0,38	0,48	0,51	0,25	0,11

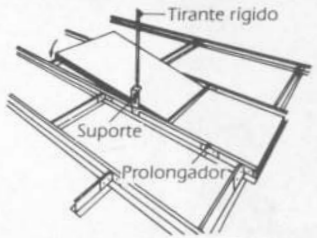
Certificado nº 775.490 - Instituto Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo

SEGURANÇA

O comportamento ao fogo de um forro, em caso de incêndio, pode determinar a redução de danos e a rapidez e segurança na evacuação do imóvel.
Forrovid Glacial classifica-se como tipo A no Código de Edificações do Município de São Paulo, artigo 103, segundo dados do certificado nº 793.128 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo. Pode ser aplicado em construções classe 1 segundo o Instituto Resseguros do Brasil, nº CT - DITRI - 459/89.

MONTAGEM

Utiliza-se perfis metálicos para sustentação.
Peso total aproximado (perfis+placas) = 2,0 kg/m²



MANUTENÇÃO

As placas são removíveis permitindo o acesso a instalações sobre o forro.
A limpeza das placas pode ser feita com uma esponja umedecida em água e sabão neutro.

ILUMINAÇÃO

Recomenda-se o uso de luminárias suspensas ou embutidas evitando que a ação do calor possa prejudicar o revestimento.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

- Total estabilidade dimensional
- Facilidade de recortes e aplicação
- Rapidez na montagem
- Não é atacado por insetos ou roedores
- Não favorece a proliferação de fungos ou bactérias
- Não apodrece
- Não afeta as superfícies em contato

AS CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS PODERÃO SER MODIFICADAS SEM PRÉVIO AVISO, À CRITÉRIO DA EMPRESA.

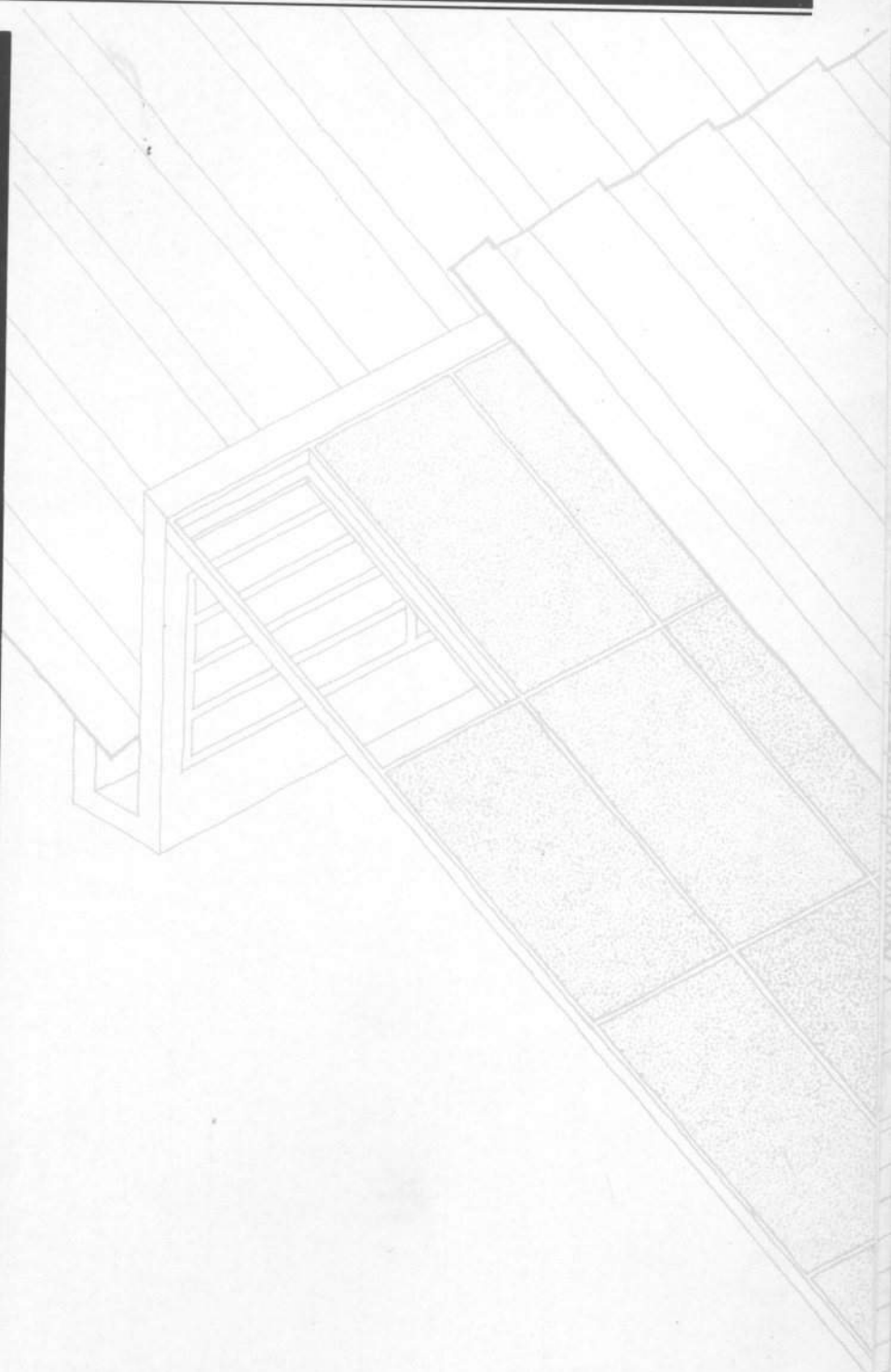
DISTRIBUIDOR

Ligue para (011) 247-2122. E receba a melhor orientação

Para maiores informações ou colaborações técnicas, comunique-se com nosso Departamento Técnico Especializado.
A Isover-Santa Marina está sempre bem perto de você através de sua Rede de Distribuidores Autorizados presentes em todo o território Nacional.

ISOVER
SANTA MARINA

FORROVID
SHEDISOL



ISOVER
SANTA MARINA

FORROVID SHEDISOL

APRESENTAÇÃO

Placas termo-acústicas para forros, constituídas por lã de vidro aglomerada por resinas sintéticas, revestidas na face aparente por filme plástico auto-extinguível.
Cores: Verde ou Branca
As tonalidades das cores, bem como a distribuição da coloração, podem variar em cada placa.
Dimensões Nominais:

	VERDE	BRANCO
Comp. (mm)	1207	1207
Larg. (mm)	607	607
Esp. (mm)	15	15 ou 25

Densidade: 60 kg/m³
Peso:

Esp. (mm)	15	25
Kg/m²	0,9	1,5

APLICAÇÕES

A linha de produtos Shedisol foi desenvolvida especialmente para aplicações em áreas industriais, armazéns, galpões, etc, buscando oferecer soluções termo-acústicas, com segurança e a custo acessível.

ISOLAÇÃO TÉRMICA

As coberturas de prédios industriais são geralmente constituídas por materiais que acarretam elevadas trocas térmicas com o ambiente externo. Forrovid Shedisol vem auxiliar na redução destes problemas melhorando a condição ambiental. Condições térmicas adequadas são primordiais para estimular uma maior produtividade do trabalho humano.
Em áreas climatizadas, buscando economia de energia ou em qualquer atividade que necessite cuidados com a temperatura ambiente, Forrovid Shedisol é a opção ideal.

- Coeficiente de Condutividade Térmica a 24°C (K) 0,027 Kcal/m.h.°C = 0,031 w/m°C
- Resistência Térmica (R)

Esp. (mm)	15	25
R (m².h.°C/Kcal)	0,56	0,93
R (m².°C/w)	0,48	0,81

PERFORMANCE ACÚSTICA

Graças a seus índices de absorção sonora Forrovid Shedisol favorece a redução do nível sonoro interno, podendo adequar os ambientes de trabalho ao conforto. A irritação e fadiga que o desconforto acústico podem causar são fatalmente prejudiciais ao desempenho humano.

ABSORÇÃO SONORA							
Freqüência (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de Absorção Sonora	15mm	0,09	0,07	0,26	0,57	0,58	0,56
	25mm	0,20	0,31	0,41	0,58	0,58	0,49

Certificados nº 739.259 e nº 781.848 - Instituto Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo

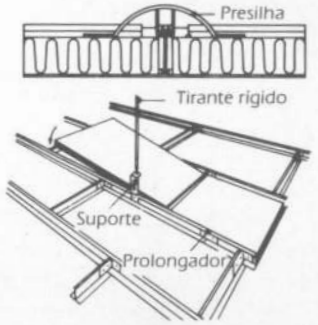
SEGURANÇA

O comportamento ao fogo de um forro, em caso de incêndio, pode determinar a redução de danos e a rapidez e segurança na evacuação do imóvel.
Forrovid Shedisol classifica-se como abaixo, no Código de Edificações do Município de São Paulo, artigo 103, segundo dados dos certificados nº 782.241 e nº 781.591 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo

Esp. (mm)	15	25
Classificação	A	B

MONTAGEM

Utiliza-se perfis metálicos para sustentação.
Peso Total Aproximado (perfis + placas) = 2,0 kg/m²



MANUTENÇÃO

As placas são removíveis permitindo o acesso a instalações sobre o forro.
A limpeza das placas pode ser feita com uma esponja umedecida em água e sabão neutro.

ILUMINAÇÃO

Recomenda-se o uso de luminárias suspensas ou embutidas evitando que a ação do calor possa prejudicar o revestimento.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

- Total estabilidade dimensional
- Facilidade de recortes e aplicação
- Rapidez na montagem
- Não é atacado por insetos ou roedores
- Não favorece a proliferação de fungos ou bactérias
- Não apodrece
- Não afeta as superfícies em contato.

AS CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS PODERÃO SER MODIFICADAS SEM PRÉVIO AVISO, À CRITÉRIO DA EMPRESA.

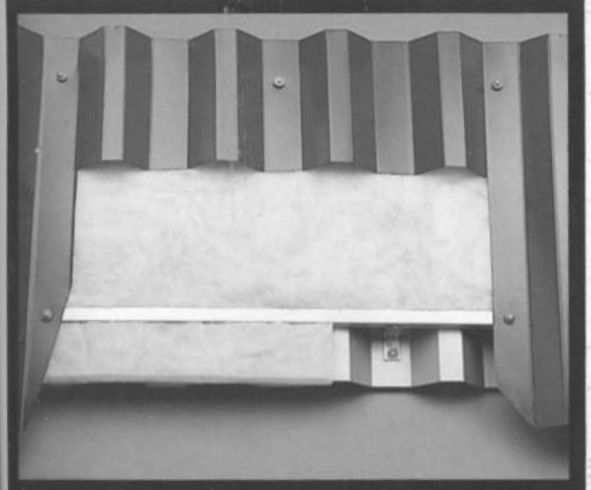
DISTRIBUIDOR

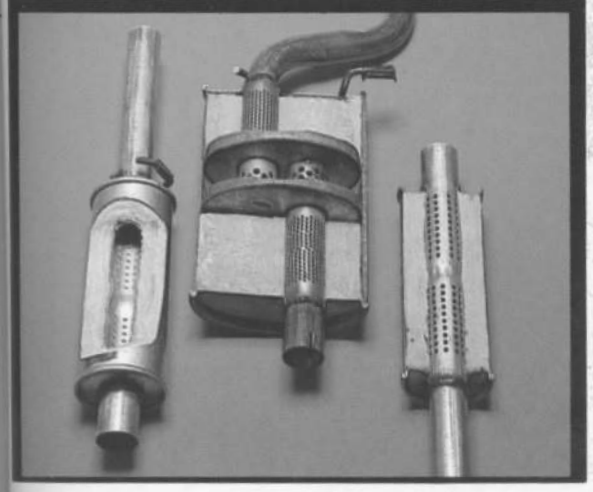
Ligue para (011) 247-2122. E receba a melhor orientação

Para maiores informações ou colaborações técnicas, comunique-se com nosso Departamento Técnico Especializado.
A Isover-Santa Marina está sempre bem perto de você através de sua Rede de Distribuidores Autorizados presentes em todo o território Nacional.

