



ACÚSTICA APLICADA AO CONTROLE DO RUÍDO

2ª edição revista

SYLVIO R. BISTAFÁ

Blucher

ACÚSTICA
APLICADA
AO CONTROLE
DO RUÍDO

Blucher

Sylvio R. Bistafa

Ph.D. Penn State University

ACÚSTICA
APLICADA
AO CONTROLE
DO RUÍDO

2ª edição revista

Acústica aplicada ao controle do ruído

© 2011 Sylvio R. Bistafa

2ª edição - 2011

1ª reimpressão - 2012

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-012 - São Paulo - SP - Brasil

Tel 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Bistafa, Sylvio R.

Acústica aplicada ao controle do ruído/Sylvio R.
Bistafa - 2.ª edição - São Paulo: Blucher, 2011.

Bibliografia

ISBN 978-85-212-0581-4

1. Engenharia acústica 2. Ruído - Controle I. Título.

10-12744

CDD-620.23

Índices para catálogo sistemático:

1. Controle do ruído: Acústica aplicada: Engenharia 620.23
2. Ruído: Controle: Acústica aplicada: Engenharia 620.23

PREFÁCIO À 2ª EDIÇÃO

Desde o lançamento da 1ª edição deste livro, diversos novos desenvolvimentos vêm ocorrendo na área de acústica aplicada e de controle de ruído, tais como programas de simulação de fenômenos vibroacústicos, que permitem simular a geração e propagação sonora em estruturas complexas, programas de simulação de acústica de recintos, de propagação de ruído ambiental, de realidade virtual acústica etc. A maior disponibilidade de equipamentos de medição acústica tem gerado uma forte concorrência entre os fabricantes, o que tem propiciado o aparecimento de novos sistemas, com mais recursos, maior capacidade de processamento e de armazenamento de dados, com interfaces mais amigáveis ao usuário e mais baratos. Têm-se observado também a disponibilização de programas de tratamento de sinais acústicos em plataformas de processamento científico tradicionais e até na Internet – alguns deles podendo ser baixados gratuitamente –, permitindo a geração de diversas grandezas acústicas a partir de sinais adquiridos com um simples sistema de áudio disponível em computadores de uso doméstico. É claro que trata-se de uma cadeia de medição não calibrada e, portanto, não confiável. Com uma cadeia de medição profissional, tais programas permitem a realização de medições acústicas com *notebooks*, reduzindo o investimento em sistemas de medição mais dedicados. Atualmente, é possível baixar da Internet um aplicativo para *smart-phones*, para medição de níveis sonoros e com análise espectral ao custo de alguns dólares. Novas normas, nacionais e internacionais, vêm sendo propostas, outras vêm sendo revisadas e modernizadas, e legislações voltadas ao controle do ruído estão sendo criadas. Resultados de pesquisas, novos projetos e desenvolvimentos específicos vêm sendo

divulgados em um grande número de revistas técnicas e em inúmeros congressos, simpósios e encontros em todo o mundo. Tem-se tornado mais comum o fornecimento de dados de emissão de ruído pelos fabricantes de máquinas, equipamentos e de eletrodomésticos. Mais uma vez a Internet está contribuindo na divulgação de conhecimentos ao público em geral. Em suma, observa-se que a área de acústica aplicada e de controle de ruído vêm recebendo muitas adições em todos os níveis, o que demonstra a importância e o interesse geral que vem despertando.

Entretanto, todos esses recursos só terão serventia e poderão ser compreendidos e melhor apreciados para o interessado que tenha um conhecimento básico na área. Este livro tem este objetivo e, portanto, o seu escopo permaneceu inalterado. Houve sim algumas adições pontuais e, é claro, correções, de forma e conteúdo, principalmente em alguns cálculos e resultados numéricos, em gráficos e tabelas, tendo sido muitas delas apontadas por leitores, aos quais o autor muito agradece. Houve também reformas em certos parágrafos de alguns capítulos, no sentido de tornar a linguagem mais clara, estender e definir melhor os conceitos, e, por que não dizer, sanar incorreções existentes.

