

Medição do Som



2010

Introdução

Utilização de uma escala logarítmica

Entre o limiar inferior e o superior da audição (sensação dolorosa) existe uma diferença de 130 dB.



Pedro Menezes - 2010

Introdução

Utilização de uma escala logarítmica

O som que produz dor é 10^{13} vezes mais intenso do que o som escutado no limiar inferior.

- Raros são os sistemas capazes de operar com uma faixa tão larga de valores
- Uma escala linear para a intensidade seria inviável

Pedro Menezes - 2010

Introdução

Utilização de uma escala logarítmica

Fonte Sonora	Intensidade	NIS	# de vezes maior que LA
Limiar de audição (LA)	$1 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$	0 dB	10^0
Folhas com o vento	$1 \cdot 10^{-11} \text{ W/m}^2$	10 dB	10^1
Coçichio	$1 \cdot 10^{-10} \text{ W/m}^2$	20 dB	10^2
Conversa Normal	$1 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$	60 dB	10^6
Tráfego intenso	$1 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$	70 dB	10^7
Limpador a vácuo	$1 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$	80 dB	10^8
Orquestra grande	$6.3 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$	98 dB	$10^{9.8}$
Walkman no nível máximo	$1 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^2$	100 dB	10^{10}
Show de rock	$1 \cdot 10^{-1} \text{ W/m}^2$	110 dB	10^{11}
Limiar de dor	$1 \cdot 10^0 \text{ W/m}^2$	130 dB	10^{13}
Jato	$1 \cdot 10^0 \text{ W/m}^2$	140 dB	10^{14}
Ruptura de Membrana timpânica	$1 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$	160 dB	10^{16}

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Conceito

$$\text{Log}_a x = r \rightarrow a^r = x$$

- O logaritmo de x na base a é o expoente ao qual devemos elevar o número a para obter x .

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Conceito

$$\text{Log } x = r \rightarrow 10^r = x$$

- Logaritmo de 100 na base 10 = 2 $\rightarrow \text{Log}_{10} 100 = 2 \rightarrow 10^2 = 100$

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Propriedades

1. LOGARITMO DE UM PRODUTO

O logaritmo de um produto é igual a soma dos logaritmos dos fatores, ou seja:

$$\log (M.N) = \log M + \log N$$

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Propriedades

1. LOGARITMO DE UM PRODUTO

Exemplos:

$$\log 20 = \log(2.10) = \log 2 + \log 10 \approx 0,3 + 1 \approx 1,3.$$

$$\log 12 = \log(3.2.2) = \log 3 + \log 2 + \log 2 \approx 0,4 + 0,3 + 0,3 = 1.$$

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Propriedades

2. LOGARITMO DE UM QUOCIENTE

O logaritmo de uma fração ordinária é igual a diferença entre os logaritmos do numerador da fração e do denominador, ou seja:

$$\log (M/N) = \log M - \log N$$

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Propriedades

2. LOGARITMO DE UM QUOCIENTE

Exemplos:

$$\log 5 = \log(10/2) = \log 10 - \log 2 \approx 1 - 0,3 \approx 0,7$$

$$\log 0,02 = \log(2/100) = \log 2 - \log 100 \approx 0,3 - 2 \approx -1,7$$

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Propriedades

2. LOGARITMO DE UM QUOCIENTE (mudança de sinal)

$$\log (M/N) = - \log N/M$$

Exemplo: $\log(2/100) = - \log 100/2 = - (2 - 0,3) = -1,7$.

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Propriedades

3. LOGARITMO DE UMA POTÊNCIA

Temos a seguinte fórmula, facilmente demonstrável:

$$\log M^k = k \cdot \log M$$

Pedro Menezes - 2010

Logaritmo

Propriedades

3. LOGARITMO DE UMA POTÊNCIA

Exemplos:

$$\log 100^2 = 2 \cdot \log 100 = 2 \cdot 2 = 4.$$

$$\log 2^3 = 3 \cdot \log 2 = 3 \cdot (0,3) = 0,9.$$

Pedro Menezes - 2010

Curiosidade

RMS ou PMPO

RMS (root mean square)

- Sinal senoidal de 1000 Hz
- Aumenta-se o nível até que o sinal na saída comece a distorcer (*clipping point*).
- O valor da potência desenvolvida sobre a carga resistiva é então chamado de potência RMS ou potência contínua.