ISOVER
SANTA MARINA

FELTROS FSB





ISOVER
SANTA MARINA

FELTROS FSB

APRESENTAÇÃO

Leves e flexíveis, com características termo-acústicas, constituídos de lã de vidro fabricada pelo processo TEL, aglomerada por resinas sintéticas, fornecido sob a forma de rolos, em várias densidades e espessuras:

REFERÊNCIA	DENSIDADE (kg/m³)	ESPESSURA (mm)	COMP. (m)	LARGURA (m)
FSB-12	12	50	12,5	1,20
		75	10,0	
		100	7,5	
FSB-16	16	25	25,0	
		50	12,5	
FSB-20	20	25	25,0	
		50	12,5	
FSB-35	35	13	25,0	

APLICAÇÕES

Na Construção Civil

- Isolação térmica de coberturas
- Fabricação de telhas duplas isolantes
- Isolação térmica de forros
- Isolação acústica em paredes duplas
- Absorção acústica em ambientes diversos
- Isolamento de ruidos de impacto em pisos (FSB-35)

Na Indústria

- Isolação termo-acústica em automóveis, caminhões, ônibus, trailers, barcos, etc.
- Utilizado como absorvente acústico em escapamentos de veículos.
- Isolação térmica de estufas, caldeiras e outros equipamentos industriais, em temperaturas de até 150°C (FSB-20)
- Isolação acústica de equipamentos

ISOLAÇÃO TÉRMICA

Na indústria ou construção civil os feltros FSB proporcionam ótimas soluções em isolamentos térmicos graças a seus baixos coeficientes de condutividade:

- Coeficiente de condutividade térmica a 24°C (K)

DENSIDADE kg/m³	K	
	Kcal / m.h.°C	W / m.°C
12	0,039	0,045
16	0,036	0,042
20	0,033	0,038
35	0,029	0,034

PERFORMANCE ACÚSTICA

Agindo por difusão e absorção das ondas sonoras, reduzem a reverberação, tornando os sons mais inteligíveis e podendo reduzir o nível sonoro do ambiente considerado em alguns decibéis.

ABSORÇÃO SONORA						
Freqüência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de Absorção Sonora	0,21	0,58	0,84	1,00	0,99	1,03

Certificado nº 775.516 - FSB 20×50 mm
Instituto Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo

SEGURANÇA

Os produtos da linha de feltros FSB recebem classificação de incombustíveis.
Certificado nº 637.801 - Instituto Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo

MONTAGEM

Os feltros FSB são de rápida aplicação podendo ser cortados facilmente com uma lâmina afiada.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

- Total estabilidade dimensional
- Não são atacados por insetos ou roedores
- Não favorecem a proliferação de fungos ou bactérias
- Não apodrecem
- Não afetam as superfícies em contato

AS CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS PODERÃO SER MODIFICADAS SEM PRÉVIO AVISO, À CRITÉRIO DA EMPRESA.

DISTRIBUIDOR

Ligue para (011) 247-2122. E receba a melhor orientação

Para maiores informações ou colaborações técnicas, comunique-se com nosso Departamento Técnico Especializado.
A Isover-Santa Marina está sempre bem perto de você através de sua Rede de Distribuidores Autorizados presentes em todo o território Nacional.

ISOVER
SANTA MARINA

ROLLISOL

ISOVER
SANTA MARINA

ROLLISOL

APRESENTAÇÃO

Feltro leve e flexível, com características termo-acústicas, constituído por lã de vidro aglomerada com resinas sintéticas, ensacado em filme plástico, fornecido sob a forma de rolos, em várias densidades e espessuras.

REFERÊNCIA		DENSIDADE	ESPESSURA
Auto Extinguível (preto)	Standard (amarelo)	kg/m³	mm
R-12AE	R-12STD	12	50
R-16AE	R-16STD	16	25 ou 50
R-20AE	R-20STD	20	25 ou 50

Modulação: 12,0 x 0,6 m

APLICAÇÕES

Simplesmente depositado sob forros falsos em geral para obtenção de conforto ambiental, seja através da isolação térmica que proporciona, seja pela absorção acústica quando estes forros forem vazados, ou ainda visando economia de energia em ambientes climatizados.

ISOLAÇÃO TÉRMICA

Proporcionam ótimas soluções em isolamentos térmicos graças a seus baixos coeficientes de condutividade.

- Coeficiente de condutividade térmica a 24°C (K)

DENSIDADE kg/m³	K	
	Kcal / m.h°C	w / m.°C
12	0,039	0,045
16	0,036	0,042
20	0,033	0,038

PERFORMANCE ACÚSTICA

Quando aplicado sobre forros vazados, pela absorção e difusão das ondas sonoras, diminuem a reverberação do ambiente melhorando a inteligibilidade dos sons, inclusive da fala.
A falta de conforto acústico num ambiente pode provocar irritação e fadiga em seus ocupantes, prejudicando o desempenho de suas atividades.

ABSORÇÃO SONORA						
Freqüência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de Absorção Sonora	0,15	0,45	0,75	0,90	0,69	0,63

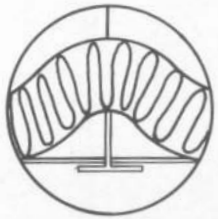
Certificado nº 776.046 - Instituto Pesquisas Tecnológicas - IPT
Ensaio realizado com produto R-12AE 50 mm.

SEGURANÇA

Sendo a lã de vidro incombustível, Rollisol se apresenta ensacado em dois tipos de filme plástico, um auto-extinguível e um standard, para se adequar a cada necessidade.

MONTAGEM

Rápida e fácil, bastando desenrolar o produto sobre a superfície a ser isolada, podendo ser cortado com uma lâmina afiada. Em caso de recortes recomenda-se o fechamento do filme plástico por dobra e grampeamento ou através de fitas adesivas.



OUTRAS CARACTERÍSTICAS

- Total estabilidade dimensional
- Não são atacados por insetos ou roedores
- Não favorecem a proliferação de fungos ou bactérias
- Não apodrecem
- Não afetam as superfícies em contato.

AS CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS PODERÃO SER MODIFICADAS SEM PRÉVIO AVISO, À CRITÉRIO DA EMPRESA.

DISTRIBUIDOR

Ligue para (011) 247-2122. E receba a melhor orientação

Para maiores informações ou colaborações técnicas, comunique-se com nosso Departamento Técnico Especializado.
A Isover-Santa Marina está sempre bem perto de você através de sua Rede de Distribuidores Autorizados presentes em todo o território Nacional.

ISOVER SANTA MARINA

Rua João Alfredo, 177 - CEP 04747-000 - Fone: (011) 247-2122 - Santo Amaro - SP - Telex (11) 57573 - SAMA BR - Fax: (011) 523-9260

PISTOFIBRA

Cia. Vidraria Santa Marina - Rua João Alfredo, 177 - CEP 04747-000 - Fone: (011) 247-2122 - Santo Amaro - SP - Telex (11) 57573 - SMVA BR - Fax (011) ...

ISOVER
SANTA MARINA

PISTOFIBRA

APRESENTAÇÃO

Lã de vidro flocada, fabricada pelo processo TEL, utilizada para a obtenção de revestimento termo-acústico, através de processo de jateamento auto-aderente. Fornecida em sacos com aproximadamente 20 kg, podendo ser aplicada em várias densidades e espessuras:

Bruto: destinado a trabalhos de isolação não aparente, ou onde a estética não é importante.
- Densidade: 50 kg/m³

Talochado: Para trabalhos de isolação aparente.
- Densidade: 80 kg/m³

Talochado-comprimido: Para trabalhos que exigem um acabamento final mais elaborado.
- Densidade 100 kg/m³

APLICAÇÕES

Isolação térmica e correção acústica em ambientes diversos, podendo ser aplicada em vários materiais de construção tais como concreto, aço, gesso, cimento amianto, etc.

ISOLAÇÃO TÉRMICA

Para a obtenção de conforto térmico de ambientes construídos, principalmente através de isolação de coberturas.

• Coeficiente de condutividade térmica a 24°C (K)

DENSIDADE kg/m³	K	
	Kcal / m.h.°C	W / m.°C
50	0,028	0,033
80	0,027	0,031
100	0,027	0,031

PERFORMANCE ACÚSTICA

Indicado para correções acústicas de ambientes graças a sua capacidade de absorção das ondas sonoras. Pela redução da reverberação dos sons melhora sua inteligibilidade, inclusive da fala.

ABSORÇÃO SONORA						
Freqüência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de Absorção Sonora	0,07	0,33	0,64	0,75	0,89	0,96

Certificado nº 733.429
Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo

Ensaiado material com espessura variável de 30 a 40 mm.
Densidade: 60 kg/m³

SEGURANÇA

Em relação ao seu comportamento ao fogo recebe classificação tipo A de acordo com o Código de Edificações do Município de São Paulo, artigo 103, segundo dados do certificado nº. 732.410 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT - São Paulo.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

- Total estabilidade dimensional
- Não é atacado por insetos ou roedores
- Não favorece a proliferação de fungos ou bactérias
- Não apodrece
- Não afeta as superfícies em contato

AS CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS PODERÃO SER MODIFICADAS SEM PRÉVIO AVISO, À CRITÉRIO DA EMPRESA.

