

AUT0278 - Desempenho Acústico, Arquitetura e Urbanismo



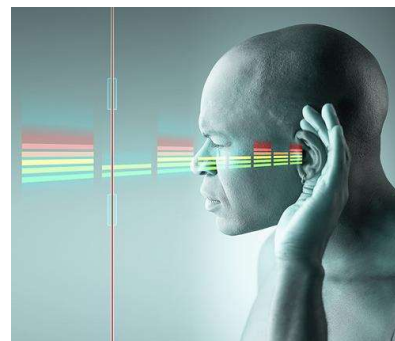
## dB, Pressão, Potência e Intensidade



e-mail: aut278.2018@gmail.com

### Pressão Sonora e Nível em dB:

- Microfone: mede pressão.
- Faixa de pressão sonora audível:  
 $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2 < p < 20 \text{ N/m}^2$   
 $20 \mu \text{ Pa} < p < 20 \text{ Pa}$   
Limiar da audição      Limiar da dor
- Faixa muito grande de variações.



- Sonômetro: mede nível de pressão sonora, em decibel (dB).

- Limiar da audição: 0 dB
- Limiar da dor: 120 dB

## Nível de Pressão Sonora ( $L_p$ ou $NPS$ )

- É uma relação logarítmica entre a pressão sonora no ambiente e uma pressão sonora de referência, expresso em dB.

$$NPS = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2$$

$$NPS = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)$$

Onde:

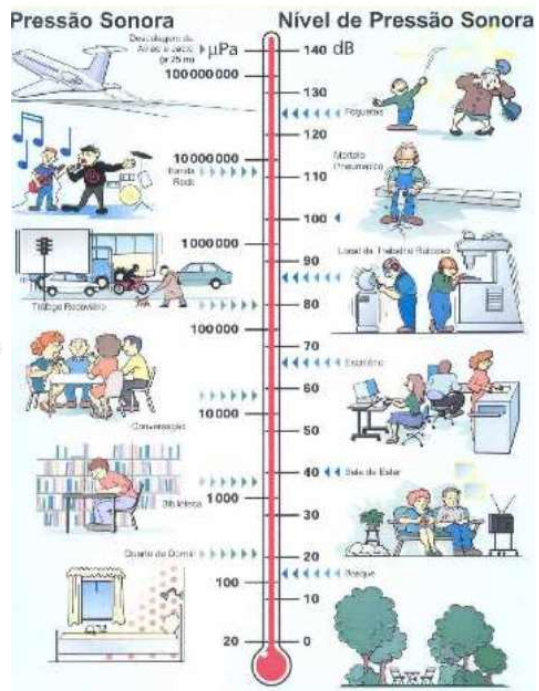
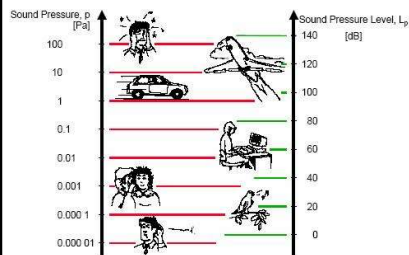
$p$  – pressão sonora sendo medida.

$p_0 = p_{ref} = 2 \times 10^{-5}$  Pa (N/m<sup>2</sup>) – pressão sonora de referência.

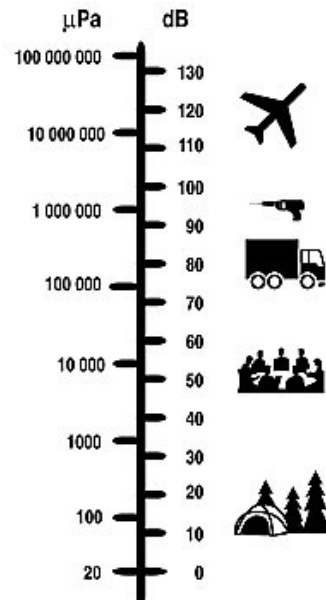
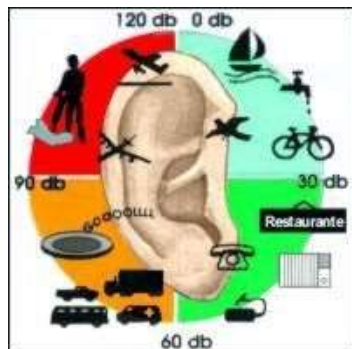
$NPS$  é o valor que é realmente medido quando um sonômetro é colocado em um campo sonoro.