Consta que este livro vem sendo adotado em cursos de especialização em diversas instituições de ensino, em cursos de treinamento, por pesquisadores, consultores independentes, estudantes e pelo público interessado em geral. A acolhida que vem recebendo nos incentivou na publicação desta 2ª edição, esperando que este livro continue a contribuir na formação dos interessados na área de acústica aplicada e de controle do ruído.

Sylvio R. Bistafa

São Paulo, Março de 2011

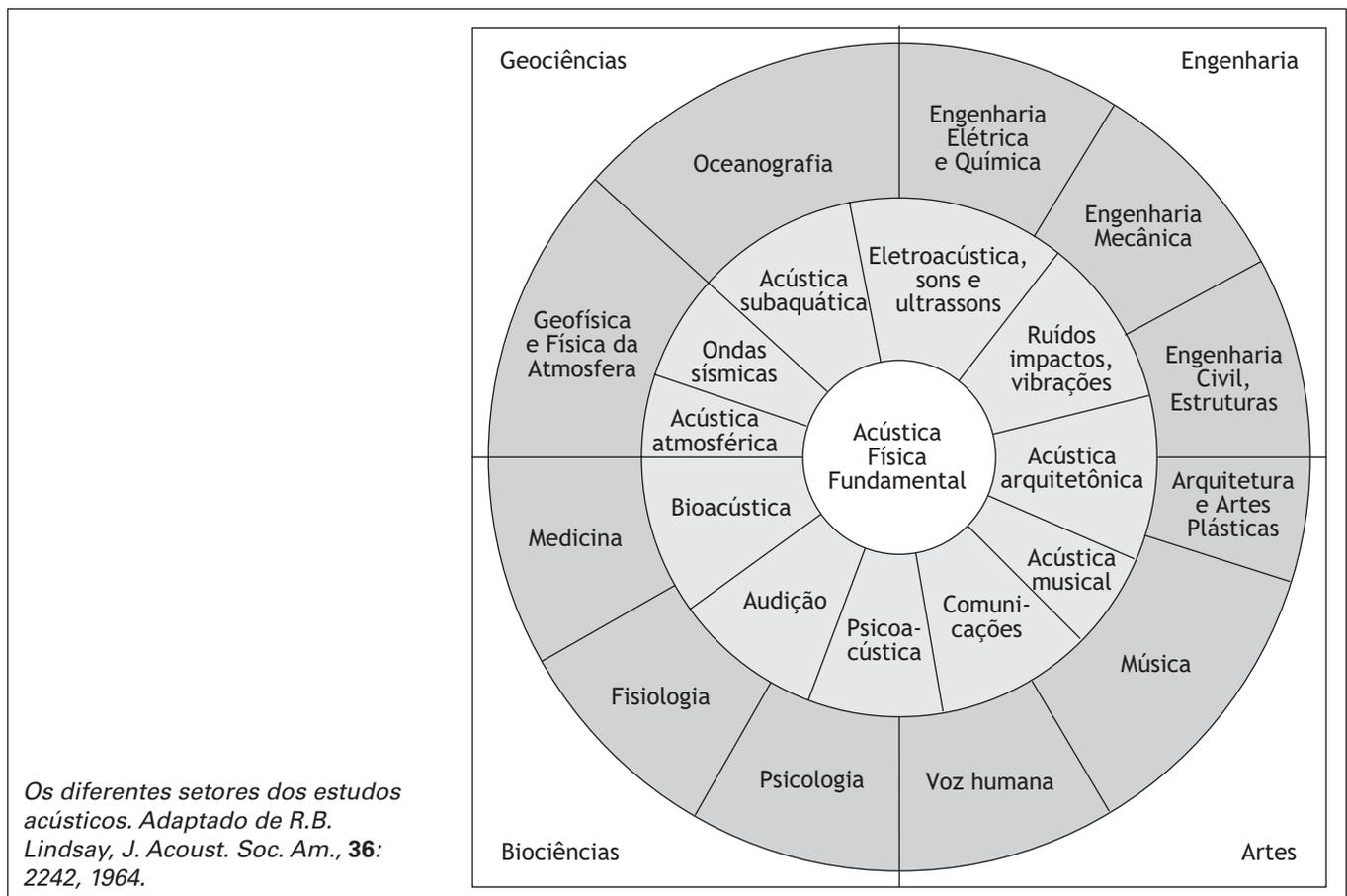
PREFÁCIO À 1ª EDIÇÃO

A Acústica é a ciência do som, incluindo sua geração, transmissão e efeitos. Na realidade, o termo *som* tem conotação mais ampla, já que se refere não somente ao fenômeno no ar responsável pela sensação de audição, mas também a tudo aquilo que é governado por princípio físico análogo. Assim, perturbações em frequências muito baixas (*infrassons*) ou muito elevadas (*ultrassons*), que não são ouvidas por uma pessoa normal, são também consideradas como sons. Podemos falar em sons subaquáticos, sons em sólidos, ou em sons transmitidos por sólidos. Apesar de certos fenômenos acústicos e ópticos (como os de refração e difração) serem governados pelos mesmos princípios, o som é um movimento ondulatório mecânico enquanto a luz é um movimento de ondas eletromagnéticas.

A Acústica abarca várias áreas e atividades por uma série de razões. Primeiramente, a natureza ubíqua da radiação mecânica, gerada por causas naturais e pelas atividades humanas. Em seguida, há a sensação da audição, da capacidade vocal humana, de comunicação via som, acompanhada de uma variedade de efeitos psicológicos provocados pelo som em quem escuta. Áreas como produção e percepção da fala, gravação e reprodução

da música, telefonia, reforço eletroacústico, audiologia, acústica arquitetônica e controle do ruído estão todas fortemente associadas com a sensação de audição. Uma vez que o som é uma forma de transmitir informação, independentemente da nossa capacidade de escutá-lo, é também um fato significativo, particularmente na acústica subaquática. Uma ampla variedade de aplicações em ciência básica e tecnologia explora o fato de a transmissão do som ser afetada e, conseqüentemente, fornecer informações, sobre o meio em que o som se propaga e sobre corpos e não homogeneidades presentes nesse meio. O efeito físico do som nas substâncias e nos corpos com os quais interage se abre como outras áreas de interesse e de aplicações técnicas.