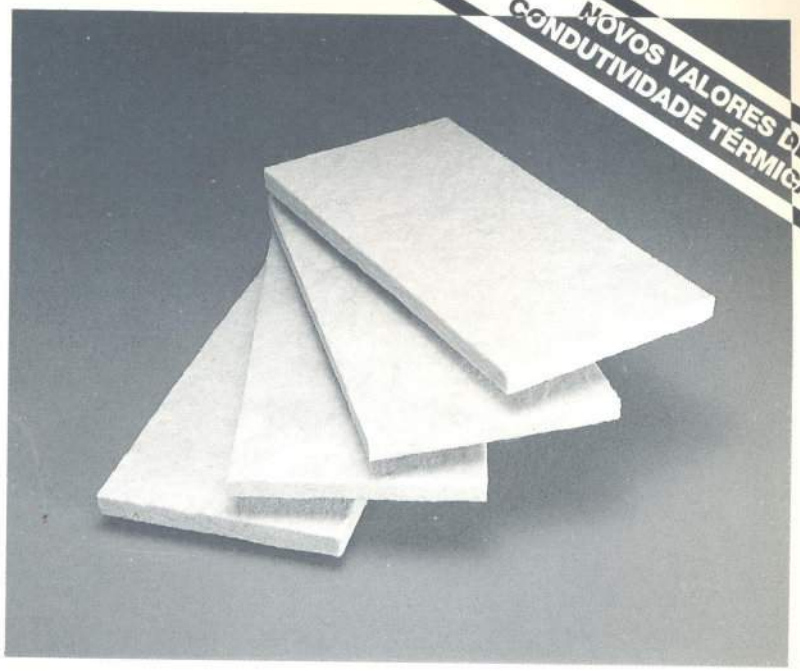
DISTRIBUIDOR

Ligue para (011) 247-2122. E receba a melhor orientação

Para maiores informações ou colaborações técnicas, comunique-se com nosso Departamento Técnico Especializado.
A Isover-Santa Marina está sempre bem perto de você através de sua Rede de Distribuidores Autorizados presentes em todo o território Nacional.

ISOVER
SANTA MARINA

Mantas Leves - Série FS
Mantas - Série MS
Painéis - Série PS
Lã de Rocha - THERMAX®



NOVOS VALORES DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA (K

Isolamento térmico, redução acústica e proteção ao fogo em tanques, equipamentos e tubulações

Descrição
Isolantes térmicos e acústicos dos tipos mantas leves, mantas e painéis, fabricados a partir de Lã de Rocha - -THERMAX®
Possuem fibras longas, densidades variadas, são aglomerados com resinas especiais e resistem a altas temperaturas.

Usos
Isolamento térmico em altas, médias e baixas temperaturas, entre - 200ºC e 750ºC e isolamento acústico.

- **Mantas Leves - Série FS**
  Leves e flexíveis, indicadas para uso em superfícies irregulares, planas ou cilíndricas, tais como: fogões, estufas, aquecedores, equipamentos industriais, tanques, tubulações, caixas acústicas, forros, divisórias e forrações de galpões industriais. Comumente trabalham em ambientes onde a temperatura não excede a 400ºC.
- **Mantas - Série MS**
  Isolantes térmicos e acústicos semi-rígidos para superfícies planas ou quase planas, utilizados em equipamentos industriais, tanques cilíndricos, tubulações de grande porte etc. Recomendadas para temperaturas de até 500ºC.
- **Painéis - Série PS**
  Isolantes térmicos e acústicos rígidos, utilizados em superfícies planas e tanques cilíndricos de grandes dimensões. Possuem altas propriedades mecânicas e trabalham sob temperaturas de até 750ºC

Características e Vantagens

Eficiência térmica
As Mantas Leves , Mantas e Painéis em Lã de Rocha - THERMAX® da Ocfibras apresentam baixo fator K, conservando energia e garantindo conforto térmico com baixos investimentos.

Integridade estrutural
A consistência e fibras de Lã de Rocha - THERMAX® garantem sua durabilidade e eficiência térmica ao longo do tempo.

Resistência a altas temperaturas
As Mantas Leves, Mantas e Painéis em Lã de Rocha - THERMAX®, suportam temperaturas de até 750ºC, sem deterioração.

Densidades variadas
Uma ampla seleção de produtos é oferecida para atender economicamente aos mais variados desempenhos técnicos.

Fácil aplicação
Dispensam rejuntamento, são fáceis de serem cortados e instalados, diminuindo os custos de mão-de-obra.

Resistência ao fogo
A Lã de Rocha - THERMAX® é incombustível, o que aumenta e assegura grande tranquilidade durante sua aplicação e principalmente em seu armazenamento.

Excelentes propriedades acústicas
Os isolantes das Séries FS, MS e PS demonstram sua versatilidade ao atuarem como auxiliares na redução de transmissão de som e como absorvedores acústicos.

Resiliência
Admitem compressão sem se deformarem permanentemente.

OWENS/CORNING FIBERGLAS

Isolantes Térmicos e Acústicos

Produtos, Tipos e Dimensões

Produtos	Tipos	Densidades (kg/m^3)	Espessuras (pol)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
Mantas Leves*	FS-13 e FS-16	20 e 25	1, 1½, 2, 2½ 3, 3½ e 4	1.200	600
Mantas*	MS-20, MS-30 e MS-40	32, 48 e 64	1, 1½, 2, 2½, 3, 3½ e 4	1200	600
Painéis*	PS-50, PS-60, PS-70 e PS-80	80, 96, 112 e 128 de 144 a 256 sob consulta	1, 1½, 2 , 2½, 3, 3½ e 4	1200	600

* Também disponíveis em formatos especiais, ou revestidos com tela, tecido ou papel.

Embalagem

Saco plástico de polietileno.

Espessuras recomendadas para superfícies planas (pol)

Produtos	Temperatura de Operação (°C)								
	0	100	200	300	400	500	600	700	750
FS-13/16	3	3	3	5	—	—	—	—	—
FS-20/MS-20	3	2	3	5	6	—	—	—	—
MS-30	3	2	3	5	6	—	—	—	—
MS-40	3	2	3	4	6	8	—	—	—
PS-50/60	3	2	3	4	6	7	8	—	—
PS-70/80	3	2	3	4	6	7	8	10	11

Obs.: Todos os produtos em Lã de Rocha - THERMAX® suportam temperaturas de até 750°C. Os limites de temperatura observados na tabela acima não são rígidos e representam a faixa ótima de atuação de cada produto. As espessuras indicadas proporcionam máxima eficiência com o menor investimento possível.

Condutividade Térmica (kcal/m.h.°C)

Produtos	Temperatura de Operação (°C)							
	0	100	200	300	400	500	600	700
FS-13	0,032	0,044	0,058	0,072	-	-	-	-
FS-16	0,030	0,041	0,053	0,066	-	-	-	-
MS-20	0,028	0,039	0,050	0,062	0,081	-	-	-
MS-30	0,028	0,038	0,050	0,062	0,080	-	-	-
MS-40	0,027	0,037	0,049	0,061	0,079	0,100	-	-
PS-50	0,029	0,037	0,046	0,057	0,071	0,087	0,107	-
PS-60	0,028	0,034	0,042	0,051	0,062	0,074	0,089	-
PS-70	0,028	0,034	0,042	0,051	0,062	0,073	0,088	0,105
PS-80	0,029	0,035	0,043	0,051	0,062	0,075	0,087	0,103

Obs.: Os valores acima foram obtidos em testes nos laboratórios da Owens-Corning Fiberglas - USA.

Coeficientes de absorção acústica

Produtos	Espessura (pol)	Freqüência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	NRC
MS-20	2	0,346	0,478	0,737	0,883	0,911	0,960	0,752
MS-20	4	0,845	0,977	1,102	1,113	1,088	1,175	1,070
MS-40	2	0,497	0,585	0,906	1,047	1,055	1,059	0,898
MS-40	4	0,869	1,228	1,194	1,150	1,119	1,092	1,173

Obs.: Valores superiores a 1 são previstos em Norma. Para efeito de projeto, utilizar valor igual a 1. Testes efetuados de acordo com as Normas ISO/R-354 e ASTM-C-423-81.

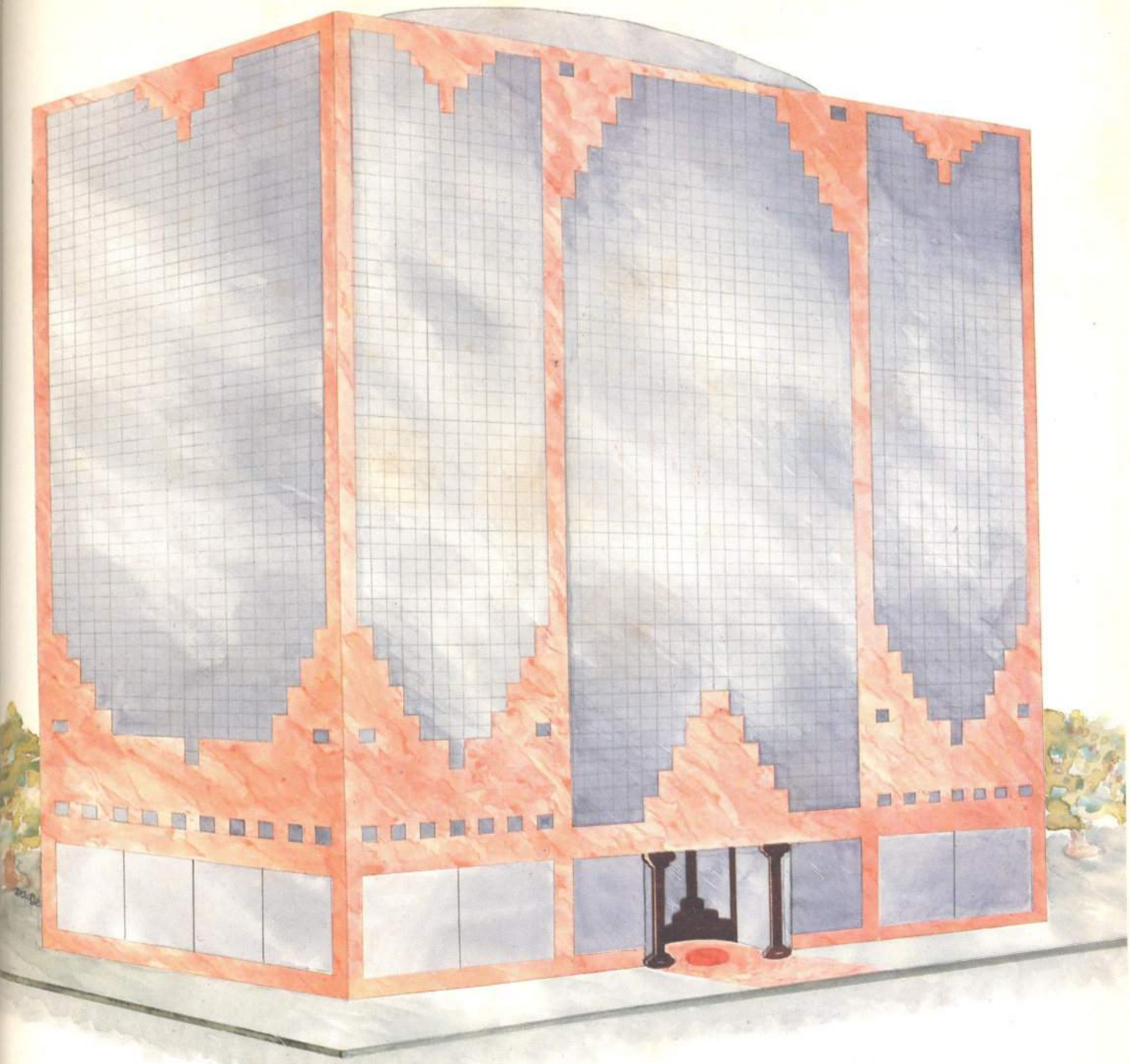
Normas

ABNT-EB-586
ABNT-EB-592
ASTM-C-553
ASTM-C-592

OWENS/CORNING FIBERGLAS

Rua Geraldo Flausino Gomes, 42, 6º andar Brooklin Novo CEP 04575 São Paulo, SP
Caixa Postal 3093 - Tel.: (011) 240-7900 PABX - Telex 11 54335 11 54176 - Fax (011) 542-2303

Pub. Nº ML - 01 - 27 - 01 - 92 Copyright© 1992 O.C. Fiberglas Ltda.