Pedro Menezes - 2010

Curiosidade

RMS ou PMPO

PMPO (Peak Music Power Output)

- Medição de picos máximos de saída para diversas frequências
- Avaliação de pequenos períodos de tempo
- Não há restrições quanto a distorção
- Não existe padronização (tabelas vão de 4x a 16x valor em rms)
- Comodidade dos fabricantes

Pedro Menezes - 2010

Curiosidade

INMETRO

“Considerando que a declaração única da potência PMPO é uma informação incorreta para o consumidor (...)”

Pedro Menezes - 2010

BEL

Conceito



$$\text{Bel} = \text{Log } I/I_0$$

Pedro Menezes - 2010

BEL

Conceito

Unidade de escala logarítmica utilizada para relacionar determinada intensidade ou energia (I), com a intensidade ou energia de referência (I_0) ou relacionar a pressão (p) com a pressão de referência (p_{ref} ou p_0).

Pedro Menezes - 2010

Decibel

decibel é definido como a décima parte do *bel*.

$$\begin{aligned} \text{Bel} &= \text{Log } I/I_0 \\ 1 \text{ Bel} &= 10 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\text{Log } I/I_0 \text{ Bel} = 10 \cdot \text{Log } I/I_0 \text{ dB}$$

Pedro Menezes - 2010

Decibel

Conceito

O decibel envolve a noção de razão e logaritmo. O valor de uma quantidade é expressa em relação à um valor de referência com significado próprio.

Pedro Menezes - 2010

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

Conceito

Varição da Intensidade em relação a uma intensidade de referência.

$$\text{dB NIS} = 10 \cdot \text{Log } I/I_0$$

• $I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$

Pedro Menezes - 2010

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

Conceito

Através da aplicação simples da fórmula, o aumento ou a diminuição da intensidade por um fator de 2:1:

- Resulta na soma ou a diminuição de aproximadamente 3 dB a este nível de intensidade, respectivamente.

Pedro Menezes - 2010

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

Conceito

$$\text{dB NIS} = 10 \cdot \text{Log } I/I_0$$

(demonstrar)

Pedro Menezes - 2010

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

Conceito

$$\text{Intensidade} = \frac{\text{Energia}}{\text{Tempo} \times \text{Área}}$$

$$\text{Intensidade} = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}}$$

Energia sonora

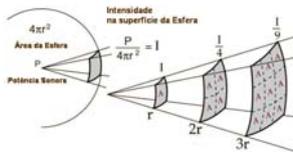
- Esférica
- Decai proporcional ao inverso do quadrado da distância
- $I = E/t \cdot 4\pi r^2$



Pedro Menezes - 2010

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

Amortecimento com a distância em campo livre



Pedro Menezes - 2010

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

Amortecimento com a distância (exemplo)

NIS ponto A = 30 dBNIS
NIS ponto B = ?

• t = constante, E = constante

$$I_A = E/t \cdot A_A$$

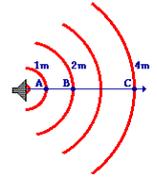
$$A_A = 4\pi r^2, \text{ para } r = 1 \rightarrow A_A = 4\pi$$

$$I_A = E/t \cdot 4\pi$$

$$I_B = E/t \cdot A_B$$

$$A_B = 4\pi r^2, \text{ para } r = 2 \rightarrow A_B = 16\pi$$

$$I_B = E/t \cdot 16\pi$$



Pedro Menezes - 2010

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

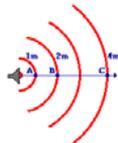
Amortecimento com a distância (exemplo)

Proporção = I_A/I_B

$$\frac{E/t \cdot 4\pi}{E/t \cdot 16\pi} = \frac{1/4}{1/16} = \frac{1}{4} \cdot \frac{16}{1} = \frac{4}{1}$$

• Proporção = 4:1

- A intensidade no ponto B é 4X menor que no ponto A
- 4x menos intensidade = - 6 dB
- NIS no ponto B = 24 dBNIS



Pedro Menezes - 2010

Nível de Intensidade Sonora (NIS)

Amortecimento com a distância (exemplo)

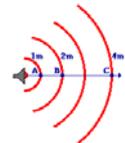
Proporção = I_A/I_B

$$\frac{E/t \cdot 4\pi}{E/t \cdot 16\pi} = \frac{1/4}{1/16} = \frac{1}{4} \cdot \frac{16}{1} = \frac{4}{1}$$