O diagrama proposto por Lindsay nos permite uma ideia dos diferentes setores dos estudos acústicos. Nos cantos do diagrama leem-se os títulos de quatro grupos de habilitações culturais aos quais pertencem as disciplinas que se dedicam aos estudos e aplicações da Acústica. Na primeira coroa circular estão lançadas as habilitações profissionais que, com diferentes recortes, abrangências e profundidades se dedicam ao estudo da Acústica. Na região central do diagrama, acha-se a Acústica Física



Fundamental, imprescindível para toda a Acústica, cujos diversos setores encontram-se no anel intermediário. Os diversos setores têm contacto, por um lado com a Acústica Física Fundamental e por outro lado com as habilitações profissionais. O diagrama ressalta muitos aspectos interdisciplinares da Acústica, e é subliminar no sentido de não se deixar de lado algum recurso útil, senão importante e decisivo, para o trabalho que estiver desenvolvendo. De fato, não se concebe atuar na área de ruído e seu controle sem noções de Psicoacústica. Não se pode resolver problemas de ruído ambiental sem estudar a Acústica atmosférica. O controle do ruído é também preocupação da Acústica arquitetônica, em que não se atua sem conhecer aspectos da audição, cuja proteção é talvez a principal meta do controle do ruído, principalmente nos ambientes de trabalho.

O ruído parece perturbar as pessoas desde os tempos em que elas passaram a viver em cidades. O poeta romano Juvenal (c. 60-131), famoso por ter dito que pão e circo era tudo o que os governantes precisavam para manter os romanos felizes (ele se referia ao circo dos gladiadores, das bigas), já reclamava do ruído: “Quanto sono, lhe pergunto, posso ter eu nesta estalagem. As carroças passando fazendo estrondos, os gritos dos carroceiros presos no tráfego (...)”. A tolerância ao ruído não aumentou desde então. A diferença é que hoje em dia, com certeza, podemos fazer mais para minimizar esse incômodo.