FireMaster,

a segurança de um projeto inteligente

Morganite Isolantes Térmicos Ltda.

Morgan
Thermal Ceramics

A Empresa Morganite Isolantes Térmicos Ltda. é associada ao maior produtor mundial de materiais isolantes para altas temperaturas. A "Thermal Ceramics" está envolvida desde 1928, com aplicações para contenção de energia térmica em vários segmentos industriais, tais como: siderúrgico, cerâmico, vidro, petroquímico e geração de energia.

Na década de 70, coincidindo com o início da produção de fibras cerâmicas no Brasil, a utilização destes produtos em aplicações contra-fogo foi difundida a nível mundial, tendo hoje grande aceitação como item indispensável à segurança, principalmente em prédios comerciais.

No Brasil, a Morganite Isolantes Térmicos Ltda. está presente há quase duas décadas participando de vários projetos de vulto na área de proteção contra-fogo, a exemplo das plataformas de Garoupa, Vermelho, Pargo e Carapeba e da Usina Nuclear de Angra I, entre outros.

No segmento da construção civil destacamos o fornecimento de 100.000m² de mantas de fibra cerâmica utilizadas como proteção passiva contra-fogo no Hong Kong Bank (Hong Kong).

É importante destacar que a fibra cerâmica tem origem em matérias primas sílico aluminosas de alta pureza e, livre da presença de asbestos (amianto).

O Mercado As perdas conseqüentes de incêndios, sejam humanas ou patrimoniais, são consideradas irrecuperáveis em sua totalidade devido a complexidade das ocorrências e ações envolvidas em um sinistro, por menor que seja o seu alcance.

Com o objetivo de retardar e até mesmo de eliminar ou reduzir as conseqüências que têm origem em incêndios, são projetadas proteções ativas e/ou passivas contra-fogo. As primeiras são as mais adotadas atualmente no Brasil, possibilitando um combate às chamas por intermédio de sistemas de "sprinklers", mangueiras para projeção de água, extintores manuais e gases inibidores. Estes tipos de proteção, quando utilizados, podem danificar equipamentos e/ou intoxicar pessoas próximas ao sinistro.

A utilização do sistema de proteção ativa leva também a um custo adicional, devido a recomposição de todo o sistema, após o incêndio.

A especificação de materiais isolantes e resistentes às altas temperaturas, como proteções contra-fogo em estruturas metálicas e sistemas principais como leitos de cabos de controle e redes de ventilação e exaustão entre outros, leva a classificação de uma proteção passiva contra-fogo. Este tipo já faz parte das fases de projetos e construções de edificações

em países europeus, bem como nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e Japão. Algumas vantagens podem ser obtidas com a sua utilização, como a contenção do fogo em seu foco por algum tempo, possibilitando a chegada de uma brigada de incêndio para combatê-lo.

As especificações de proteções passivas não levam obrigatoriamente à eliminação das proteções ativas, mas sim, à uma utilização racional e à um grau mais elevado na redução do risco de incêndio com a utilização dos dois tipos de proteções, quando necessários.

FIREMASTER®

A Solução Com base na sua experiência mundial em proteções passivas contra-fogo na construção civil, a Morganite Isolantes Térmicos Ltda. apresenta sua linha de produtos FireMaster, que foi planejada e desenvolvida para atender as aplicações específicas deste segmento, por se tratar de produtos isolantes, refratários, flexíveis, fáceis de se instalar, fixar e cortar. Os produtos FireMaster não liberam vapores inflamáveis ou gases prejudiciais durante sua exposição ao fogo; permitem a reutilização sem necessidade de custos adicionais para a recuperação destes sistemas; possibilitam a redução dos prêmios das apólices de seguros e têm baixo custo de instalação e manutenção. Além destas vantagens, todos os produtos da linha Kaowool FireMaster apresentam excelentes características de isolamento térmico, tratamento acústico e proteção passiva contra-fogo, dispensando assim a superposição de materiais diferentes e, conseqüentemente, reduzindo custos na execução da obra.

Os dados técnicos apresentados a seguir devem ser utilizados como referência para especificações de proteções passivas contra-fogo na construção civil.

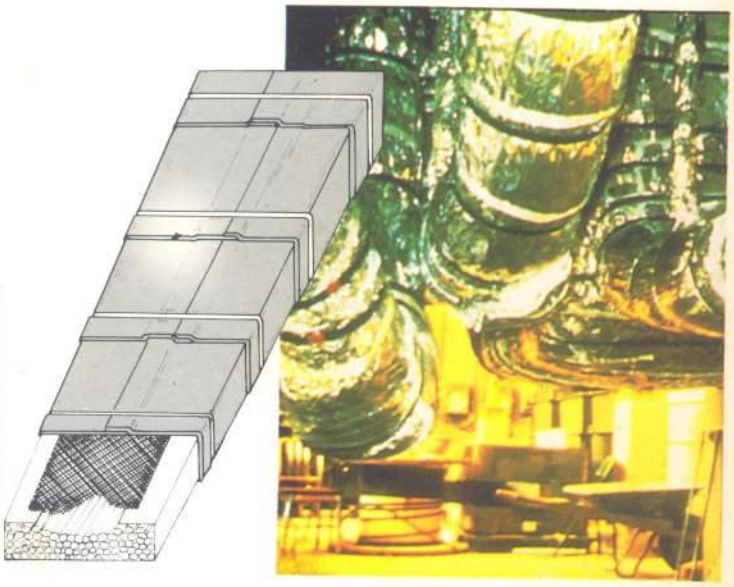
Bandejas de Cabos

Aplicação — proteção em bandejas de cabos de potência, controle e/ou instrumentação.

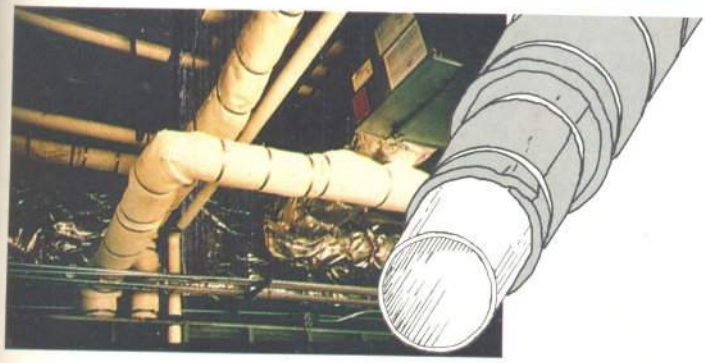
Teste — ASTM E119.

Especificação — o tempo de resistência é proporcional à espessura de Manta Kaowool FireMaster (128 Kg/m³) que envolve a bandeja.

Tempo de Resistência (min)	Espessura (mm)
30	25
60	51
90	76



Tubulações Plásticas



Aplicação — proteção em tubulações de PVC, polipropileno e CPVC.

Teste — ASTM E119.

Especificação — o tempo de resistência é determinado pela espessura de Manta Kaowool FireMaster (128 Kg/m³) que envolve a tubulação.

Tubulação	vazia	vazia	cheia	cheia	cheia
Tempo de Resistência(min)	30	60	30	60	120
Espessura (mm)	51	76	13	25	76

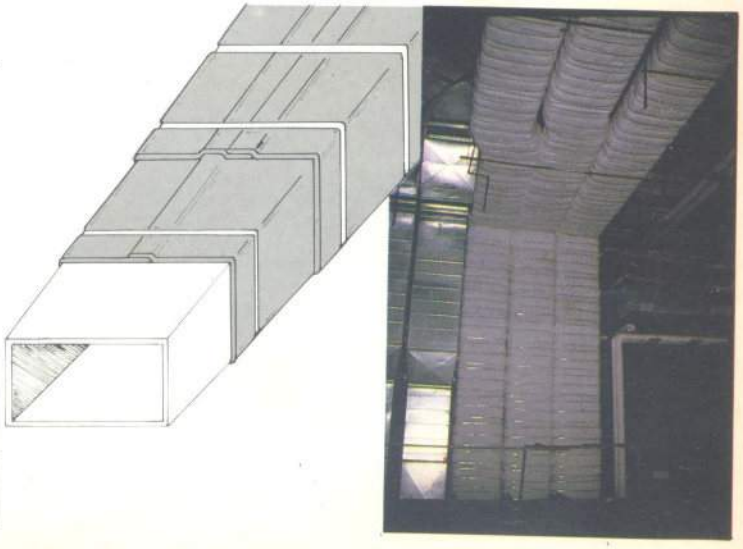
Redes de Dutos

Aplicação — proteção em dutos de gordura, ventilação (ar fresco), exaustão (gases e fumaça) e ar condicionado.

Teste — Teste Especial UL 762 e UL 959.

Especificação — o tempo de resistência é determinado pela espessura de Manta Kaowool FireMaster (128 Kg/m³) que envolve o duto.

Tempo de Resistência (min)	Espessura (mm)
120	2 x 38



Juntas de Expansão

Aplicação — proteção em juntas de expansão.

Teste — ASI 1530, parte 4.

Especificação — o tempo de resistência é determinado pela profundidade de Manta Kaowool FireMaster que é instalada na abertura, em forma de "U".

Tempo de Resistência (min)	120	180	240
Profundidade (mm)	115	135	150

Largura da Abertura (mm)	Especificação
$9 \leqslant L \leqslant 16$	2x13mm x 64Kg/m³
$16 < L \leqslant 22$	2x13mm x 96Kg/m³
$22 < L \leqslant 32$	2x25mm x 64Kg/m³

Selagens de Penetrações

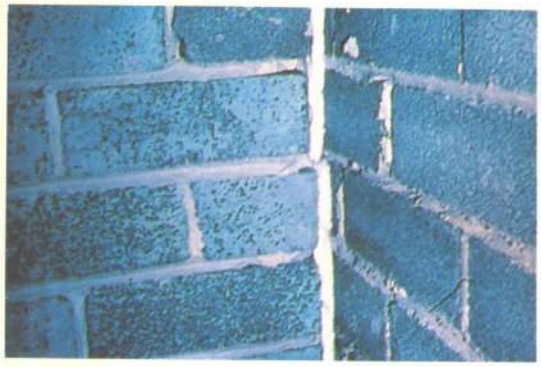
Aplicação — proteção em passagens de cabos elétricos, telefônicos e/ou tubulações por pisos, paredes e/ou tetos.

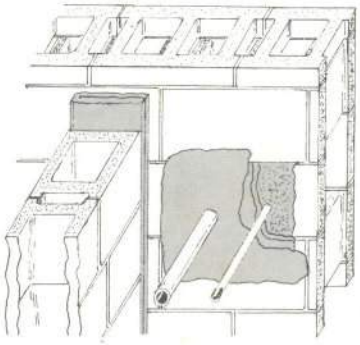
Teste — ASTM E119.

