



instituto politécnico de tomar **escola superior de tecnologia de tomar**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ÁREA DE CONSTRUÇÃO

**Física das Construções
2008/2009 – 2º SEMESTRE**

INTRODUÇÃO À ACÚSTICA

1. Introdução

As sociedades industriais com o seu desenvolvimento tecnológico têm contribuído para o aumento dos níveis de ruído, sendo um dos principais factores de risco para a saúde dos trabalhadores, devido à frequência nas actividades profissionais e ao elevado número de trabalhadores expostos diariamente.

O ruído é um som desagradável e indesejável que perturba o ambiente, contribuindo para o mal-estar, provocando situações de risco para a saúde do Homem.

O que é o ruído?

“... considera-se ruído, o conjunto de sons susceptíveis de adquirir para o Homem um carácter afectivo desagradável e/ou intolerável, devido sobretudo aos incómodos, à fadiga, à perturbação e não à dor que pode produzir.”

(definição CEE, 1977)

Constitui uma causa de incómodo para o trabalho, podendo provocar fadiga geral e, em casos extremos, trauma auditivo e alterações fisiológicas extra-auditivas. A incomodidade causada pelo ruído depende não só das características do som, mas também da sensibilidade auditiva, no entanto, o som é fundamental para a nossa vivência. É através do som que comunicamos, que ouvimos música, obtemos informações, etc.

Os efeitos da exposição prolongada a níveis elevados de ruído são actualmente bem conhecidos, mas apesar deste conhecimento e da existência de legislação e normalização específicas, a realidade de muitas empresas continua a ser níveis sonoros muito elevados e, conseqüentemente trabalhadores expostos a elevados níveis de ruído. Quando o ruído atinge determinados níveis, a fadiga invade o aparelho auditivo. Numa fase inicial, esse estado de fadiga é susceptível de recuperação, no entanto pode, em casos de exposição prolongada, transformar-se em surdez permanente devido a lesões irreversíveis no ouvido interno. A surdez é uma deficiência sensorial que se manifesta pela ausência total ou parcial da audição, podendo, em estados limites, prejudicar a normal capacidade de comunicação.

É fundamental proceder, em postos de trabalho ruidosos, à determinação do respectivo nível de ruído para avaliar os riscos existentes para os trabalhadores e implementar soluções eficazes. No entanto, nem sempre é possível introduzir alterações, nos locais de trabalho, de modo a reduzir os elevados níveis de ruído. Nestes casos, recorre-se aos dispositivos de protecção individual.

2 Noções elementares de acústica

2.1 Conceitos genéricos

A diferenciação entre som e ruído é, muitas vezes, associada à sensação de agradabilidade ou não. No entanto, a definição de ruído é bastante subjectiva, já que não depende apenas do tipo de som, mas também da capacidade de recepção do ouvido e que varia de pessoa para pessoa. Por exemplo, a intensidade do som pode não permitir estabelecer uma relação de agradabilidade do som: o ranger de uma porta é um som de fraca intensidade que se poderá revelar bastante incomodativo e o som de um concerto musical, de alta intensidade, pode ser agradável. Do ponto de vista físico, pode definir-se o ruído como uma sucessão de ondas com diferentes comprimentos de onda e amplitudes; do ponto de vista fisiológico é um fenómeno acústico que produz uma sensação auditiva de desconforto que pode chegar a ser dolorosa.

O som é transmitido de uma fonte sonora, por vibrações, até ao ouvido humano. As ondas sonoras podem transmitir-se da fonte até ao ouvido de forma directa, através do ar, ou de forma indirecta por condução nos materiais (estruturas sólidas, paredes, pavimentos e tectos, etc.).

A propagação do som resulta da alteração dos valores das variáveis de estado – pressão, temperatura e massa específica. Assim, quando uma determinada fonte sonora liberta energia, esta provoca perturbações no meio de propagação que pode ser gasoso, líquido ou sólido. As velocidades de propagação do som variam de acordo com o meio em que este se propaga (ver Quadro 1).

