

Em analogia às ondas transversais, onde a energia transmitida pela onda, por unidade de tempo (portanto, potência), era

$$P = \frac{1}{2} \mu v \omega^2 y_0^2,$$

pode-se mostrar que para o caso das ondas longitudinais,

$$P = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 s_0^2. \quad (97)$$

Em ambos os casos, a dependência na amplitude da onda é quadrática.

Intensidade e Nível Sonoro

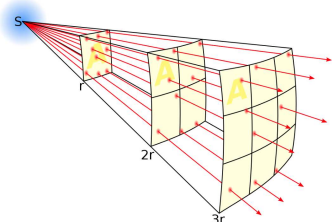
A *intensidade* de uma onda sonora na superfície da frente de onda é a taxa média por unidade de área na qual energia é transferida pela onda:

$$I = \frac{P}{A} \quad (98)$$

onde P é a potência. Ou seja, I é a energia média transferida por unidade de área e unidade de tempo. Por exemplo, no caso de uma fonte puntual, onde a onda se afasta em frentes esféricas centradas na fonte, a energia emitida cobre toda a superfície da frente de onda:

$$I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (99)$$

onde R é o raio da frente de onda. Assim, vemos que a intensidade decai com o quadrado da distância. Uma frente que viajou o dobro da distância que outra (o raio da esfera), terá uma intensidade quatro vezes menor do que esta.



Na presença de diversas fontes num certo ponto do espaço, a intensidade total é soma das várias intensidades (a energia se soma).

A escala decibél

Nosso ouvido percebe um intervalo muito grande de intensidades, sendo esta uma das razões para que se use uma escala logarítmica específica para a intensidade sonora:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (100)$$

onde $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ está próximo ao limite inferior de audição humano¹¹⁰. No limite inferior temos $I \simeq I_0$ e portanto $\beta \simeq$

0. Existem ambientes projetados para serem ainda mais silenciosos do que isso, as chamadas câmaras anecóicas, que eliminam ao máximo os ruídos, ecos e vibrações usando diferentes materiais, onde o nível de ruído pode chegar a cerca de -20 dB, o que corresponde aproximadamente a $I_0/100$. No limite superior, $I = 1 \text{ W/m}^2 = 10^{12} I_0$, ou seja

$$\beta = 10 \log 10^{12} = 120 \text{ dB}.$$

Esta intensidade chega a causar dor¹¹¹. Nessa escala logarítmica, *multiplicar* a intensidade por um fator de 10, $I \rightarrow 10I$, equivale a *adicionar* 10 a β :

$$\beta \rightarrow \beta + 10 \log 10 = \beta + 10.$$

Exemplo 54: Cinquenta pessoas conversam, reunidas em uma sala. O nível de ruído das conversas é de 77 dB. Depois que metade das pessoas for embora, qual será, em dB, o nível da intensidade sonora dentro da sala (supondo, obviamente, que as pessoas continuem conversando como antes)?

A intensidade inicial é

$$77 = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log I - 10 \log I_0$$

e depois que metade das pessoas saem:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{2I_0} = 10 \log I - 10 \log(2I_0).$$

Subtraindo uma da outra:

$$77 - \beta = 10 \log 2,$$

logo

$$\beta = 77 - 10 \log 2 \simeq 74 \text{ dB}.$$

Ao dobrar a intensidade (independente do valor inicial), o nível aumenta cerca de 3 dB.

Exemplo 55: Se duas fontes sonoras emitem sons de 100 dB e 120 dB simultaneamente, qual é o nível sonoro total?

$$100 = 10 \log \frac{I_1}{10^{-12}} \rightarrow I_1 = 10^{-2} \text{ W/m}^2$$

$$120 = 10 \log \frac{I_2}{10^{-12}} \rightarrow I_2 = 1 \text{ W/m}^2.$$

Assim, $I = I_1 + I_2 = 1.01 \text{ W/m}^2$ e

$$\beta = 10 \log \frac{1.01}{10^{-12}} \simeq 120.04 \text{ dB}.$$

¹¹⁰O tamanho exato do intervalo depende também da frequência do som.

¹¹¹No *Guinness* temos Mike Eden (GB) com um ronco de 102 dB, equivalente a uma motocicleta (ISTO É, 1704 (29/5/2002), p. 21). Um som de 160 dB é alto o suficiente para romper o tímpano.