Especificação — o tempo de resistência é determinado pela espessura e pela densidade obtida na instalação de Flocos Kaowool FireMaster que envolvem os cabos e/ou tubulações e preenchem as aberturas.

Tempo de Resistência (min)	Especificação
180	203mm x 96Kg/m³
240	102mm x 128Kg/m³

As selagens de penetrações podem ser feitas com Flocos ou Mantas Kaowool FireMaster.





Estruturas Metálicas

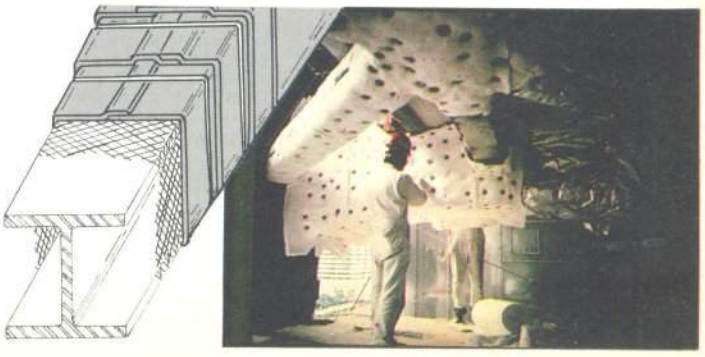
Aplicação — proteção classe A - fogo de celulose - de membros estruturais de aço.

Teste — BSI 476, parte 8 e ASTM E119.

Especificação — os objetivos da proteção dos membros estruturais em edificações são a manutenção da integridade dos locais de permanência humana durante o período de escape, restrição das proporções do incêndio e prevenção do colapso estrutural.

O conceito de resistência de um membro estrutural é definido como a capacidade de suportar a ação do fogo, enquanto desempenha as funções para as quais foi dimensionado, ou seja, suportar os carregamentos.

O tempo de resistência é função do fator de forma e da espessura de Manta Kaowool FireMaster (96Kg/m³) que envolve a estrutura. O fator de forma (F) é definido pela razão entre o perímetro de penetração de energia e a área da seção reta do perfil metálico.



Proteção de Estruturas Metálicas

Fator de Forma (m^{-1})								
Tempo de Resistência (min)	30	17 a 315	—	—	—	—	—
	60	17 a 105	106 a 165	166 a 232	233 a 315	—	—
	90	17 a 53	54 a 80	81 a 159	160 a 263	264 a 315	—
	120	—	17 a 54	55 a 73	74 a 119	120 a 167	168 a 273
	180	—	—	—	17 a 79	80 a 96	97 a 135
	240	—	—	—	17 a 49	50 a 68	69 a 108
Especificação (mm)							
Tipo de Junta	Defasada (camada dupla)	6 + 6	6 + 13	13 + 13	13 + 25	25 + 25	38 + 38
	Sobreposta* (camada única)	13	19	25	38	51	—

*** sobreposição mínima de 100 mm**

Kaowool FireMaster — Performance Acústica

Coeficiente de Absorção Sonora (ASTM C423)	Freqüência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	NRC*
Manta	25mm x 64Kg/m³	0,10	0,29	1,00	1,04	0,99	0,98	0,85
	25mm x 96Kg/m³	0,12	0,35	0,99	0,88	0,90	0,91	0,80
	25mm x 128Kg/m³	0,15	0,50	0,92	0,91	0,91	0,94	0,80
	51mm x 64Kg/m³	0,27	0,92	1,01	1,01	1,03	1,10	1,00
	51mm x 96Kg/m³	0,33	0,92	0,83	0,89	0,92	0,91	0,90
	51mm x 128Kg/m³	0,42	0,80	0,72	0,86	0,92	1,02	0,85
Placa	25mm	0,26	0,41	0,40	0,47	0,58	0,65	0,45

Perda na Transmissão Sonora (dB) (ASTM E90)								STC**
Manta	25mm x 64Kg/m³	8	10	11	12	19	26	14
	25mm x 96Kg/m³	10	12	12	15	24	34	17
	25mm x 128Kg/m³	12	14	13	18	31	45	19
Placa	25mm	17	19	22	28	39	30	27

* **NRC** coeficiente de redução sonora

** **STC** classe de transmissão sonora

Kaowool FireMaster x Outros Materiais

Característica	Manta Kaowool FireMaster	Fibra de Vidro	Lã de Rocha	Silicato de Cálcio	Gesso	Placa Kaowool FireMaster
Temperatura Máxima (°C)	1260	540	650	650	52	1260
Ponto de Fusão (°C)	1760	700	1100	1480	—	1760
Índice de Propagação de Chamas *	0	25	15	0	15	5
Desenvolvimento de Fumaça *	0	50	0	0	0	0
Contribuição Combustível *	0	—	5	0	15	0
Densidade (Kg/m^3)	64	16	64	232	768	224
Fornecimento	Rolo	Rolo	Tira	Placa	Placa	Placa

*** ASTM E84**

Morganite Isolantes Térmicos Ltda.

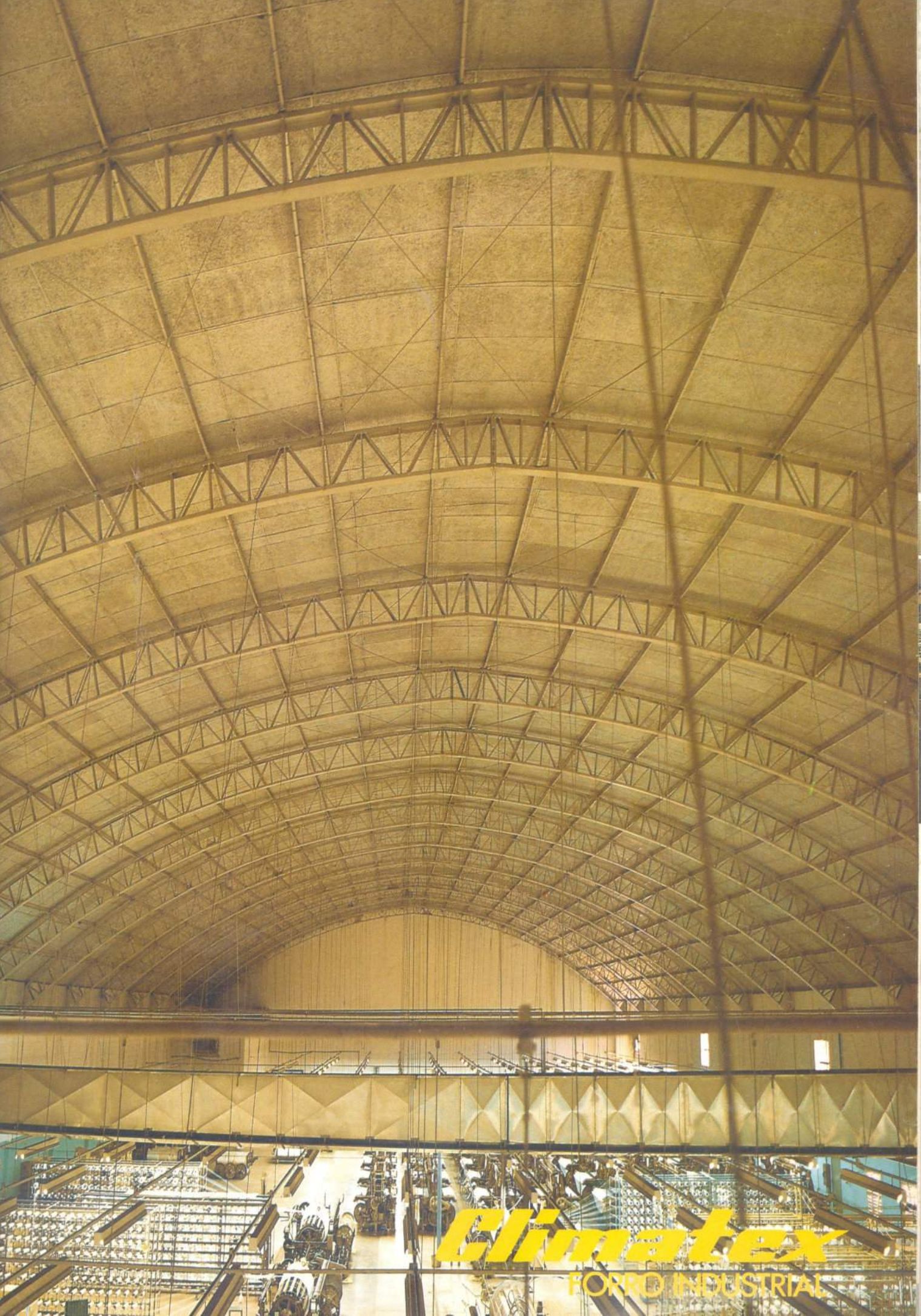
Morgan
Thermal Ceramics

Fábrica e Escritório: Rua Darcy Pereira, 83
Zona Industrial de Santa Cruz
Cep 23565 - Rio de Janeiro - RJ
Tels.: (021) 395-2366 - 395-2164 - 395-2400 - 395-2420
Telex: (21) 32781 - 34015
Fax: (021) 395-2405

Rua Campos Sales, 841 - Bairro Gameleira
Cep 30460 - Belo Horizonte - MG
Tels.: (031) 334-8729 - 332-2106
Telex: (31) 2855
Fax: (031) 334-9658

Escritório: Av. Jorge Alfredo Camasmie, 350
Parque Industrial Ramos de Freitas
Cep 06800 - Embú - SP
Tel: (011) 791-1555
Telex: (11) 71860
Fax: (011) 791-1590

Av. N. Sra. da Penha, 206 - Sala 603
Praia do Canto
Cep 29055 - Vitória - ES
Tel.: (027) 235-1410


Climatex
FORRO INDUSTRIAL

CHAPA CLIMATEX: DURABILIDADE, SEGURANÇA, CONFORTO TÉRMICO E ACÚSTICO.

As chapas Climatex vêm sendo utilizadas com excelentes resultados nos mais variados tipos de instalações de grande porte: plantas industriais, lojas de departamentos, supermercados, ginásios de esportes. São, todos, locais onde se apresentam severas exigências quanto à durabilidade, à segurança e ao conforto termo-acústico. As chapas Climatex, presentes há mais de três décadas no mercado brasileiro, vêm correspondendo a todas essas exigências, tanto em suas aplicações como revestimento como em sua utilização nos mais diversos tipos de forros.