Meio de propagação	Velocidade média de propagação (m/s)
ar	340
água	1500
aço	5060
betão	3400

Quadro 1 - Valores médios da velocidade de propagação das ondas de compressão, em alguns meios

Se o meio é gasoso, ou seja, constituído por uma mistura de moléculas em dispersão homogénea que se encontram em equilíbrio na ausência de perturbações, a existência de uma perturbação induz, no meio de propagação, uma variação de pressão. Nesta situação, as ondas sonoras propagam-se dissipando energia na tentativa de restabelecer de novo o equilíbrio. A principal variável de estado, neste processo, é a pressão sonora que pode ser definida como a variação da pressão relativamente ao valor de equilíbrio.

O som resulta da vibração das partículas do ar que rodeiam normalmente corpos vibrantes (por exemplo a corda de uma viola). A superfície de equilíbrio move-se da sua posição de equilíbrio e arrasta consigo a camada de ar com que está em contacto e que vai provocar sucessivos movimentos de

compressão e de descompressão nas várias camadas de ar adjacentes. O som resulta, pois, da variação de pressão produzida por uma fonte sonora, transmitida através de um meio de propagação e detectada pelo ouvido, ou, por outras palavras, o som propaga-se no espaço, em função do tempo, tendo o receptor que detectar uma determinada pressão que varia no tempo. A variação deste sinal pode ser compreendida como o resultado de um conjunto de sinais harmónicos, com fases distintas, que se sobrepõem.

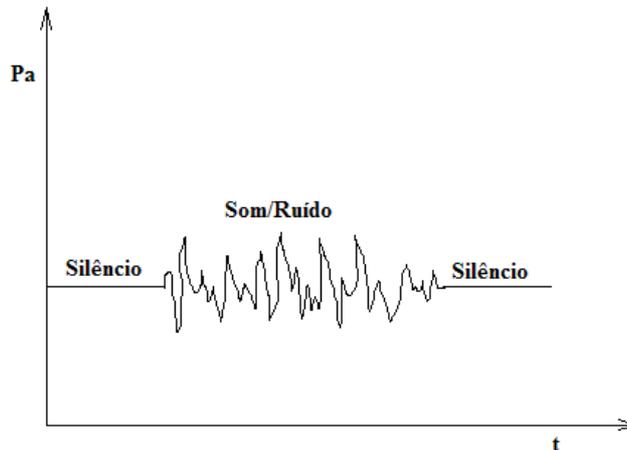


Figura 1 - Silêncio e Som/Ruído.

Os sons são caracterizados pela sua intensidade (sons fracos e sons fortes), frequência (sons agudos e sons graves) e pelo timbre.

A **intensidade sonora** corresponde ao fluxo de energia que atravessa um elemento de superfície numa determinada direcção; este parâmetro permite localizar e qualificar as fontes sonoras. A unidade usada para definir a intensidade sonora é o Watt/m². A **frequência** é expressa em *Hertz* (Hz) e é definida como o número de ciclos de pressão por segundo ($f=1/T$, em que T representa o tempo de duração de cada ciclo, em segundos). O **timbre** permite distinguir dois sons com a mesma intensidade e frequência, mas oriundos de fontes diferentes.

2.2 Recepção de sons pelo ouvido

Os ouvidos são órgãos complexos, delicados e muito frágeis. O ouvido humano é constituído por três partes bem diferenciadas: o ouvido externo (tímpano), o ouvido médio e o ouvido interno (células ciliadas) – figura 2. As ondas sonoras são captadas pelo ouvido externo, através da vibração do tímpano, e transmitidas pelo ouvido médio que funciona como um sistema de alavancas, ao ouvido interno. Este último funciona como transdutor das vibrações mecânicas em impulsos nervosos que serão transmitidos ao centro auditivo do cérebro, sendo aí interpretados. As células ciliadas podem ficar irremediavelmente danificadas se os níveis e o tempo de exposição sonoros forem elevados.

Quando uma parte do ouvido perde a sua funcionalidade ocorre uma perda de audição. As perdas auditivas podem variar desde perdas auditivas ligeiras até à surdez total. O nível de perdas auditivas pode ser aferido através de exames audiométricos. O padrão das perdas pode apresentar um quadro bastante diversificado, desde perdas nas frequências mais altas, nas frequências mais baixas ou perdas uniformes ao longo da frequência.

