



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia

**FEUP**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

TEXTO DE APOIO À DISCIPLINA DE

# ACÚSTICA AMBIENTAL E DE EDIFÍCIOS

A. P. Oliveira de Carvalho

## ÍNDICE

	pág.
<b>PREÂMBULO</b>	
<b>1 - INTRODUÇÃO</b>	
1.1 - ENQUADRAMENTO DO TEMA	1.1
1.2 - NATUREZA DO SOM	1.2
1.3 - BIBLIOGRAFIA	1.3
<b>2 - CONCEITOS TEÓRICOS BÁSICOS</b>	
2.1 - ANÁLISE DA PRESSÃO	
2.1.1 - Propagação do Som	2.1
2.1.2 - Pressão Atmosférica e Temperatura	2.2
2.1.3 - Intensidade e Potência Sonora	2.3
2.1.4 - Níveis	2.5
2.1.5 - Adição de Níveis	2.6
2.1.6 - Pressão Eficaz	2.8
2.1.7 - Direccionalidade	2.9
2.2 - ANÁLISE EM FREQUÊNCIA	
2.2.1 - Definições e Unidades	2.10
2.2.2 - Tipos de Som	2.11
2.2.3 - Sobreposição de Sons	2.13
2.2.4 - Bandas de Frequências	2.14
2.2.5 - Curvas de Ponderação	2.15
2.2.6 - Ruídos Branco e Rosa	2.18
2.2.7 - Comprimento de Onda	2.19
2.3 - ANÁLISE NO TEMPO	2.21
2.4 - RESUMO	2.23
2.5 - BIBLIOGRAFIA	2.24
<b>3 - SISTEMA AUDITIVO</b>	
3.1 - CONSTITUIÇÃO	3.1
3.2 - MECANISMO DA AUDIÇÃO	3.3
3.3 - EFEITOS DO RUÍDO	3.4
3.4 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS DO OUVIDO	
3.4.1 - Emissões Otoacústicas	3.4



3.4.2 - Reflexo Acústico	3.4
3.5 - PERDAS DE AUDIÇÃO	3.5
3.6 - OUTROS EFEITOS DO RUÍDO	3.7
3.7 - PROTECÇÕES CONTRA O RUÍDO	
3.7.1 - Tipos de Actuação	3.8
3.7.2 - Protectores de Ouvido	3.8
3.8 - BIBLIOGRAFIA	3.10
<b>4 - ACÚSTICA DE EXTERIORES</b>	
4.1 - CONCEITOS TEÓRICOS	
4.1.1 - Abordagem Geral	4.1
4.1.2 - Atenuação por Divergência Geométrica	
i) Fonte pontual (fp)	4.2
ii) Fonte linear (fl)	4.3
4.1.3 - Atenuação Devida ao Ar	4.3
4.1.4 - Atenuação Devida à Absorção pelo Solo	4.4
4.1.5 - Acção dos Gradientes de Temperatura e Velocidade do Vento	4.6
4.1.6 - Atenuação Devida a Densa Vegetação	4.8
4.1.7 - Atenuação Devida a Propagação em Zona Industrial	4.8
4.1.8 - Atenuação Devida a Edifícios	4.9
4.1.9 - Acção do Nevoeiro e da Chuva	4.9
4.2 - BARREIRAS ACÚSTICAS	
4.2.1 - Definições	4.10
4.2.2 - Consideração Físicas	4.10
4.2.3 - Dimensionamento	4.10
4.2.4 - Questões práticas	4.12
4.2.5 - Materiais	4.14
4.2.6 - Critérios para colocação de barreiras acústicas	4.14
4.3 - RUÍDO DE TRÁFEGO	
4.3.1 - Tráfego Rodoviário	
4.3.1.1 - Características	4.15
4.3.1.2 - Modelos de análise	
a) Estradas	4.16
b) Meio urbano	4.17
c) Simulação	4.17
4.3.2 - Tráfego Ferroviário	
4.3.2.1 - Características	4.18
4.3.2.2 - Modelo de previsão	4.19
4.3.2.3 - Barreiras acústicas para ruído ferroviário	4.21
4.3.2.4 - O caso particular dos metropolitanos	4.22
4.3.3 - Tráfego Aéreo	
4.3.3.1 - Características	4.23
4.3.3.2 - Parâmetros de medida	4.24
4.3.3.3 - Mapa de ruído para aeroportos	4.25
4.3.3.4 - Acções de redução de ruído em aeroportos	4.26
4.4 - RUÍDO DE ESTALEIROS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	
4.4.1 - Características	4.28
4.4.2 - Modelo de previsão	4.28