FORRO INDUSTRIAL CLIMATEX

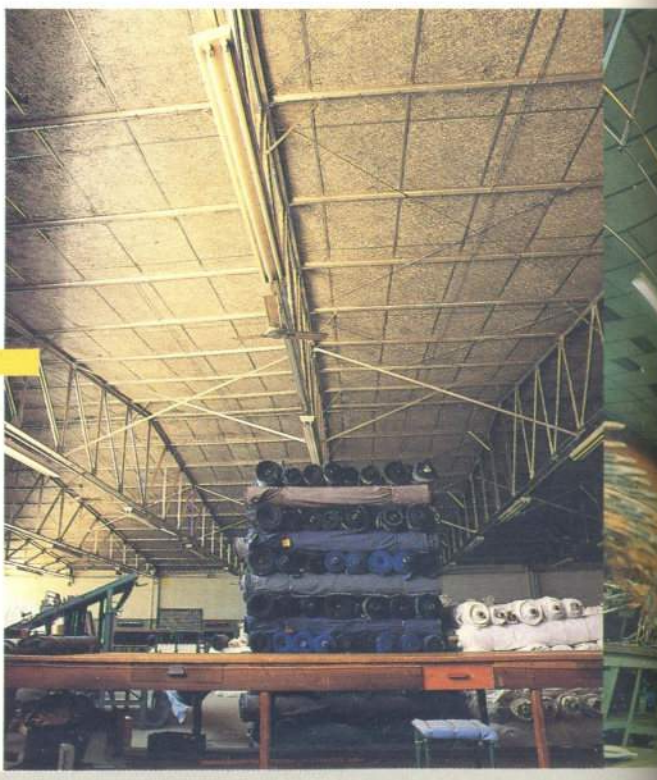
O Forro Industrial Climatex é durável em função de suas características construtivas, não se deformando diante da umidade e da agressão causada por variações de temperatura. É um forro que dispensa manutenção.

Oferece, também, a vantagem de ser produzido em material classificado como retardante ao fogo. É um item de segurança que o qualifica para aplicação em indústrias, em grandes lojas e em todos os locais onde a capacidade de retardar a propagação do fogo seja consideração importante do projeto.

O Forro Industrial Climatex proporciona conforto. Assegura o conforto térmico graças a sua baixa condutividade térmica e garante conforto acústico por elevado percentual de absorção sonora.

Com todas essas qualidades, o Forro Industrial Climatex é extremamente fácil de instalar. Suas chapas são fornecidas tanto em medidas padronizadas como em dimensões especificadas pelo cliente. Recomenda-se à aplicação diretamente sob a cobertura ou sob a forma de forro rebaixado.

Forro Industrial Climatex: à sua disposição, a solução durável e segura para a especificação de forros. A solução que também respeita as maiores exigências de conforto térmico e acústico.



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- O produto Climatex é obtido pela prensagem da mistura de cimento com fibras mineralizadas de madeira em forma de chapas.
- Esse processo de fabricação (descontinuidade do material no interior das chapas) faz de Climatex um material de qualidades únicas quanto a acústica, isolamento térmico e capacidade de retardamento de fogo, sem prejuízo de suas boas características de resistência física.
- Todas essas qualidades são avalizadas por rigorosos testes aos quais a Climatex submete seu produto, pelo uso de tecnologia alemã adaptada às condições brasileiras e pelo sucesso no mercado da construção civil.

Características Técnicas

Tipo	Dimensões Padrão*	Espessura Padrão*	Peso da Chapa kg	
			Natural Pintada	Gessada Lisa
C-25	48,4 × 198	2,5	12	15/16
CP-25/248	84 × 248	2,5	26	33/35

* Dimensões e espessuras especiais sob encomenda.

As qualidades mencionadas são expressas, em parte, pelos seguintes coeficientes característicos das chapas Climatex de 2,5cm de espessura, conforme ensaios realizados em Institutos Tecnológicos oficiais:

- Peso específico: 440 kg/m^3
- Condição térmica: 0,032 kcal/m/m^2/h/°C - IPT 170.592/59
- Altamente retardante ao fogo
  Classificado como F-30 pela norma DIN-4102
  Certificado Oficial nº 188.022 - IPT/60 - 549.687 - IPT/78 e 751.897 - IPT/87.
- Isolamento acústico: 35 a 54 db
- Absorção até 84%.

Climatex

INDÚSTRIA DE MADEIRA MINERALIZADA LTDA.

Av. Engº Frederico Dahne, 255
Fone (0512) 40.4922 - Telex: (52) 0239 - CMXI
Caixa Postal: 7054 91000 Porto Alegre RS

RIO-R. UBALDINO DO AMARAL. 80-LJ.B
TELEFONES. 232-7265*232-6127

Representante:

FORROPACOTE

grupo
eucatex
INTEGRANDO O AMBIENTE
AO HOMEM.

FORROPACOTE

Forropacote é um sistema integrado de forro (chapas mais perfis) que tem como principais características a praticidade e a rapidez na montagem.
Forropacote confere também conforto e beleza aos ambientes, devido aos padrões de acabamento de suas chapas e cores dos perfis de sustentação.
Forropacote é um dos forros mais econômicos do mercado e atende totalmente às exigências de estética, praticidade de montagem e facilidade de acesso aos serviços instalados no desvão do forro, integrando-se aos sistemas de iluminação, condicionamento de ar, sonorização, detecção e combate a incêndios e outros sistemas que se fizerem necessários.
Por todas essas razões, Forropacote tem sido aplicado com sucesso especialmente em grandes áreas, como: magazines, supermercados, auditórios, bancos, bem como em conjuntos habitacionais, escolas, etc.

DIMENSÕES (mm)	MODULAÇÕES (mm)
484x1234x12	491x1241
	500x1250
484x2484x12	491x2491
	500x2500
Obs.: medidas especiais para conjuntos habitacionais são viáveis, sob consulta, desde que o comprimento seja superior a 1200mm e não ultrapasse 3600mm.	

Estrutura de sustentação: em aço galvanizado e pintado, nas cores Branca, Preta e Cinza, seção "T" leve (invertido) ou Cartola.

Padrões
Branco e Texturado

Eucatex S.A. Indústria e Comércio
São Paulo: Av. Francisco Matarazzo, 584/612 - SP - Tel.: 823-2233 (PABX) - Telex (11) 22352 - 23154 ETEX BR • Belém: Tel.: (091) 223-1586 • Recife: Tels.: (081) 224-3680/3415 • Salvador: Tels.: (071) 235-0620/0629 • Brasília: Tels.: (061) 226-0180/0220 • Belo Horizonte: Tel.: (031) 223-7488 • Rio de Janeiro: Tel.: (021) 266-5522 (PABX) • Curitiba: Tel.: (041) 222-9176 (PBX) • Porto Alegre: Tel.: (051) 24-2044 (PABX)

FORRO FIBRAROC

grupo
eucatex
INTEGRANDO O AMBIENTE
AO HOMEM.

FORRO FIBRAROC

Fibraroc é um sistema de revestimento para forros de máxima segurança, composto por chapas à base de vermiculita (produto mineral) depositadas em perfis de sustentação de aço galvanizado pintado com epóxi-poliéster.
O Forro Fibraroc é dotado de excelentes propriedades fogo-retardantes, baixo coeficiente de condutibilidade térmica, alto coeficiente de absorção de som e integra-se facilmente aos sistemas de iluminação, condicionamento de ar, detecção e combate a incêndios, sonorização e outros.
Possui classificação Classe A (conforme ASTM-E84) e Classe 1 (conforme BS 476 - Parte 7 - Seção 2) quanto ao alastramento superficial de chamas, o que assegura seus altos níveis de segurança.
Fibraroc é patente mundial da Eucatex e foi desenvolvido para ambientes que exigem conforto, beleza, praticidade e segurança.

DIMENSÕES (mm)	MODULAÇÕES (mm)
462×1243×15	469×1250
	1250×1250 *
593×1193×15	600×1200
484×1234×15	500×1250
	1250×1250 *
609×1234×15	625×1250

Estrutura de sustentação: em aço galvanizado de seção "T" leve (invertido) ou Cartola, pintado em epóxi-poliéster, nas cores Branca, Preta e Cinza.

(*) Quadro com duas chapas e uma luminária central

Padrão:
Texturado.

Eucatex S.A. Indústria e Comércio
São Paulo: Av. Francisco Matarazzo, 584/612 - SP - Tel.: 823-2233 (PABX) - Telex (11) 22352 - 23154 ETEX BR • Belém: Tel.: (091) 223-1586 • Recife: Tels.: (081) 224-3680/3415 • Salvador: Tels.: (071) 235-0620/0629 • Brasília: Tels.: (061) 226-0180/0220 • Belo Horizonte: Tel.: (031) 223-7488 • Rio de Janeiro: Tel.: (021) 266-5522 (PABX) • Curitiba: Tel.: (041) 222-9176 (PBX) • Porto Alegre: Tel.: (051) 24-2044 (PABX)

CHAPAS ISOLANTE NATURAL E SUPER

grupo
eucatex
INTEGRANDO O AMBIENTE
AO HOMEM.

CHAPAS ISOLANTE NATURAL E SUPER

As Chapas Isolantes Eucatex são painéis de fibras de madeira entrelaçadas por um processo especial que conferem ao produto final excelentes propriedades termoacústicas.
As Chapas Isolantes são leves, inodoras, de fácil instalação e não emitem gases tóxicos ao queimar.

Indicada para o revestimento de: câmaras frigoríficas, pisos de quadras esportivas, dutos, lajes, pisos antivibratórios, quadros de aviso, instalações avícolas, estábulos, embalagens de produtos frágeis, miolo de divisórias e um sem-número de aplicações onde o isolamento térmico e/ou acústico é essencial.

Chapa Isolante Natural
Recomendada para temperaturas até 90°C

Densidade:
260kg/m³

Coeficiente de Condutibilidade Térmica:
λ=0.043 Kcal. m / m²h°C (0,050 W / mK)

Coeficiente Médio de Absorção de Som:
30% (250 a 2000 HZ)

Dimensões:
1220 × 2440mm

Espessura:
12mm

Nota: pode ser pintada com qualquer tipo de tinta, exceto as excessivamente alcalinas.

Chapa Isolante Super
Recomendada para temperaturas de - 40°C até 90°C

Densidade:
230 kg/m³

Coeficiente de Condutibilidade Térmica:
λ=0.031 Kcal. m / m²h°C (0,036 W / mK)

Taxa Máxima de Compressão recomendada:
4 toneladas/m²

Dimensões:
1220 × 2440mm

Espessuras:
12,7 e 25,4mm

Eucatex S.A. Indústria e Comércio
São Paulo: Av. Francisco Matarazzo, 584/612 - SP - Tel.: 823-2233 (PABX) - Telex (11) 22352 - 23154 ETEX BR • Belém: Tel.: (091) 223-1586 • Recife: Tels.: (081) 224-3680/3415 • Salvador: Tels.: (071) 235-0620/0629 • Brasília: Tels.: (061) 226-0180/0220 • Belo Horizonte: Tel.: (031) 223-7488 • Rio de Janeiro: Tel.: (021) 266-5522 (PABX) • Curitiba: Tel.: (041) 222-9176 (PBX) • Porto Alegre: Tel.: (051) 24-2044 (PABX)

Somax
Tecnologia
Acústica Ltda.

sub licença
The Salex Group Limited
Noise Control Engineers

Linha de Produtos

Boletim Geral 08/92

Solucionar problemas de ruído e vibração requer uma grande experiência e uma tecnologia apurada. O Grupo Salex, líder mundial no controle de ruído e vibração, licenciou a Somax (para todo o Cone Sul) que assim, pode colocar a sua disposição os seus produtos, equipamentos e sistemas de última geração. A linha Somax não limita-se ao mercado do Ar Condicionado e da Ventilação mas também com produtos específicos ao Industrial e da Construção Civil.
Neste boletim são apresentados os produtos mais representativos de uma extensa linha sempre utilizando a mais avançada tecnologia com origem nos laboratórios de pesquisa da Salex em Colchester (UK).