Os sons que se propagam segundo baixas frequências não são detectados pelo ouvido, ou seja, propagam-se através deste sem se reflectirem, pelo contrário, os sons de altas frequência são facilmente detectados. Por este motivo, pode afirmar-se que o ouvido humano é mais sensível para as altas frequências.

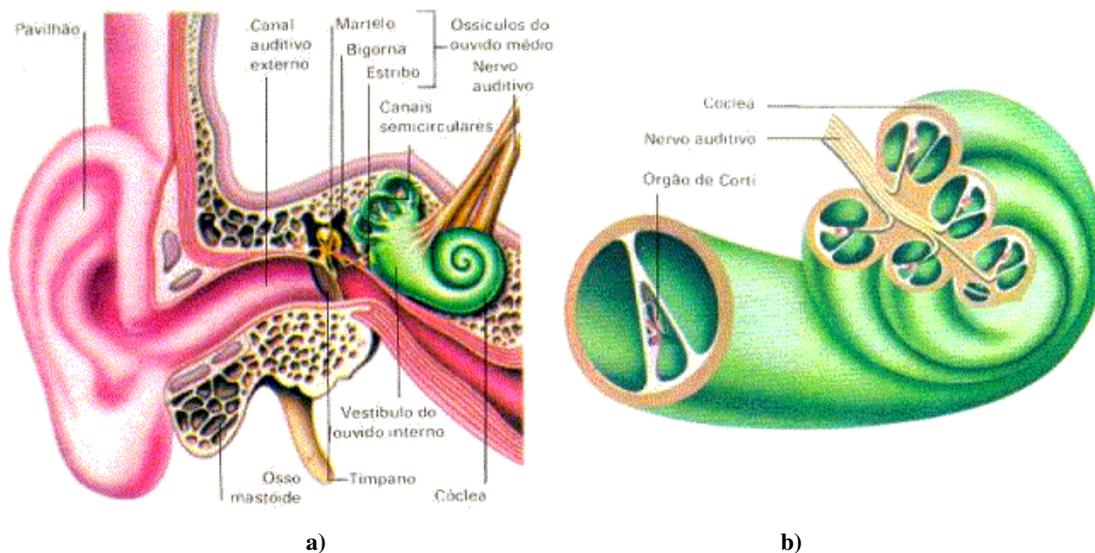


Figura 2 - Ouvido humano; a) Estrutura geral; b) Clóclea.

As ondas sonoras, após viajarem pelo canal auditivo externo, fazem vibrar a membrana timpânica, a qual por sua vez provoca o deslocamento sucessivo de três ossículos situados no ouvido médio - o martelo, a bigorna e o estribo. Este último fica situado junto de uma membrana - a janela oval - que conduz à cóclea. A cóclea é um canal em espiral preenchido por um líquido (a perilinfa) e dividido internamente ao longo do seu comprimento por uma faixa de tecido (a membrana basilar). As vibrações amplificadas pelos três ossículos são transmitidas à perilinfa e à membrana basilar, fazendo mover os cílios situados sobre esta de acordo com a amplitude e frequência dos sons. A fricção destas células ciliadas na membrana tectorial provoca a sua despolarização. Estas células estão em contacto com fibras nervosas aferentes que formam o nervo coclear –que segue até ao tronco cerebral.

A gama de pressões sonoras audíveis do ouvido humano varia entre o *limiar da audição* e o *limiar da dor* e situa-se, respectivamente, ente os $20 \mu Pa$ (que corresponde ao som mais fraco que se pode, em média, ouvir) e os $200 Pa$ (ou seja, o valor máximo que o ouvido humano, em média, pode suportar). Se se quiser traduzir a resposta do ouvido humano aos estímulos sonoros através de uma função matemática, pode dizer-se que o ouvido não responde de uma forma linear a esses estímulos, mas de uma

forma próxima da escala logarítmica. Este facto aliado ao facto de não ser prático a aplicação directa de escalas lineares à gama de frequências audíveis (pois tal significaria operar numa escala de valores entre 20×10^{-6} e $100 Pa$) conduziu à utilização de uma escala logarítmica. O logaritmo da relação entre os quadrados da pressão sonora medida e a de referência designa-se por *bel*. Da multiplicação destes valores por 10 resulta a grandeza *decibel* (dB), sendo esta a grandeza usada para definir a potência sonora (entre 0 e 140 dB).