	$p$ pressão sonora [Pa]	NPS [dB]
limiar da dor	$2 \times 10$ Pa	120
limiar da audição	$2 \times 10^{-5}$ Pa	0

## Níveis de pressão sonora típicos para fontes comuns:



## Níveis de pressão sonora típicos para fontes comuns:



## Como medir o nível de pressão sonora?

### Medição do *NPS*:

- Através de medições com:
  - **sonômetro ou medidor de pressão sonora** e não “decibelímetro” (qualquer grandeza física pode ser medida em dB)
- O que ele mede? • O *NPS* de um som, expresso em dB.



Medição do *NPS*:



Medidor de nível de pressão sonora Classe 1:  
Modelo 831 da Larson Davis  
Sofisticado, rápido e fácil de ser usado

Medição do *NPS*:



Calibrador Sonoro

## Exemplo

---

Exemplo 1:

Considere um valor de pressão sonora de 200 Pa. Qual é o nível de pressão sonora?

$$p = 200 \text{ Pa}$$

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

$$NPS = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)$$

$$NPS = 20 \log \left( \frac{200}{2 \times 10^{-5}} \right) = 20 \log(10^7) = 140 \text{ dB}$$

## Exemplo

---

Exemplo 2:

Se um som tem pressão sonora 1.000 vezes a pressão sonora de referência, qual é o seu nível de pressão sonora?

$$p = 1000 p_0$$

$$NPS = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)$$

$$NPS = 20 \log \left( \frac{1000 p_0}{p_0} \right) = 20 \log(1000) = 20 \cdot 3 = 60 \text{ dB}$$

## Exemplo

---

Exemplo 3:

- a) Fisicamente, dobrar a pressão sonora significa aumentar o nível de pressão sonora em quantos dB?
- b) E multiplicar a pressão sonora por 10, significa aumentar em quanto o nível de pressão sonora?

## Exemplo

---

Exemplo 3:

- a) Fisicamente, dobrar a pressão sonora significa aumentar o nível de pressão sonora em quantos dB?

$$\begin{aligned} \text{a) } p_1 &= p & NPS_1 &= 20 \log\left(\frac{p}{p_0}\right) & NPS_2 &= 20 \log\left(\frac{2p}{p_0}\right) \\ p_2 &= 2p & NPS_2 - NPS_1 &= 20 \log\left(\frac{2p}{p_0}\right) - 20 \log\left(\frac{p}{p_0}\right) = 20 \log\left(\frac{2p \cdot p_0}{p_0 \cdot p}\right) \\ p_0 &= 2 \times 10^{-5} \text{ Pa} & NPS_2 - NPS_1 &= 20 \log(2) = 20 \cdot 0,3 = 6 \text{ dB} \\ NPS &= 20 \log\left(\frac{p}{p_0}\right) & & & & \text{Significa aumentar o nível em 6 dB.} \end{aligned}$$

## Exemplo

Exemplo 3:

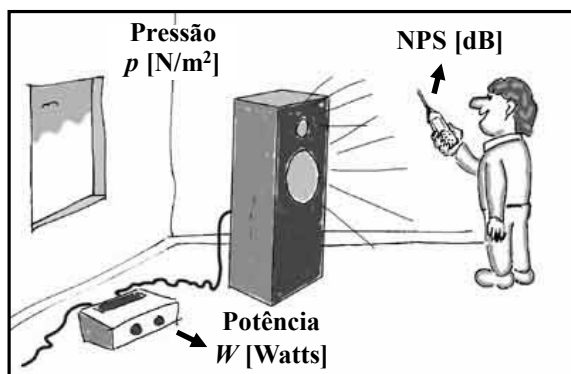
b) E multiplicar a pressão sonora por 10, significa aumentar em quanto o nível de pressão sonora?