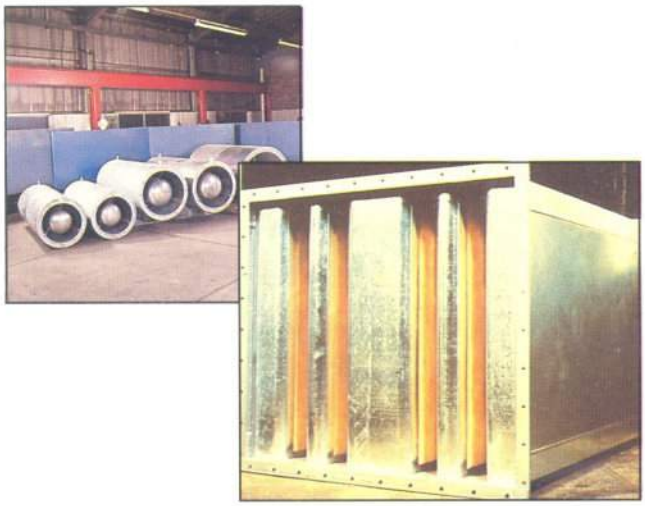
Atenuadores de Ruído

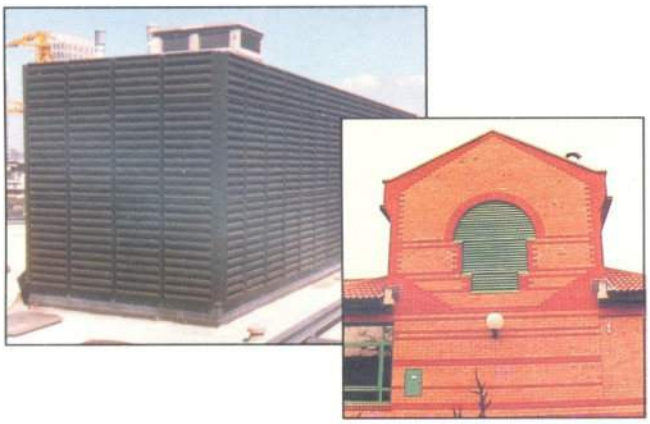
Usados para controlar o ruído, especialmente em sistemas de ar condicionado, ventilação, e mesmo em ventiladores e turbinas, são apresentados em formas retangulares e cilíndricas.

- Retangular, assimétrico, denominado RAS, com múltiplas variações e combinações para atender tanto aos mercados de HVAC como Industrial.

Possibilita atenuações altas em todas as freqüências com perda de carga mínima.

- Cilíndrico denominado MCA e MCPA, pode ser usado para acoplamento direto ao ventilador ou no meio de uma rede de dutos.



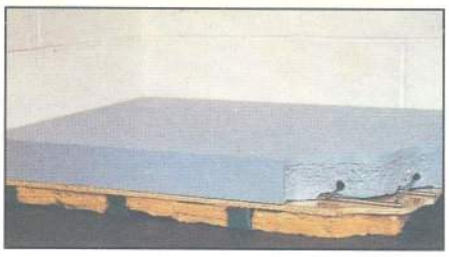


Louvres

Venezianas acústicas usadas para impedir a entrada ou saída do ruído e deixando o ar circular. Atenuações de até 20 dBA podem ser obtidas. São usadas para enclausuramentos de máquinas que necessitam de ventilação natural e em fachadas de prédios, neste caso, funcionando como tomadas de ar impedindo a entrada de ruído externo.
Apresentadas com ampla gama de dimensões, acessórios e cores para atender a todas as exigências estéticas.

Portas

Fabricadas nas versões acústica, herméticas ou corta-fogo, em metal ou madeira. Para uso na construção civil ou industrial, são próprias para aplicações em ambientes com tratamento acústico rigoroso como estúdios de TV e Rádio, bem como nas suites para testes audiológicos.

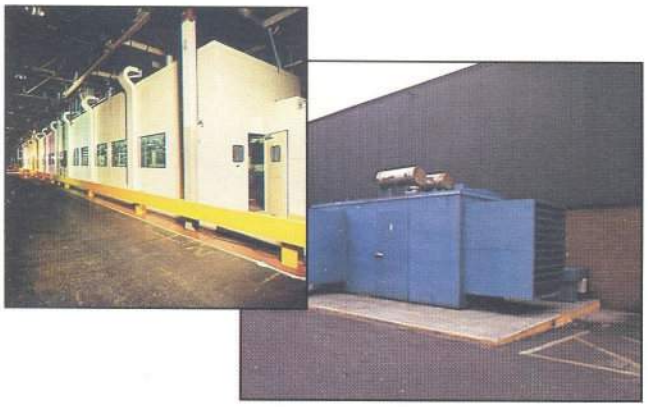


Piso Flutuante

O sistema de piso flutuante KINETIC proporciona um indice de redução acústico superior ao que se conseguiria com uma massa três vezes maior. O sistema incorpora coxins de neoprene e isolamento de fibra de vidro. Pode ser usado desde uma sala de máquinas situada em prédios residenciais até em estúdios complexos. Destaca-se o seu uso em aplicações industriais como amortecedor para trilhos de metrô.

Unidades Terminais VAV

São unidades de volume de ar variável ou de volume constante, caracterizando-se pelo baixo nível de ruído com aplicação nos sistemas de ar condicionado.
O tipo Eurobox é um dos mais recentes lançamentos da Salex no mercado mundial. Padrão para a Comunidade Européia, é o ponto alto da linha, destacando-se pela sua alta performance.

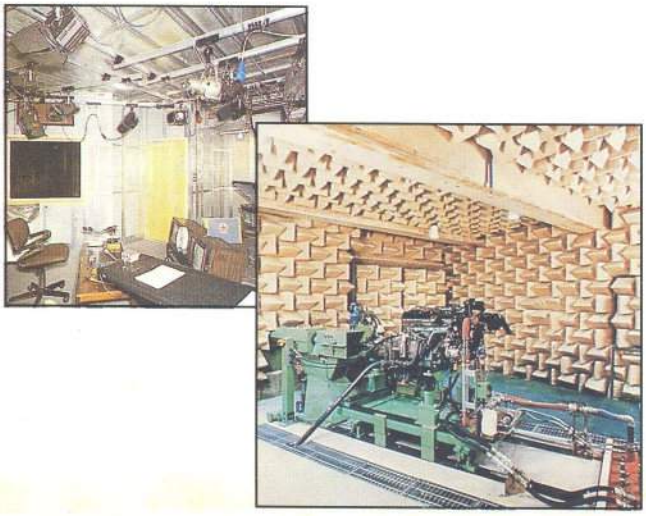


Enclausuramentos Acústicos

Consistem em enclausurar a fonte de ruído, isto é, envelopar acusticamente a máquina, para minimizar o ruído nos ambientes contíguos. Pode ser usado também como refúgio em locais muito ruidosos.
O enclausuramento tipo AEX consiste no sistema inteiramente modular, dispensando armações pesadas, e com diversos acessórios que atendem a todas as necessidades, oferecendo ainda a melhor performance acústica com o menor custo.

Controle de Vibração

Ampla linha de produtos desenvolvida pela KINETIC com todos os tipos de molas e coxins.
A linha completa inclui ainda bases de inércia prontas e suspensões antivibratórias para tubulações e redes de dutos.

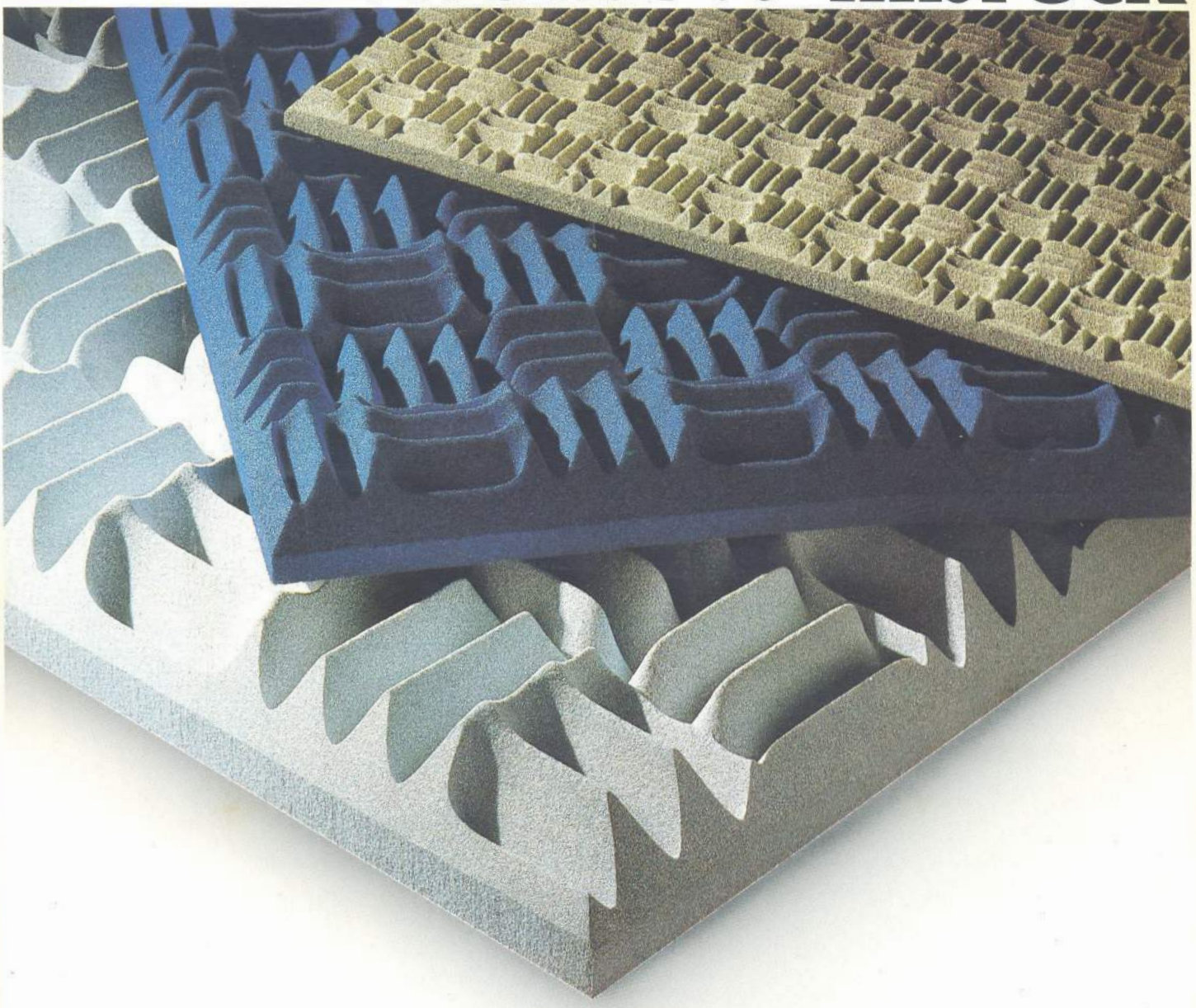


Total Acoustical Responsability

A Somax, além de fornecer os componentes, está pronta a aceitar contratos "turnkey" para fornecimentos de estúdios de TV, Rádio e Gravação, bem como Salas Anecóicas e ainda cabines para testes audiométricos. Com a experiência do Grupo Salex, o fornecimento de tais sistemas obedece ao conceito de "Total Acoustical Responsability", que pode ser estendido à aplicações industriais como plataformas "Off Shore" e turbinas a gás.