• Proporção = 4:1

- A intensidade no ponto B é 4X menor que no ponto A
- 4x menos intensidade = - 6 dB

• NIS no ponto B = 24 dBNIS (demonstrar)



Pedro Menezes - 2010

Nível de Pressão Sonora (NPS)

Conceito

Variação da pressão em relação a uma pressão de referência.

$$\text{dB NPS} = 20 \cdot \text{Log } p/p_0$$

- $p_0 = 20\mu\text{Pa}$ (N/m^2)

Pedro Menezes - 2010

Nível de Pressão Sonora (NPS)

Conceito

Através da aplicação simples da fórmula, o aumento ou a diminuição da pressão por um fator de 2:1:

- Resulta na soma ou a diminuição de aproximadamente 6 dB a este nível de pressão, respectivamente.

Pedro Menezes - 2010

Nível de Pressão Sonora (NPS)

Conceito

$$\text{dB NPS} = 20 \cdot \text{Log } p/p_0$$

(demonstrar)

$$I \propto p^2$$

Pedro Menezes - 2010

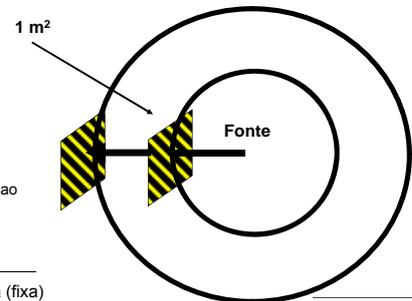
Nível de Pressão Sonora (NPS)

Conceito

Pressão sonora

- Pontual
- Decai proporcional ao inverso da distância

$$\text{Pressão} = \frac{\vec{F}}{\text{Área (fixa)}}$$



Pedro Menezes - 2010

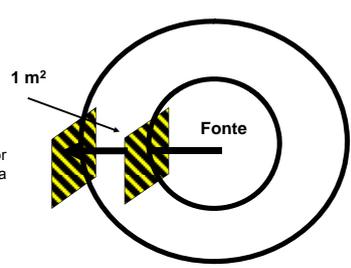
Nível de Pressão Sonora (NPS)

Amortecimento com a distância em campo livre

Pressão sonora

- Área fixa = 1 m^2
- Quem diminui é o vetor força. Vetor atenua proporcional à distância

• Pressão = $\frac{\vec{F}}{\text{Área (fixa)}}$



Pedro Menezes - 2010

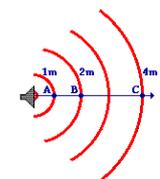
Nível de Pressão Sonora (NPS)

Amortecimento com a distância (exemplo)

NPS ponto A = 30 dBNPS
NPS ponto B = ?

A = constante
 $P_A = F_A/A$

$P_B = F_B/A$
distância relativa $r_A/r_B = 1/2 \rightarrow F_B = F_A \cdot 1/2$
 $P_B = F_A/2A$



Pressão = $\frac{\vec{F}}{\text{Área (fixa)}}$

Pedro Menezes - 2010

Nível de Pressão Sonora (NPS)

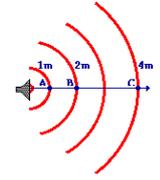
Amortecimento com a distância (exemplo)

Proporção = P_A/P_B

$$\frac{F_A/A}{F_A/2A} = \frac{1}{1/2} = \frac{1}{1} \cdot \frac{2}{1} = 2$$

• **Proporção = 2:1**

- A pressão no ponto B é 2X menor que no ponto A
- 2x menos pressão = - 6dB
- **NPS no ponto B = 24 dBNPS (demonstrar)**



Pedro Menezes - 2010

NIS ou NPS

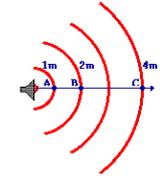
Amortecimento com a distância

- Forma simples: **relação entre I e I₀**

1. Quando o raio dobra, a intensidade diminui quatro vezes
2. Quando o raio diminui pela metade, a intensidade quadruplica

- Forma simples: **relação entre P e P₀**

1. Quando o raio dobra a pressão diminui duas vezes
2. Quando o raio diminui pela metade a pressão duplica



Pedro Menezes - 2010

NIS ou NPS

Amortecimento com a distância

- Exemplo 1
20 dB NIS (3 m), qual o NIS a 9 m?
- Exemplo 2
50 dB NPS (2 m), qual o NPS a 6 m?