$$\begin{aligned} \text{b) } p_1 &= p \\ p_2 &= 10p \\ p_0 &= 2 \times 10^{-5} \text{ Pa} \\ NPS &= 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} NPS_1 &= 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) & NPS_2 &= 20 \log \left( \frac{10p}{p_0} \right) \\ NPS_2 - NPS_1 &= 20 \log \left( \frac{10p}{p_0} \right) - 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) = 20 \log \left( \frac{10p}{p_0} \cdot \frac{p_0}{p} \right) \\ NPS_2 - NPS_1 &= 20 \log(10) = 20 \cdot 1 = 20 \text{ dB} \end{aligned}$$

Significa aumentar o nível em 20 dB.

## Pressão Sonora x Potência Sonora

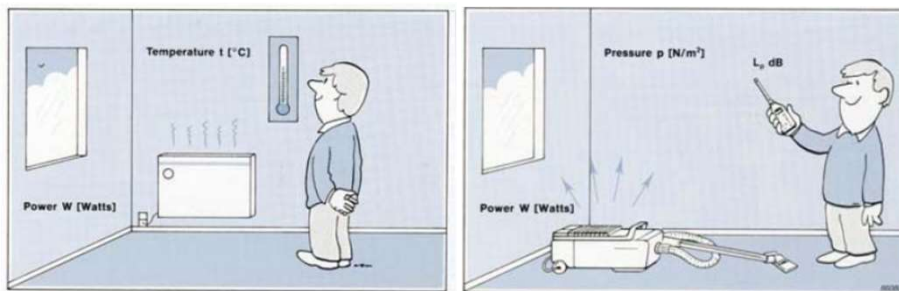
Pressão Sonora: é aquela que é ouvida e medida. Depende do ambiente acústico ao redor da fonte sonora, chamado campo sonoro.



Potência Sonora: É uma propriedade inerente da fonte sonora, independente do ambiente sonoro. É a razão de energia sonora emitida por uma fonte, a quantidade de energia sonora radiada por unidade de tempo.



## Potência – Analogia com a temperatura



Potência “elétrica” - Temperatura

Potência acústica - Pressão Sonora

## Potência Sonora

- É uma característica da fonte.
- Potência = Intensidade x Área
- unidade = Watt (W) = Joule/s

Orquestra	10 W
Avião a jato (decolando)	1000 kW
Voz humana	1 mW

- A intensidade e a pressão mudam com a distância (dependendo do meio), mas a potência não.

## Nível de Potência Sonora ( $NWS$ ou $L_W$ )

- O nível de potência sonora é uma medida da carga de energia de uma fonte sonora, expresso em dB, e definido por:

$$NWS = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right)$$

Onde:

$W_0 = W_{ref} = 10^{-12}$  Watts (potência sonora de referência)

$W$  é a potência sonora da fonte, em Watts.

- Quais os aparelhos eletrodomésticos que emitem mais ruído?



## Selo Ruído



- A partir do conhecimento da potência sonora de uma fonte é possível calcular o nível de pressão sonora em qualquer ambiente.

## Relação entre Nível de Pressão Sonora (NPS) e Nível de Potência Sonora (NWS):

$$NPS = NWS - 20 \log r - 11$$

Equação válida para propagação de uma onda esférica em campo livre.

- $r$  é a distância do receptor até a fonte sonora, em metros.