A sociedade ecologicamente consciente em que vivemos vem exigindo o enfrentamento de problemas que prejudicam a qualidade de vida. O ruído permeia as atividades humanas 24 horas por dia, e vem sendo apontado como uma das principais causas de deterioração da qualidade de vida, principalmente nas grandes cidades. Mais pessoas são afetadas pela exposição ao ruído do que qualquer outro poluente. Infelizmente, como os problemas de saúde associados ao ruído não ameaçam tanto a vida como os poluentes do ar, das águas e o lixo químico e atômico, o ruído está em último lugar na lista das prioridades ambientais.

Os problemas relacionados com o ruído incluem perda da audição, *stress*, hipertensão, perda do sono, falta de concentração, baixa produtividade, deterioração da qualidade de vida e redução de oportunidades de repouso. O ruído afeta as pessoas de várias formas. Em certas circunstâncias, somos agentes ativos, como quando operamos aparelhos e equipamentos ruidosos. Há também inúmeras situações em que somos agentes passivos, sujeitos ao ruído que outros produzem, tal como no caso dos fumantes passivos. Embora, em ambos os casos, o ruído possa ser igualmente perturbador e prejudicial à saúde, a situação de agentes passivos é mais problemática, pois somos impactados negativamente por uma coisa que foi colocada no meio ambiente sem o nosso consentimento. O ar, o meio em que o ruído é emitido e se propaga até

nós é um “bem público”. Pessoas, atividades de comércio, atividades de lazer, plantas industriais, instalações de serviços públicas e particulares não têm privilégios ilimitados de propagar o ruído de forma irresponsável, como se o ruído apenas afetasse a sua propriedade; há necessidade de regras de uso compartilhado desse “bem público” para que outros não sejam prejudicados.

O ruído deteriora a qualidade de vida, causa problemas à saúde, e impacta econômica e financeiramente a vida das pessoas e de organizações. Estima-se que a perda de audição induzida por ruído afete 10 milhões de pessoas nos Estados Unidos. Naquele país, milhões de dólares são gastos anualmente em compensações a trabalhadores com perdas auditivas crônicas contraídas no ambiente do trabalho. Um estudo desenvolvido na Dinamarca mostrou que o preço das casas cai à medida que o ruído de tráfego aumenta. Aviões a jato antigos, mais barulhentos, já não podem mais operar em muitos aeroportos dos Estados Unidos e da Europa. Estudos em vários países demonstram que o aprendizado nas escolas fica comprometido por atividades ruidosas intra e extramuros. Embora essas sejam algumas constatações de estudos desenvolvidos em outros países sobre os efeitos do ruído, são todos casos que se verificam igualmente no Brasil.

O controle do ruído era geralmente visto no passado mais como ônus do que como benefício. Há até pouco tempo, o ruído não entrava na questão de produtos de consumo, pois os usuários estavam dispostos a suportar mais ruído em troca de potência. Adicionalmente, não se esperava que o consumidor optasse por gastar mais por um produto silencioso. Nos últimos anos, porém, uma nova tendência vem sendo observada. A pressão para o controle do ruído, cada vez mais, parte dos consumidores e usuários. Aqueles que adquirem equipamentos industriais e produtos de consumo mostram-se mais conscientes em caracterizar o ruído como um fator importante na decisão de compra. Níveis de ruído estão sendo incluídos nas especificações de vários tipos de equipamento industrial, como motores e bombas, quando, no passado, somente eram disponibilizadas informações muito superficiais de desempenho acústico. Ao lado da funcionalidade, preço, prazos etc., o ruído passa a ser fator determinante de quem vence concorrências de fornecimento de máquinas, equipamentos e processos industriais. Na área dos produtos de consumo, o baixo nível de ruído está se tornando uma ferramenta de *marketing* eficaz para tudo, desde automóveis até máquinas de lavar.