A gama audível do ouvido humano está compreendida entre 20Hz e os 20 KHz, mas, como já foi referido, a sensibilidade do ouvido humano varia em função do conteúdo de frequências do som. A sensibilidade máxima acontece à volta dos 4KHz. Por exemplo, um estímulo sonoro de 70 dB a 1KHz é sentido de modo equivalente a um estímulo de 85dB a 50 Hz (na figura 3 estão representadas as curvas que indicam a igual sensibilidade auditiva, ou seja, as curvas isofónicas).

A resposta do ouvido do Homem às variações de frequência também não é linear, pelo que a representação da frequência surge em termos de *bandas por oitava*. O ouvido humano interpreta a diferença entre um som de 1000 Hz e um de 500 Hz próxima da diferença entre um som de 2000 Hz e de um de 4000 Hz. Desta forma, as *bandas por oitava* são estabelecidas de modo que o limite superior da frequência seja aproximadamente o dobro da frequência limite inferior. Também se podem definir *bandas por 1/3 de oitava*, por exemplo a *banda de 1/3 de oitava* correspondente à frequência central de 1000 Hz é limitada inferiormente por 891 Hz e superiormente por 1120 Hz.

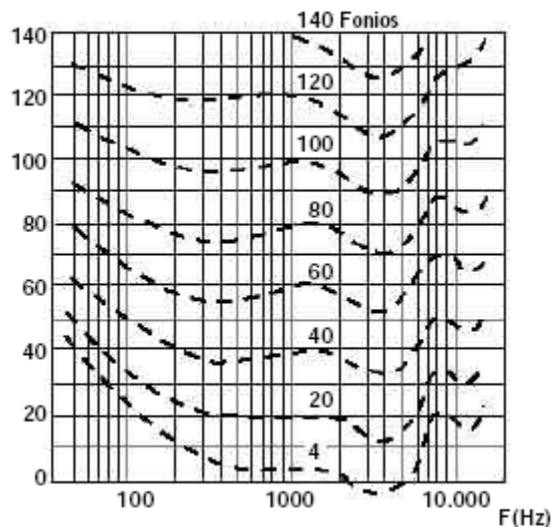


Figura 3 - Curvas isofónicas

Para avaliar a resposta do ouvido humano, em termos da interpretação que este faz do ruído, são usadas as designadas *curvas* ou *malhas de ponderação* A, B, C e D (figura 4). A malha de ponderação mais usada é a *malha de ponderação* A que segue a isofónica 40.

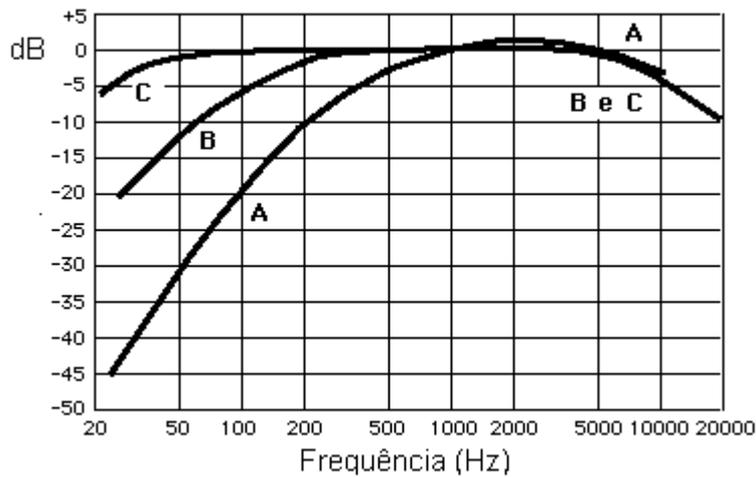


Figura 4 - Curvas de ponderação resultantes da resposta do ouvido humano

Como já foi referido o transdutor das vibrações mecânicas em impulsos nervosos é o ouvido interno, sendo depois a informação processada no cérebro.