4.4.3 - Legislação	4.29
4.5 - BIBLIOGRAFIA	4.30
<b>5 - ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS</b>	
5.1 - INTRODUÇÃO	5.1
5.2 - CORRECÇÃO ACÚSTICA	
5.2.1 - Absorção Sonora	
5.2.1.1 - Definições	5.1
5.2.1.2 - Determinação do coeficiente de absorção sonora	
a) tubo de ondas estacionárias	5.3
b) câmara reverberante	5.3
5.2.2 - Tempo de Reverberação	
5.2.2.1 - Definição	5.4
5.2.2.2 - Medição	5.5
5.2.2.3 - Efeitos do tempo de reverberação	
a) efeito na palavra	5.6
b) efeito na música	5.6
c) valores ideais	5.7
5.2.2.4 - Casos particulares	
a) modos próprios	5.8
b) ecos	5.8
c) espaços acoplados	5.9
5.2.2.5 - Fórmulas de previsão	
a) fórmula de Sabine	5.10
b) fórmula de Eyring	5.10
c) fórmula de Millington-Sette	5.10
d) outras formulações	5.11
e) formulação genérica	5.11
5.2.2.6 - Efeito do acréscimo de absorção	5.12
5.2.2.7 - Exercício de aplicação	5.12
5.2.3 - Materiais e Sistemas Absorventes Sonoros	
5.2.3.1 - Conceitos	5.13
5.2.3.2 - Materiais porosos e fibrosos	
a) mecanismos de absorção	5.14
b) caracterização	5.14
5.2.3.3 - Ressonadores	
a) ressoadores isolados	5.18
b) ressoadores agrupados	5.19
5.2.3.4 - Membranas	5.20
5.2.3.5 - Colocação de materiais absorventes	5.21
5.2.4 - Campo Directo e Campo Reverberado	5.22
5.3 - ISOLAMENTO SONORO	
5.3.1 - Caracterização de Situações	5.25
5.3.2 - Isolamento Sonoro a Ruídos Aéreos	
5.3.2.1 - Introdução	5.26
5.3.2.2 - Elementos simples	
a) modelo teórico de comportamento	5.27
b) exemplos de paredes simples	5.31



5.3.2.3 - Elementos duplos	
a) modelo teórico de comportamento	5.31
b) ressonâncias de cavidade	5.34
c) expressões teóricas de cálculo	5.34
d) colocação de absorvedor na caixa de ar	5.35
5.3.2.4 - Isolamento sonoro a ruídos aéreos entre locais	5.36
5.3.2.5 - Medição do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea	
a) processo	5.38
b) exercício de aplicação (determinação de $R_w$ )	5.39
5.3.2.6 - Modelos de cálculo experimentais	
a) paredes simples	
i - método Sharp	5.40
ii - método empírico	5.41
iii - transmissões marginais - método EN 12354	5.41
iv - transmissões marginais - método simplificado	5.44
b) paredes duplas	
i - método Sharp	5.44
ii - método Meisser	5.45
iii - método empírico	5.47
iv - transmissões marginais - método EN 12354	5.48
c) paredes exteriores	5.48
d) reforço de elementos simples	5.50
e) vidros	5.51
f) tabelas	5.52
g) subjectivo	5.52
5.3.2.7 - Cálculo da transmissão sonora através de elementos heterogéneos	
a) factor de transmissão sonora média	5.53
b) métodos	5.53
5.3.2.8 - Casos particulares	
a) influência de pequenos espaços de ar	5.54
b) transmissões parasitas	5.55
5.3.2.9 - Exercício de aplicação	5.56
5.3.3 - Isolamento Sonoro a Ruídos de Percussão	
5.3.3.1 - Características	5.57
5.3.3.2 - Como controlar ruídos de percussão	5.58
5.3.3.3 - Medição do isolamento sonoro a ruídos de percussão	5.59
5.3.3.4 - Dimensionamento	
a) Método Cremer	5.60
b) Método simplificado	5.61
c) Método do invariante	5.61
5.3.3.5 - Lajes flutuantes	5.62
5.3.3.6 - Exercício de aplicação - determinação do $L'_{n,w}$	5.63
5.3.4 - Ruídos de Equipamentos e Instalações	
5.3.4.1 - Abordagem geral	
a) canalizações	5.65
b) instalações eléctricas	5.66
c) elevadores	5.66