À medida que aumenta a competição no mercado global, o baixo nível de ruído se torna uma característica que os fabricantes têm que oferecer para distinguir o seu produto da concorrência. Um “mercado de controle de ruído” parece estar verdadeiramente emergindo. Muitos fabricantes têm respondido adequadamente às novas pressões de mercado para menos ruído. Outros fabrican-

tes, contudo, não têm considerado o ruído como prioridade, tomando apenas medidas tímidas de enfrentamento da questão. Esses fabricantes necessitam de coragem para desenvolver a sua visão de mercado globalizado, um mercado que demanda controle significativo do ruído. De outra forma, eles correm o risco de ver a concorrência tomar silenciosamente o seu negócio.

O problema do ruído não vai desaparecer e só tende a aumentar caso não sejam tomadas medidas eficazes por

parte de todos os agentes envolvidos: cidadãos, comunidades, poder Executivo, Legislativo e Judiciário, em todos os níveis, entidades e órgãos governamentais, institutos de pesquisas, universidades e empresas. A tecnologia é em grande parte responsável pelo problema, sendo ela própria que terá de propor soluções. O que devemos é parar de ignorar ou negar que o problema existe. A tarefa não é simples, e requer um esforço uníssono de todos os envolvidos para obtenção de um meio ambiente mais silencioso no futuro.

Sylvio R. Bistafa

São Paulo, Março de 2006

CONTEÚDO

1	Introdução	13
2	Conceitos fundamentais do som	17
2.1	Som e ruído.....	17
2.2	Natureza do som.....	18
2.3	Onda sonora plana	20
2.4	Onda sonora esférica	22
2.5	Forma da onda.....	22
2.6	Impedância característica, intensidade sonora e potência sonora	23
2.7	Utilidade das grandezas pressão, intensidade e potência sonora	26
	Referência.....	27
3	Nível logarítmico e espectro sonoro	29
3.1	Representação matemática da sensação provocada pelo som.....	29
3.2	Nível logarítmico, o bel e o decibel.....	30
3.3	O espectro sonoro	33
3.4	Combinação de sons.....	35
3.5	“Adição” de níveis sonoros em decibéis	37
3.6	“Subtração” de níveis sonoros em decibéis.....	40
3.7	Principais tipos de fonte sonora.....	41
	Referências.....	42
4	Mecanismo da audição e processamento do som pelo sistema auditivo	43
4.1	Orelha externa	43
4.2	Orelha média.....	46
4.3	Orelha interna	48
4.4	Mecanismo de transdução eletromecânico	57
4.5	Inervação do órgão de corti.....	57
4.6	Codificação do som pelos neurônios.....	58
4.7	Área auditiva do cérebro	59
4.8	Perda de audição	60
4.9	Avaliação audiológica	62
	Referências.....	64
5	Reação dos seres humanos ao som	65
5.1	Limiar diferencial.....	66
5.2	Área de audição dos seres humanos.....	66
5.3	Sensação subjetiva de intensidade dos sons (<i>Loudness</i>).....	68
5.4	Sensação subjetiva de frequência dos sons	77
5.5	Mascaramento	79
5.6	Não linearidades no processamento do som pelo sistema auditivo	80
5.7	Incômodo do ruído	82
5.8	Localização biauricular.....	82
5.9	Sensibilidade auditiva a reflexões sonoras.....	82
5.10	Audibilidade de sons impulsivos	85
5.11	Efeitos não auditivos do ruído.....	85
	Referências.....	86
6	Fundamentos e instrumentos de medições acústicas	87
6.1	Medidor de nível sonoro.....	87
6.2	Analisadores FFT	98
6.3	Análise comparativa dos diferentes tipos de filtros	99
6.4	Conversão de níveis sonoros entre bandas de diferentes larguras	102
6.5	Ruído branco e ruído rosa	104
6.6	Microfones	106
	Referências.....	113