## Exemplo

### Exemplo 4

A potência sonora de saída de um alto-falante é de 5 Watt.

a) Qual o nível de potência sonora correspondente?

b) Se a potência for aumentada para 50 Watt, qual o aumento em termos de nível de potência sonora?

a)  $W = 5 \text{ W}$   
 $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$

$$NWS = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right)$$

b)  $W = 50 \text{ W}$   
 $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$

$\log 5 = 0,699$

$$NWS = 10 \log \left( \frac{5}{10^{-12}} \right) = 10 \log (5 \times 10^{12})$$

$$NWS = 10 \log (5) + 10 \log (10^{12})$$

$$NWS = 6,99 + 120 = 126,99 \text{ dB}$$

$$NWS = 10 \log \left( \frac{50}{10^{-12}} \right) = 10 \log (5 \times 10^{13})$$

$$NWS = 10 \log (5) + 10 \log (10^{13})$$

$$NWS = 6,99 + 130 = 136,99 \text{ dB}$$

O *NWS* aumentou 10 dB.

## Intensidade Sonora

- Não é nem uma propriedade inerente à fonte e nem ouvida ou medida.
- Grandeza popularmente conhecida como volume.
- Permite distinguir sons fortes ou fracos.
- Relacionada com a amplitude sonora, a pressão efetiva e a energia transportada.
- Definição: é a potência sonora média que passa por unidade de área.



$$I = \frac{W}{S}$$

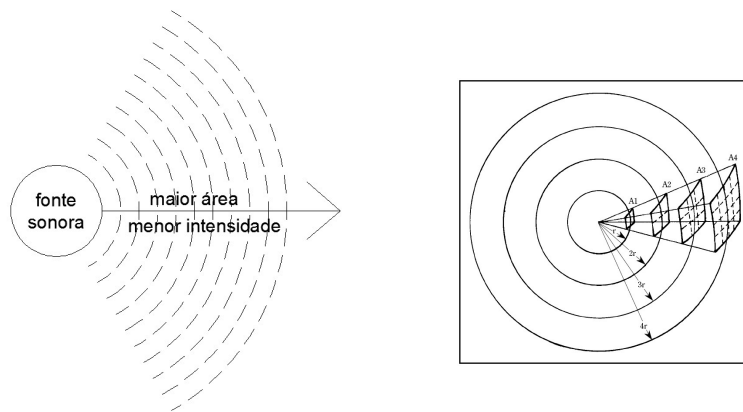
Onde:

$I$  é a intensidade sonora ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$W$  é a potência sonora ( $\text{W}$ )

$S$  é a área ( $\text{m}^2$ )

## Intensidade Sonora



- A intensidade física do som decresce com a distância da fonte sonora.

## Nível de Intensidade Sonora ( $NIS$ ou $L_I$ )

- O nível de intensidade sonora de um som de intensidade sonora  $I$ , em Watts, é expresso em dB e definido por:

$$NIS = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

Onde:

$I_0 = I_{ref} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  (intensidade sonora de referência, correspondente ao limiar da audição)

**Exemplos de níveis de intensidade sonora:**



**Exemplos de níveis de intensidade sonora:**

130 dB	Limiar de sensibilidade ou de dor
110 – 120 dB	Rebitagem de chapa de aço (a meio metro) / Trovão muito forte / Grande usina de eletricidade (junto às máquinas) / Motor de avião (3 a 10m)
90 – 110 dB	Caldeiraria, punçoneiras / <b>Passagem de um trem subterrâneo</b>
80 – 90 dB	Buzina de automóvel próxima / <b>Rua muito barulhenta</b>
70 – 80 dB	Rádio caseiro com excesso de “volume” / Orquestra sinfônica
60 – 70 dB	Rua de tráfego médio / Fábrica média / Conjunto musical “de câmara” / <b>Escritório barulhento</b>
50 – 60 dB	Conversa normal a um metro / Lojas comuns / Ruas residenciais / <b>Rádio com “volume” razoável</b>
40 – 50 dB	Escritórios comuns / Residência barulhenta / <b>Rádio de “cabeceira”</b>
30 – 40 dB	Conversa em voz moderada / Escritório ou residência tranquila
20 – 30 dB	Interior grande igreja / auditório / anfiteatro / escolar / Residência de campo
10 – 20 dB	Estúdio de rádio muito isolado / Cochichos / <b>Jardim muito tranquilo</b>
5 – 10 dB	Laboratório acústico, a prova de ruídos / Farfalhar de folhas (brisa leve)
0 dB	Limiar de percepção ou de audibilidade a 1000 Hz.