Pedro Menezes - 2010

NIS e NPS

Relação

Numericamente, valores em dB NPS são iguais aos em dB NIS, no entanto, como se observou anteriormente, as referências são diferentes e a forma de avaliação também.

Ex.: 10 dBNIS = 10 dBNPS (será demonstrado a seguir)

Pedro Menezes - 2010

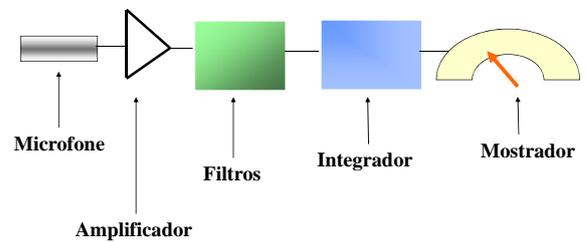
Analizador de nível de pressão sonora



Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

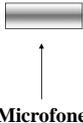
Esquema



Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

Esquema



Microfone

Microfone:

Capta o sinal acústico e o transforma em sinal elétrico. A Intensidade da corrente elétrica é proporcional a Intensidade da onda sonora.

Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

Esquema



Amplificador

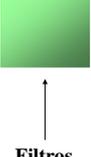
Amplificador:

O sinal elétrico do microfone é muito pequeno (milivolts). O amplificador aumenta o sinal elétrico captado pelo microfone.

Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

Esquema



Filtros

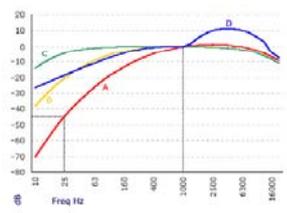
Filtros de Frequências:

Os filtros de frequências separam o sinal elétrico em bandas de frequências, atenuando ou amplificando cada uma. Os medidores têm vários filtros padronizados pela Norma ISO.

Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

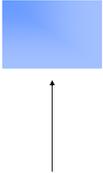
Curvas de ponderação



Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

Esquema



Integrador:

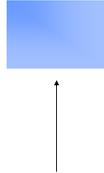
O Integrador tem como função obter a média da intensidade sonora em um tempo T.

Integrador

Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

Esquema



Tempo de Resposta:

Resposta Lenta: O ponteiro indica a média do nível sonoro a cada 1 segundo.

Resposta rápida: $T = 1/8 = 0,125$ segundos.

Resposta impulso: $T = 1/20 = 0,050$ s.

Integrador

Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

Configuração

Ruídos Contínuos → Resposta Lenta

Ruídos Flutuantes → Resposta Lenta

Ruídos de Impacto → Resposta Rápida ou Impulso

Pedro Menezes - 2010

Analizador de nível de pressão sonora

Configuração

Intensidade medida em função da sensação humana (conforto ou risco de PAIR) → Curva A

Intensidade sonora total → Curva C

Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

Introdução

Utiliza-se escala dB, os níveis de intensidade ou de pressão sonora não podem ser somados diretamente.

- Então qual é o nível de intensidade sonora resultante da soma de duas fontes idênticas que produzem 50 dB NIS cada uma??

Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

Cálculos

- 50 dBNIS representa uma intensidade de 10^{-7} w/m^2
- Duas fontes de 50 dBNIS geram um intensidade igual a $2 \times 10^{-7} \text{ w/m}^2$

- Assim:

$$\text{Total dBNIS} = 10 \log I/I_0 = 10 \log 2 \cdot 10^{-7} / 10^{-12} = 10(\log 2 + \log 10^5)$$

Total = 53 dBNIS

Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

Cálculos

- Forma simples: **relação entre I e I₀**.

$$\text{dB NIS} = 10 \cdot \text{Log } I/I_0$$

Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

NPS

Qual seria o valor do nível de pressão sonora resultante da soma de duas fontes idênticas que produzem 50 dB NPS cada uma??

- 56 dBNPS???

Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

NPS

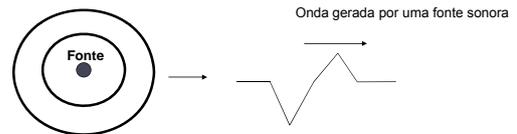
A resposta também seria 53 dBNPS

1. Os valores em dB NIS e NPS são numericamente iguais
2. Quando tem-se duas fontes sonoras idênticas trabalhando juntas, tem-se o dobro da potência, mas **não o dobro** da pressão pois não se conhece a fase relativa das fontes sonoras

Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

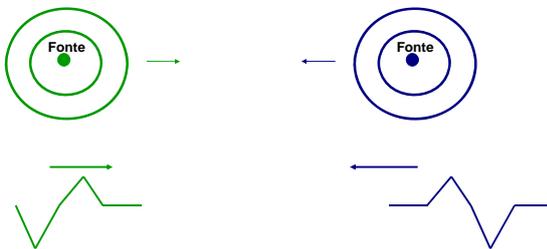
NPS (Fase relativa)



Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

NPS (Fase relativa)



Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

NPS (Fase relativa)

Situação 1



Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

NPS (Fase relativa)

Situação 2

Ponto de observação =  • pressão ambiente
• Não tem som



Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

NPS (Fase relativa)

A distribuição estatística das diversas possibilidades de interação das duas ondas vai representar, no final, um aumento de 3 dB.



Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

NPS (Fase relativa)

3. O aumento da intensidade por um fator de 2:1 representa um aumento de raiz quadrada de 2 na pressão.

- $I \propto p^2$
- $2I \propto p^2 \rightarrow p \propto \sqrt{2} \rightarrow p \propto 1,414$

$$dBNPS = 20 \log p/p_0$$

$dBNPS = 50 + 20 \log 1,414$
 $dBNPS = 53$

Pedro Menezes - 2010

Adição de fontes sonoras

Prova ASHA

Duas fontes sonoras individualmente produzem o mesmo nível de pressão sonora. Somando-se as duas, qual o valor excedido ao nível de pressão sonora de cada uma funcionando isoladamente?

Pedro Menezes - 2010

Subtração de ruído de fundo

Conceito

A subtração do ruído de fundo, ou dos níveis de pressão sonora gerados por qualquer outra fonte sonora que não a objeto de estudo, segundo GERGES (2000), pode ser calculada através da expressão abaixo:

$$NPS \text{ (da máquina)} = 10 \log \left[10^{\frac{L_t}{10}} - 10^{\frac{L_f}{10}} \right]$$

L_t é o nível de pressão sonora total, com a máquina funcionando e L_f é o nível de pressão sonora de fundo, com a máquina desligada.

Pedro Menezes - 2010

Subtração de ruído de fundo

Exemplo

Para uma sala de aula que tem um ruído total de 70 dB, e com os alunos em silêncio 64 dB, calcule o nível de pressão sonora da fala desses alunos.

$$L_t = 70 \text{ dB e } L_f = 64$$

$$NPS \text{ (fala dos alunos)} = 10 \log \left[10^{\frac{70}{10}} - 10^{\frac{64}{10}} \right] = 10 \log^{7498113,5}$$

$$NPS \text{ da fala dos alunos} = 68,7 \text{ dB}$$

Pedro Menezes - 2010

Nível de Pressão sonora equivalente

Conceito

O Nível Equivalente de Pressão Sonora Contínua, ou L_{eq} , corresponde ao nível constante que possui a mesma quantidade de energia que o conjunto de níveis variáveis da fonte sonora que desejamos medir.

Pedro Menezes - 2010

Nível de Pressão sonora equivalente

Exemplo

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{I(t)}{I_0} dt$$



Pedro Menezes - 2010

Nível de Pressão sonora equivalente

Equação discreta

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right)$$

↙
Dividido pelo tempo

Pedro Menezes - 2010

Nível de Pressão sonora equivalente

Exemplo

Curva de Ponderação A
Tempo de medição Lento (slow) = 1s

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right)$$

Medição 1 = 50 dB(A)
Medição 2 = 70 dB(A)

$$L_{eq} = 10 \log [(1/2) \cdot (10^{50/10} + 10^{70/10})] \quad \text{Calculadora científica}$$

$$L_{eq} = 10 \log [(1/2) \cdot (10100000)] \rightarrow L_{eq} = 10 \log (5050000)$$

$$L_{eq} = 10 \cdot 6,703$$

$$L_{eq} = 67,03 \text{ dB(A)}$$

Pedro Menezes - 2010

Cálculo da média tritonal

Conceito

O cálculo da Média Tritonal está correto???



Pedro Menezes - 2010