7	Grandezas, critérios, normas e legislações para avaliação do ruído	115
7.1	Grandezas para avaliar ruídos estacionários	115
7.2	Grandezas para avaliar ruídos não estacionários.....	116
7.3	Avaliação do ruído em comunidades	126
7.4	Avaliação do ruído em ambientes internos.....	130
7.5	Avaliação do ruído em ambientes de trabalho	137
	Referências.....	151
8	Fontes sonoras	153
8.1	Fontes sonoras omnidirecionais e direcionais.....	153
8.2	O sistema fonador	155
8.3	Alto-falantes e caixas acústicas.....	158
8.4	Ruído de ventiladores	167
8.5	Ruído de compressores de ar.....	169
8.6	Ruído de compressores em unidades refrigeradoras	172
8.7	Ruído de torres de resfriamento.....	172
8.8	Ruído de bombas.....	175
8.9	Ruído de jatos	175
8.10	Ruído de válvulas de controle	179
8.11	Ruído em tubulações de transporte de fluidos	191
8.12	Ruído de caldeiras	191
8.13	Ruído de turbinas a gás e vapor.....	192
8.14	Ruído de motores estacionários (diesel e gás)	193
8.15	Ruído em queimadores.....	195
8.16	Ruído de motores elétricos.....	197
8.17	Ruído de geradores elétricos.....	198
8.18	Ruído de transformadores elétricos.....	199
8.19	Ruído de engrenagens	200
	Referências.....	200
9	Propagação sonora ao ar-livre e ruído ambiental	201
9.1	Equação básica da propagação sonora ao ar-livre	202
9.2	Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar-livre.....	205
9.3	Atenuação sonora do ar atmosférico.....	205
9.4	Atenuação sonora do solo	210
9.5	Atenuação de barreiras acústicas	212
9.6	Atenuação de edificações	219
9.7	Atenuação de vegetação densa.....	219
9.8	Amplificação sonora causada pela reverberação urbana	222
9.9	Efeitos de gradientes de temperatura e de velocidade do vento (refração).....	223
9.10	Interação entre os mecanismos de atenuação.....	226
9.11	Procedimentos para estimativa do ruído de tráfego	228
	Referências.....	242
10	Ruído em recintos	243
10.1	Absorção sonora.....	244
10.2	Crescimento e decaimento sonoro em recintos	258
10.3	Níveis sonoros em recintos	262
10.4	Recintos especiais – câmara anecoica e câmara reverberante.....	264
10.5	Sala prática.....	266
10.6	Isolação de paredes para sons aéreos.....	279
10.7	Isolação de sons de impacto	300
10.8	Recomendações de isolamento sonoro em habitações.....	310
10.9	Transmissão sonora secundária.....	312
10.10	Distinção entre absorção e isolação sonora.....	313
	Referências.....	314

11	O controle do ruído.....	315
	11.1 Controle do ruído na fonte.....	316
	11.2 Controle do ruído na trajetória de transmissão.....	327
	11.3 Controle do ruído no receptor.....	356
	11.4 Gerenciamento do controle do ruído nos ambientes de trabalho.....	360
	Referências.....	365
	Siglas empregadas neste livro.....	367
	Índice alfabético.....	369

1

INTRODUÇÃO

O autor, ao ser solicitado a resolver seu primeiro problema de controle de ruído em 1978, então engenheiro da indústria, não imaginava que essa se tornaria sua principal área de atuação profissional e acadêmica, paradoxalmente não pelas facilidades, e sim pelas dificuldades que encontrou. A principal delas, a escassez, em língua portuguesa, de livros e literatura técnica especializada. Diferentemente do que ocorre nos países ditos de primeiro mundo, a área de controle de ruído em nosso país é ainda carente de cursos, bibliografia, treinamento e informações. Normalmente, há que se recorrer à literatura estrangeira, principalmente a proveniente dos Estados Unidos.

A experiência tem mostrado que, no Brasil, os profissionais envolvidos em problemas de ruído têm as mais diversas formações, e assim como o autor, quando de sua iniciação na área, procuram se embasar para enfrentar problemas práticos que lhes são apresentados. Não sendo especialistas, seus objetivos são essencialmente: ser capaz de compreender uma norma ou legislação aplicável, entender uma especificação de material acústico, poder escolher a instrumentação mais adequada para determinada medição, saber interpretar uma medição; ou seja, questões que, apesar de requererem uma formação específica em acústica aplicada e controle do ruído, não exigem tratamento aprofundado.