***Exemplos de níveis sonoros e correspondência com impressões médias qualitativas (sensações):***

<b>Nível sonoro</b>	<b>Descrição</b>	<b>Sensações médias</b>
130 - 140 dB	Perigo de ruptura do tímpano - Avião a jato a 1m - Fogo de artilharia	Insuportável (por longo tempo)
100 - 120 dB	- Avião a pistão a 3m - Broca pneumática - Indústria muito barulhenta	Muito ruidoso (desagradável)
80 - 90 dB	- Orquestra sinfônica - Rua barulhenta - Aspirador	Ruidoso (barulhento)
60 - 70 dB	- Rua de ruído médio - Pessoa falando a 1m - Rádio com volume médio - Escritório de ruído médio	Moderado (música e ruídos comuns)
40 - 50 dB	- Restaurante calmo - Sala de aula (ideal) - Escritório privado - Conversa	Calmo
10 - 30 dB	- Quarto de dormir - Movimento da folhagem - Estúdio de rádio	Silencioso (muito quieto)
0 - 10 dB	- Deserto ou região polar sem vento - Respiração normal	Muito silencioso (silêncio anormal)

**Relação entre Nível de Pressão Sonora (NPS) e Nível de Intensidade Sonora (NIS):**

$$NPS = NIS$$

- São numericamente iguais, mas têm funções diferentes.

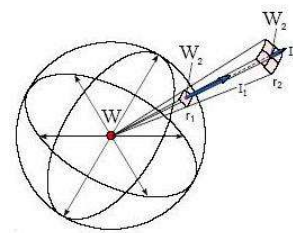
## Relação entre Nível de Potência Sonora ( $NWS$ ) e Nível de Intensidade Sonora ( $NIS$ ):

$$NWS = NIS + 10 \log S$$

Onde:

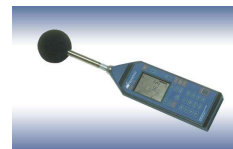
$S$  é a área de uma superfície esférica ( $m^2$ )  $\rightarrow 4\pi r^2$

- Com essa relação, é possível determinar a potência sonora da fonte,  $W = I \cdot S$ , considerando propagação de uma onda esférica em campo livre.



## Medição do $NPS$ :

- O medidor de pressão sonora permite medir as pressões sonoras sempre com a mesma sensibilidade, qualquer que seja a frequência.



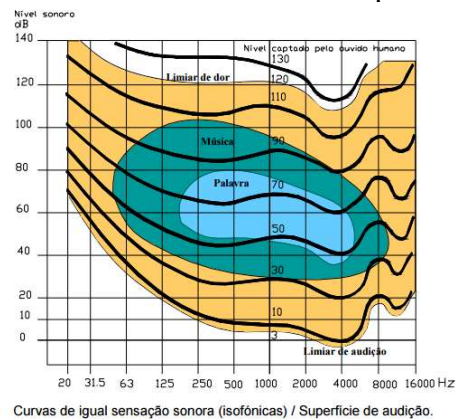
- O ouvido interpreta o som e dá importância maior ou menor, conforme as pressões são emitidas em frequências graves, médias ou agudas. Ou seja, não ouvimos os diferentes sons (com frequências diferentes) na mesma intensidade com que eles estão presentes no ambiente.