d) equipamentos individuais de aquecimento ou climatização (interiores ao edifício)	5.66
e) outros equipamentos (geral)	5.67
5.3.4.2 - Disposições legais	5.67
5.3.4.3 - Curvas de incomodidade	5.68
5.4 - PERCEPÇÃO DA PALAVRA	
5.4.1 - Inteligibilidade da Palavra	
5.4.1.1 - Conceitos básicos	5.70
5.4.1.2 - Parâmetros de medida	
a) <i>AI</i> - índice de articulação	5.71
b) <i>SIL</i> - nível de interferência na conversação	5.72
c) <i>AC</i> - <i>articulation class</i>	5.72
d) <i>RASTI</i>	5.72
5.4.2 - Privacidade da Palavra	5.72
5.5 - BIBLIOGRAFIA	5.75
<b>6 - ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA</b>	
6.1 - INTRODUÇÃO	6.1
6.2 - CONCEITOS BASE	
6.2.1 - Reflexões	
6.2.1.1 - Definições	6.2
6.2.1.2 - Ecos	6.3
6.2.1.3 - Discos voadores	6.5
6.2.1.4 - Difusão	6.5
6.2.2 - Acústica Variável	
6.2.2.1 - Variação na absorção	6.6
6.2.2.2 - Variação no volume	6.7
6.3 - PARÂMETROS ACÚSTICOS	
6.3.1 - Parâmetros Acústicos Objectivos	6.8
6.3.2 - Parâmetros Acústicos Subjectivos	6.10
6.3.3 - Valores Ideais	6.11
6.4 - EXEMPLOS DE SALAS	
6.4.1 - Pavilhão Rosa Mota	6.12
6.4.2 - Teatro Rivoli	6.12
6.4.3 - Teatro Helena Sá e Costa	6.12
6.4.4 - Casa da Música	.....6.12
6.5 - ELECTROACÚSTICA	6.12
6.6 - O PROJECTO DE GRANDES SALAS	6.13
6.7 - BIBLIOGRAFIA	6.14
<b>7 - RUÍDO NA COMUNIDADE</b>	
7.1 - LEGISLAÇÃO - ANÁLISE HISTÓRICA EVOLUTIVA	7.1
7.2 - REGIME LEGAL SOBRE A POLUIÇÃO SONORA (RLPS)	
7.2.1 - Análise Geral Sintética	7.1
7.2.2 - Incomodidade para Vizinhos	7.3
7.2.3 - Comentário	7.3
7.3 - REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS (RRAE)	
7.3.1 - Análise Geral	7.9
7.3.2 - Resumo do RRAE	7.10



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia

**FEUP**

7.3.3 - Sanções	7.12
7.3.4 - Aplicação Prática	7.12
<b>7.4 - PROTECÇÃO DOS TRABALHADORES</b>	
7.4.1 - Caracterização	7.14
7.4.2 - Cálculo	7.14
7.4.3 - Nova Directiva Europeia	7.15
<b>7.5 - CÓDIGO CIVIL</b>	7.16
<b>7.6 - CÓDIGO PENAL</b>	7.17
<b>7.7 - JURISPRUDÊNCIA</b>	7.17
<b>7.8 - ESTUDOS DE IMPACTE AMBIENTAL</b>	7.18
<b>7.9 - AVALIAÇÃO E FISCALIZAÇÃO</b>	
7.9.1 - Normalização e Acreditação	7.19
7.9.2 - Entidades Laboratoriais	7.19
<b>7.10 - BIBLIOGRAFIA</b>	7.20
<b>8 - VIBRAÇÕES</b>	
8.1 - CONCEITOS	8.1
8.2 - PROJECTO	8.2
8.3 - CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS	8.3
8.4 - EFEITOS DAS VIBRAÇÕES	8.4
8.5 - EXEMPLOS DE APOIOS ANTI-VIBRÁTEIS	8.6
8.6 - BIBLIOGRAFIA	8.9
<b>9 - INSTRUMENTAÇÃO</b>	
9.1 - TIPOS DE EQUIPAMENTO	9.1
9.2 - EMPRESAS DE EQUIPAMENTO	9.5
9.3 - BIBLIOGRAFIA	9.6
<b>10 - COMPLEMENTOS</b>	
10.1 - EDIFÍCIOS NÃO HABITACIONAIS	10.1
10.2 - BASES DE ACÚSTICA MUSICAL	10.1
10.3 - O FUTURO NA ACÚSTICA	10.1
10.4 - CONCLUSÃO	10.1
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>EXERCÍCIOS</b>	
<b>ANEXOS</b>	
Normalização (excertos)	
Protecção dos trabalhadores (Manual do Programa <i>Ruído</i> - ANEOP)	
Estudos de impacte ambiental (Caso <i>LIPOR II</i> )	
Programa <i>PORTHOS</i> (CD com ferramentas de cálculo)	