Este livro difere dos poucos existentes em língua portuguesa, por apresentar um recorte diferenciado da área da acústica aplicada ao controle do ruído. Parte de uma base introdutória simplificada da Acústica, facilmente acessível e que dispensa conhecimentos prévios sobre o assunto, chegando de forma articulada e didática a um tratamento razoavelmente avançado em nível das aplicações, e que capacita o desenvolvimento autônomo de muitas atividades e projetos ligados ao controle do ruído.

Neste livro, os principais fenômenos acústicos são apresentados de forma simples e didática, procurando

manter a formulação matemática no nível de um curso técnico. Fórmulas práticas são apresentadas sem exaustivas demonstrações, frequentemente criticadas por alunos com interesses mais pragmáticos (a maioria), e que muitas vezes levam o iniciante a apenas identificar algumas árvores numa grande floresta – perde-se o foco da questão. De certa forma, procurou-se abrangência em detrimento da profundidade. Esta abordagem prioriza uma visão global da matéria em primeiro lugar. Para os interessados, sempre haverá oportunidades de aprofundamento nos assuntos apresentados no livro. Inclusive porque os interesses são tão diversificados que é impossível aprofundar-se em todos eles.

O livro tem como alvo principal servir à área de controle do ruído. Por se tratar de área multidisciplinar, o livro reflete essas características, porém aprofundando-se nos diversos temas periféricos até o ponto em que não afaste muito o leitor dos objetivos de cada capítulo.

Todos os capítulos foram concebidos no sentido de apresentar métodos e formulações para quantificação das grandezas acústicas e psicoacústicas relativas ao problema de controle de ruído em questão.

A maioria das fontes de referência no final de cada capítulo estão associadas a ilustrações e figuras originais de outros autores adaptadas ao capítulo. Estas referências também visam servir de orientação para o leitor eventualmente complementar ao que é aqui apresentado. Aliás, um bom número de figuras e ilustrações foram extraídas de páginas da Internet, fonte extremamente útil e eficaz de informações, à qual o autor recorreu com frequência. O livro está estruturado em capítulos como segue.

- Capítulo 2, *Conceitos fundamentais do som*: são apresentadas as grandezas acústicas fundamentais e seus inter-relacionamentos.

- Capítulo 3, *Nível logarítmico e espectro sonoro*: são apresentadas as unidades de sensação bel e decibel, os diferentes níveis logarítmicos, o espectro sonoro e os principais tipos de fontes sonoras.
- Capítulo 4, *Mecanismo da audição e processamento do som pelo sistema auditivo*: apresenta-se a anatomia da orelha humana e as principais estruturas responsáveis por captar, codificar e transmitir informações sonoras para o cérebro, bem como as estruturas da orelha que são lesionadas pelo ruído, discutindo-se a perda de audição associada.
- Capítulo 5: *Reação dos seres humanos ao som*: são apresentadas as sensações subjetivas que o som provoca nos seres humanos, e as grandezas psicoacústicas usadas na quantificação de tais sensações.
- Capítulo 6: *Fundamentos e instrumentos de medições acústicas*: é apresentada a instrumentação tipicamente utilizada em medições acústicas, inclusive microfones, filtros, o analisador FFT e as informações que são fornecidas por diferentes instrumentos de medição.
- Capítulo 7: *Grandezas, critérios, normas e legislações para avaliação do ruído*: são apresentadas as diversas grandezas que têm sido propostas para avaliar ruídos estacionários e não estacionários, níveis de ruído máximos tolerados, normas nacionais e internacionais, e toda a problemática de avaliação do ruído nos ambientes do trabalho.
- Capítulo 8: *Fontes sonoras*: é apresentado o sistema fonador dos seres humanos, o projeto de caixas acústicas, e métodos de estimativa da potência sonora de diversas máquinas e equipamentos utilizados em instalações industriais.
- Capítulo 9: *Propagação sonora ao ar-livre e ruído ambiental*: são apresentados os diferentes mecanismos de atenuação sonora da propagação ao ar-livre, bem como métodos de estimativa dessas atenuações, e procedimentos para estimativa do ruído de tráfego.
- Capítulo 10: *Ruído em recintos*: são apresentadas as características de materiais utilizados para absorção e isolamento sonora, formas de quantificar essas propriedades, o tempo de reverberação em recintos, o comportamento do campo sonoro em recintos industriais, a isolamento de sons aéreos e de impacto entre recintos, e recomendações de isolamento sonora em habitações.
- Capítulo 11: *O controle do ruído*: é apresentada a hierarquia de controle “fonte → trajetória → receptor” e os diferentes métodos e dispositivos de controle de ruído, inclusive silenciadores, enclausuramentos, isolamento de vibrações e de impactos, protetores auriculares, e o gerenciamento do controle do ruído nos ambientes de trabalho.