## Medição do *NPS ponderado em A* – dB(A):

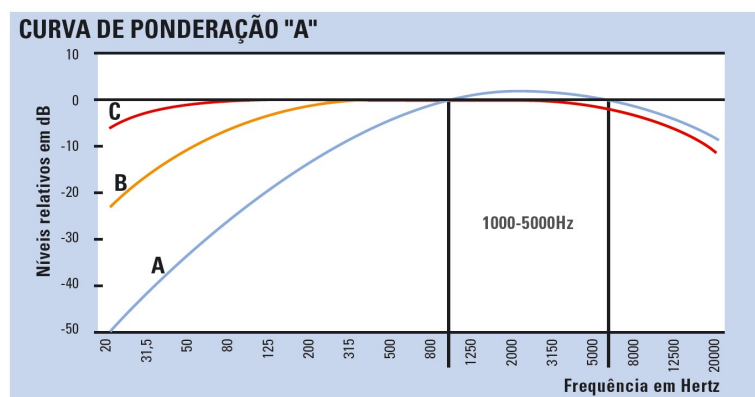
- A resposta do ouvido não tem uma variação linear em frequência.
- Por isso, foram introduzidos nos medidores filtros de ponderação com o objetivo de correlacionar os valores medidos com a resposta do ouvido.
- Esses filtros têm a particularidade de atenuar o sinal sonoro de acordo com curvas de ponderação que seguem aproximadamente as curvas isofônicas.



## Curvas de Ponderação:

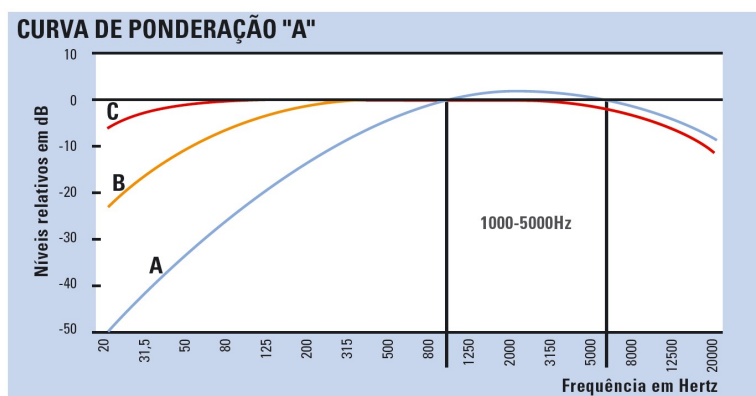
“Curvas ajustadas para corrigir a sensibilidade do ouvido humano a diferentes frequências integradas ao circuito de medição dos medidores de pressão sonora”.

- Curva de intensidade com suas respectivas frequências simulando o real comportamento da audição humana.



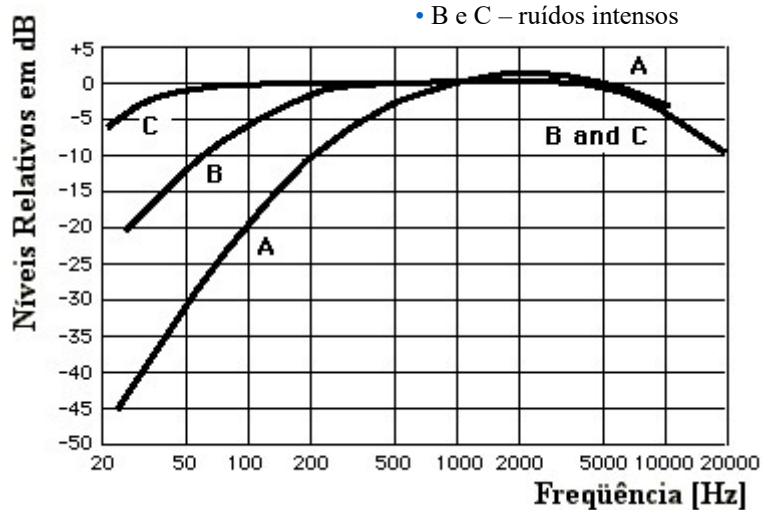
## Curvas de Ponderação:

- Curva de ponderação A → traduz a resposta do ouvido humano.
- Para distinguir se a resposta é ponderada, é habitual especificar os níveis sonoros em termos de **dB** (sem ponderação) e **dB(A)** (ponderação usando a curva A).