Os sinais sonoros de curta duração (sinais impulsivos) quase não são perceptíveis pelo ouvido. Estes sinais não são devidamente atenuados pelo sistema de defesa do ouvido, podendo ocasionar o *trauma auditivo*. Por outro lado, a exposição do ouvido a ruídos não impulsivos permite que este desenvolva mecanismos próprios de defesa.

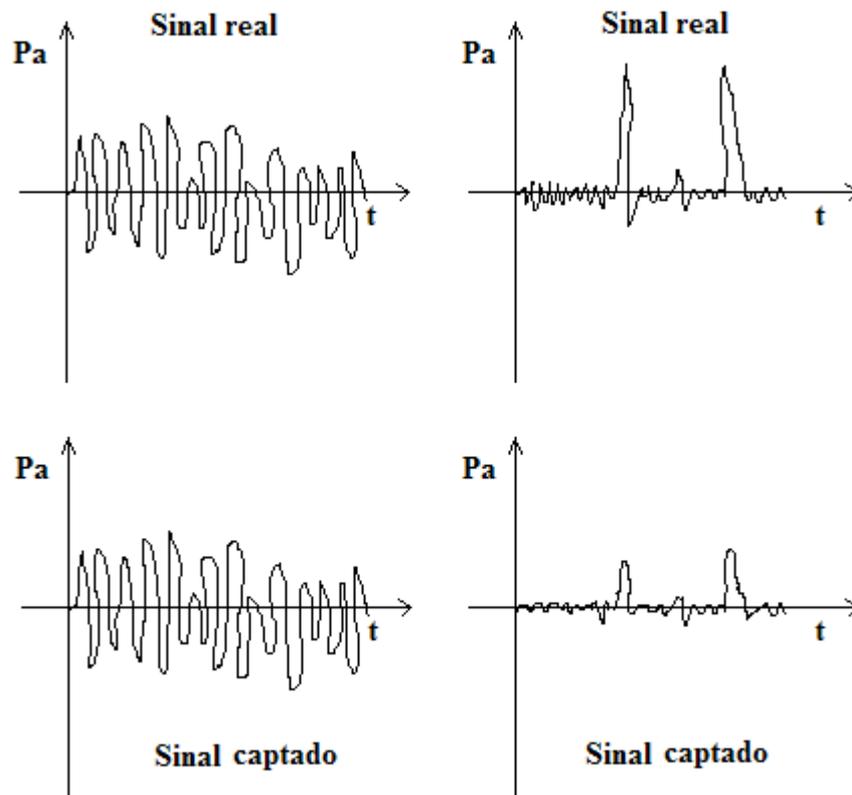


Figura 5 - Resposta do ouvido humano a sinais quase constantes e sinais impulsivos.

Quando uma parte do ouvido perde a sua funcionalidade ocorre uma perda de audição. As perdas auditivas podem variar desde perdas auditivas ligeiras até à surdez total. O nível de perdas auditivas pode ser aferido através de *exames audiométricos*. O padrão das perdas pode apresentar um quadro bastante diversificado, desde perdas nas frequências mais altas, nas frequências mais baixas ou perdas uniformes ao longo da frequência.

3 Parâmetros usados em acústica

O ruído não é constante, caracterizando-se por variações no tempo que se manifestam no sinal adquirido através de quebras e de picos. Para simplificar a análise do ruído, admite-se um nível de ruído constante, durante o mesmo período de tempo de emissão do som e contendo a mesma energia – **Nível de Ruído Equivalente**, *Leq*. Este parâmetro corresponde ao nível sonoro de um som contínuo equivalente que contém a mesma energia sonora da globalidade do ruído, no mesmo intervalo de tempo medido. O Nível de Ruído Equivalente é dado pela seguinte expressão:

$$Leq = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right) \quad [1]$$

em que:

T – período de medição;

p(t) – pressão sonora instantânea;

$p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa

Quando o nível de ruído seja obtido para pressões sonoras ponderadas, por exemplo através da malha de ponderação A, o valor do nível de ruído equivalente obtido, virá expresso em dB(A) (ou dB(B), para a malha B e assim sucessivamente, para as restantes malhas de ponderação).