O controle do ruído requer a identificação de sua fonte de origem, das trajetórias de transmissão, bem como a identificação do receptor. Ocorre que a grande variedade de máquinas, equipamentos e processos ruidosos não permitiu tratar detalhadamente casos específicos de controle do ruído na fonte. Somente procedimentos gerais de controle do ruído de máquinas são fornecidos neste livro.

Como em geral problemas de ruído somente aparecem depois que a fonte se encontra em operação, a alternativa recai quase sempre em atuar-se na trajetória de transmissão, sendo a atuação junto ao receptor, por meio de protetores auriculares, a última linha de defesa no controle do ruído, e que somente é viável nos ambientes do trabalho. É sobre a trajetória de transmissão que o engenheiro de controle do ruído é normalmente chamado a atuar. De certa forma, o livro privilegia metodologias de controle na trajetória de transmissão do ruído.

As técnicas de controle do ruído apresentadas são exclusivamente passivas. Há diversas aplicações de sucesso de técnicas ativas de controle. Alguns exemplos são: controle ativo de ruído em dutos de ventilação, protetores auriculares ativos, controle ativo de ruído em cabines de automóveis e aviões etc. O controle ativo é assunto de grande complexidade e que requer o desenvolvimento de estratégias e metodologias de controle caso a caso. Além do mais, exige profundo conhecimento de sistemas dinâmicos, vibrações, processamento de sinais, sensores e atuadores e, logicamente, de acústica. Por se tratar de tema bastante especializado, o projeto de sistemas de controle ativo de ruído é normalmente tratado em livros específicos.

Este é um livro fartamente provido de fórmulas práticas, gráficos, tabelas, quadros e ilustrações, apresentando e discutindo normas e legislações aplicáveis, nacionais e internacionais. Todos os capítulos contêm exemplos numéricos com aplicações das fórmulas e metodologias de cálculo apresentadas.

Este livro poderá ser adotado como referência na graduação, pós-graduação, treinamento e especialização, nos cursos de engenharia (civil, elétrica, mecânica, produção), arquitetura e urbanismo, música, linguística, audiologia, fonoaudiologia, higiene, segurança e medicina do trabalho, e perícias.

As disciplinas de cursos de nível superior que geralmente abordam o tema com diferentes enfoques, recortes e aprofundamentos são: conforto (nos cursos de arquitetura), planejamento urbano (nos cursos de urbanismo), conforto nas habitações e higiene das construções (nos cursos de engenharia civil), acústica (nos cursos de física, música, linguística, audiologia e fonoaudiologia), agentes físicos (nos cursos de higiene, segurança e medicina do trabalho, e perícias), vibrações e acústica (nos cursos de engenharia mecânica), eletroacústica (nos cursos de en-

genharia elétrica), ergonomia (nos cursos de engenharia de produção) etc.

Acredita-se, portanto, que este livro atende aos interesses de um público bastante diversificado, que procura embasamento para desenvolver atividades em acústica aplicada e controle do ruído.

O autor gostaria de finalizar esta Introdução agradecendo seus ex-alunos pelas críticas, dúvidas e sugestões levantadas ao longo dos anos, as quais induziram o seu autoaperfeiçoamento, tendo sido um incentivo constante na preparação de um material didático adequado, e que culmina com a edição deste livro.