Somax Tecnologia Acústica Ltda.
Praça Olavo Bilac, 28 sl. 612
Telefone (021) 242-0149
Fax (021) 242-1392
20041 Rio de Janeiro RJ Brasil

TRORION-illbruck



SONEX®

A placa acústica profissional

Sonex® é um absorvedor acústico de alto desempenho, produzido à base de espuma flexível de poliuretano poliéster, auto-extinguível, especificamente para fins acústicos, que captura e dissipa as ondas sonoras vindas de qualquer direção. A sua configuração superficial tem como princípio as cunhas anecóicas, contribuindo decisivamente para a eliminação dos problemas de eco e a obtenção do tempo de reverberação adequado. Em razão dessa excelente performance, Sonex® reduz os níveis de ruído ambiente, minimizando o barulho indesejável.

Como trabalha o Sonex®

A energia acústica incidental penetra pelos poros e dissipa-se por reflexões múltiplas e atritos entre as ondas sonoras e a estrutura celular, transformando em energia térmica, a qual é dissipada do material absorvedor por convecção natural. Essa conversão não acarreta elevação da temperatura, pois é mera fração de grau.

Área administrativa – ZF do Brasil S.A. (SP)

Restaurante América – Shopping Iguatemi (SP)

A eficiência de absorção sonora do Sonex® se deve ao equilíbrio entre suas propriedades físicas, em particular a densidade, a resistividade ao fluxo de ar e o tamanho e forma das células.

Especificações

As diversas espessuras disponíveis permitem sintonizar o Sonex®, a fim de obter-se a absorção ideal de freqüências problemáticas. Tal ajuste permite que se faça a melhor escolha, em termos de custos versus eficácia em freqüências específicas.
Sonex® apresenta-se na cor natural cinza-grafite e também em outras cores, graças a uma pintura retardante à chama que não obstrui seus poros.
Além das características de absorção, Sonex® é vantajoso pela baixa condutividade térmica da espuma de poliuretano poliéster.

a de sonorização – Cia. Produtora de Imagens FRAME (SP)

Baffles®

São painéis suspensos, totalmente montados e prontos para uso imediato. Os baffles® são dotados de orifícios circulares em cada uma das extremidades, permitindo que sejam pendurados no mais conveniente ângulo, de acordo com a fonte de ruído.

Suporte técnico

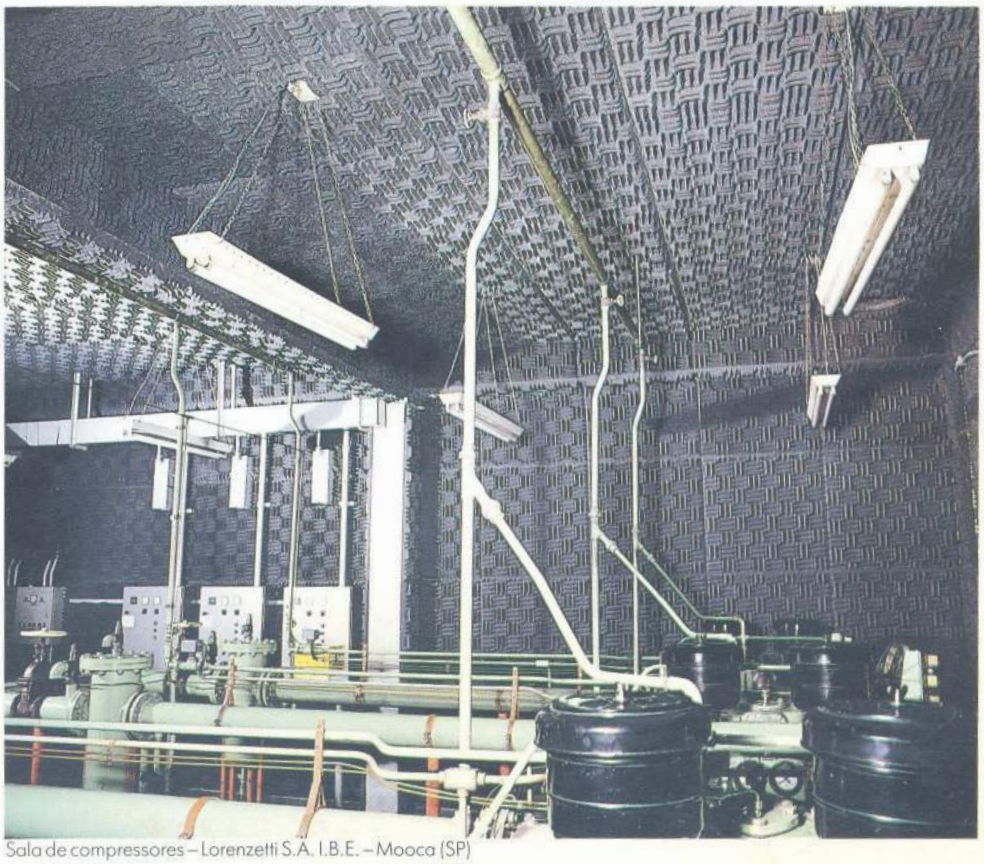
A Trorion-illbruck tem um departamento técnico para prestar assistência aos clientes, orientando sobre a utilização do Sonex®.

stalação

nex® é fornecido em placas de 00 × 1,00 m, podendo ser recortadas, oporcionando fácil instalação e aproitamento total. Leve e decorativo, nex® permite ser colado sobre o teto s paredes, ou então aplicado em inéis móveis, o que possibilita a sua lização em outros ambientes. om o adesivo próprio PA-02 pode-se lar diretamente em alvenaria, gesso, deira, metal e vidro.

mpla gama de aplicações

nex® é ideal para estúdios de som, odutoras de Cine/VT, escritórios, eas industriais, salas de computado-, ginásios de esporte, stands de tiro, ditórios, enfim em todo e qualquer biente que necessite a eliminação sons inconvenientes.



Sala de compressores – Lorenzetti S.A. I.B.E. – Mooca (SP)

Informações técnicas

Material

ES35 AE espuma flexível de poliuretano poliéster, auto-extinguível, densidade 35 kg/m³, desenvolvida especialmente para aplicações acústicas.

Dimensões

Sonex®

Comprimento	1000 mm
Largura	1000 mm
Espessuras	20, 35, 50 ou 75 mm

Baffles®

Comprimento	800 mm
Largura	1200 mm
Espessura	40 e 70 mm

Pintura retardante à chama
Disponível nas cores: branco-gelo, bege, azul-light, azul-royal e preto. Outras cores: sob encomenda. Cor natural: cinza-grafite (sem pintura).

Normas de flamabilidade atendidas

NBR 9178 (MVSS 302)
UL 94 HF-1
ASTM D 1692

Fator de condutividade térmica (20° C)

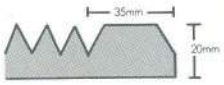
$$K = 0{,}031 \ \frac{K\,cal}{m\,h°C}$$

Instalação: utilizar adesivo PA-02 à base de borracha sintética.

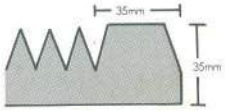
Observação: devido à configuração superficial das placas e às características especiais da pintura retardante à chama, podem ocorrer ligeiras variações de tonalidade num mesmo lote de produção.

Tipo **Mini-Sonex®**

20/35



35/35

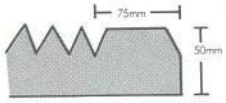


Coeficiente de absorção sonora α s

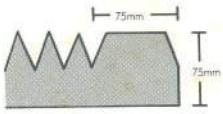
20/35 α s	0,04	0,12	0,28	0,44	0,60	0,73
35/35 α s	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89

Sonex® 75

50/75



75/75

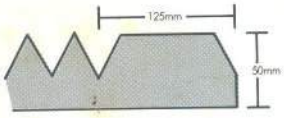


Coeficiente de absorção sonora α s

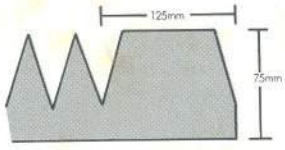
50/75 α s	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
75/75 α s	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00

Sonex® 125

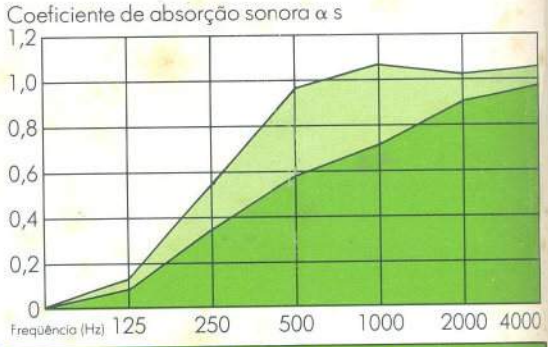
50/125



75/125



Coeficiente de absorção sonora α s



50/125 α s	0,09	0,32	0,58	0,73	0,88	0,95
75/125 α s	0,14	0,55	0,96	1,06	1,02	1,09

Testes acústicos segundo norma ISO 354 em câmara reverberante.
Certificados IPT nºs 766441 a 766446

stimex COMÉRCIO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS LTDA.

Rua Coronel Gomes Machado, 136 Conj. 903 - Centro - Niterói - RJ
Tel.: 717-8360 - Telex 21-38577 - Cep 24020
CGC: 30.811.640/0001-42 INSC.EST.: 80.038.101

20041 Rio de Janeiro RJ Brasil

Art Custic. Seu m² de puro silêncio.

Aplicação das placas Art Custic em grupos compressores.

Art Custic foi a forma criada pela Art Spuma para acabar com os ruídos de máquinas e motores. Somente a associação da espuma de poliuretano com o chumbo poderia resultar em um material de eficiência superior na absorção e isolação acústica. Art Custic vem sendo utilizado com muito sucesso pelas indústrias naval, automobilística e de compressores e geradores. Sua aplicação é simples: basta usar cola nas partes a serem unidas. As placas em 1000 × 500 mm estão disponíveis nas espessuras de 25 mm, 45 mm e 60 mm, um lançamento com dupla camada de chumbo. Forre sua sala de máquinas com puro silêncio. Art Custic é vendido em m² de praticidade e sossego.

ART SPUMA

ART SPUMA INDUSTRIA E COMERCIO LTDA
R.Aurea Tavares, 280 - Pqe. Indl. Oliveiras - Taboao da Serra - SP
Cep 06765 - Tel. 491.1733 - Fax. 491.1146 - Tlx 11-54611

CENTER GRAF/GRAFMODA (011) 826-8244