4 Aparelhos usados em medições acústicas

Os aparelhos utilizados nas medições acústicas do som aéreo permitem medir pressões sonoras – *sonómetros* e *dosímetros* – e intensidades sonoras – *sondas de intensidade*.

4.1 Sonómetros

Os sonómetros (figura 6) medem níveis de pressão e fazem a aquisição dos sinais de forma análoga à do ouvido humano. As medições acústicas feitas com um sonómetro restringem-se a pontos fixos. Deste equipamento fazem parte os seguintes blocos:

- Microfone: que é constituído por uma membrana de alta sensibilidade que se deforma em função da variação de pressão. A membrana ao mover-se, transmite um sinal eléctrico ao pré-amplificador;
- Pré-amplificador: ao receber o sinal eléctrico da membrana, este bloco amplifica-o para poder ser analisado nos restantes blocos do sonómetro;
- Filtros de ponderação: permitem fazer medições para que estas sejam semelhantes à resposta do ouvido humano;
- Detector: permite que o sonómetro capte o ruído; tratando-se de análises em valores médios, as aquisições poderão ser efectuadas em diferentes tempos de resposta – *Slow*, *Fast* e *Impulse*. As medições em modo *slow* são utilizadas para avaliar o ruído exterior, as medições em modo *fast* são usadas na determinação do ruído industrial e as medições em modo *impulse* são usadas para avaliar ruídos contendo variações acentuadas, com picos de curta duração;

- Circuito Integrador: este bloco está presente em apenas alguns sonómetros – *sonómetros integradores* – e permite determinar o ruído equivalente;
- Dispositivo de leitura – é o dispositivo onde é registada a leitura da medição.



Figura 6 – Sonómetro e gráficos do software de análise de dados memorizados.

4.2 Dosímetros

Estes aparelhos de medição permitem avaliar doses de ruído, sendo, normalmente, usados em medições na indústria, possibilitando aquisições perto do ouvido do trabalhador, sem lhe limitar a mobilidade ou causar outras perturbações, já que as suas reduzidas dimensões permitem que seja facilmente transportado, no bolso da camisa.

O dosímetro (figura 7) faz a aquisição dos sinais de uma forma semelhante à do sonómetro, convertendo em dose de ruído equivalente todos os níveis sonoros acima de 80 dB(A), ignorando todos os níveis sonoros abaixo deste valor. A leitura deste aparelho é apresentada em percentagem da dose de ruído correspondente a um nível sonoro equivalente de 90 dB(A), durante 8 horas de trabalho.

A análise dos resultados deve ser complementada com o conhecimento do tipo de ruído que se vai medir, pelo que, antes de realizar medições com o dosímetro, se deve fazer medições em determinados pontos com o sonómetro.



Figura 7 – Dosímetro.

4.3 Sondas de intensidade

As sondas de intensidade permitem determinar o fluxo do som segundo uma determinada direcção, possibilitando, desta forma, avaliar, num local com diversos tipos de fontes sonora, as que emitem maior ruído. Estes aparelhos têm um funcionamento semelhante ao dos sonómetros, mas possuem dois microfones que possibilitam a determinação dos níveis de intensidade sonora.

4.4 Fontes sonoras normalizadas

Tem grande importância, em alguns tipos de aplicações, a utilização de aparelhos de produção de som com emissão constante e perfeitamente conhecida. Estes dispositivos permitem a emissão contínua de vários tipos de espectros padrão (em frequências mais altas ou frequências mais baixas), com diferentes níveis sonoros, de acordo com o que se pretende.

6. Bibliografia

- [1] MIGUEL, Alberto S. R.; “Manual de higiene e segurança do trabalho”, Porto Editora, 4^o edição.
- [2] PATRÍCIO, Jorge; *Acústica nos Edifícios*; Verlag Dashöfer 4^a edição, 2007.
- [3] TADEU, António J. B.; MATEUS, Diogo; Apontamentos de Acústica, 2004/2005, FCTUC, Coimbra.