## Curvas de Ponderação – A, B e C:

- Filtros em frequências que reproduzem a resposta do ouvido humano, baseadas nas curvas de sonoridade.
  - A – ruídos do meio urbano
  - B e C – ruídos intensos



• Tabela de Conversão (dB)

A, B e C

Resumindo:

Frequência (Hz)	Ponderação A
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0
2000	+ 1,2
4000	+ 1,0
8000	-1,1

Frequency (Hz)	A weighting (dB)	B weighting (dB)	C weighting (dB)
10	-70.4	-38.2	-14.3
12.5	-63.4	-33.2	-11.2
16	-56.7	-28.5	-8.5
20	-50.5	-24.2	-6.2
25	-44.7	-20.4	-4.4
31.5	-39.4	-17.1	-3.0
40	-34.6	-14.2	-2.0
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1
200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.3	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	0
1,000	0	0	0
1,250	+0.6	0	0
1,600	+1.0	0	-0.1
2,000	+1.2	-0.1	-0.2
2,500	+1.3	-0.2	-0.3
3,150	+1.2	-0.4	-0.5
4,000	+1.0	-0.7	-0.8
5,000	+0.5	-1.2	-1.3
6,300	-0.1	-1.9	-2.0
8,000	-1.1	-2.9	-3.0
10,000	-2.5	-4.3	-4.4
12,500	-4.3	-6.1	-6.2
16,000	-6.6	-8.4	-8.5
20,000	-9.3	-11.1	-11.2

## Exemplo

Exemplo 5:

Os valores medidos do nível sonoro de um ambiente estão na tabela abaixo. Quais serão seus valores em dB(A)?

Frequência (Hz)	NPS (dB)	NPS (dB(A))
63	40	
125	43	
250	45	
500	48	
1000	50	
2000	49	
4000	55	
8000	47	

## Exemplo

---

Exemplo 5:

Os valores medidos do nível sonoro de um ambiente estão na tabela abaixo. Quais serão seus valores em dB(A)?

Frequência (Hz)	NPS (dB)	Ponderação A	NPS (dB(A))
63	40	-26,2	
125	43	-16,1	
250	45	-8,6	
500	48	-3,2	
1000	50	0	
2000	49	+ 1,2	
4000	55	+ 1,0	
8000	47	-1,1	

## Exemplo

---

Exemplo 5:

Os valores medidos do nível sonoro de um ambiente estão na tabela abaixo. Quais serão seus valores em dB(A)?

Frequência (Hz)	NPS (dB)	Ponderação A	NPS (dB(A))
63	40	-26,2	13,8
125	43	-16,1	26,9
250	45	-8,6	36,4
500	48	-3,2	44,8
1000	50	0	50
2000	49	+ 1,2	50,2
4000	55	+ 1,0	56
8000	47	-1,1	45,9

## Exemplo

---

Exemplo 6:

Os valores do nível sonoro de um ambiente medidos em dB(A) estão na tabela abaixo. Qual será seu espectro sonoro em dB?

Frequência (Hz)	NPS (dB(A))	NPS (dB)
63	40	
125	43	
250	45	
500	48	
1000	50	
2000	49	
4000	55	
8000	47	

## Exemplo

---

Exemplo 6:

Os valores do nível sonoro de um ambiente medidos em dB(A) estão na tabela abaixo. Qual será seu espectro sonoro em dB?

Frequência (Hz)	NPS (dB(A))	Ponderação A	NPS (dB)
63	40	-26,2	
125	43	-16,1	
250	45	-8,6	
500	48	-3,2	
1000	50	0	
2000	49	+ 1,2	
4000	55	+ 1,0	
8000	47	-1,1	

## Exemplo

Exemplo 6:

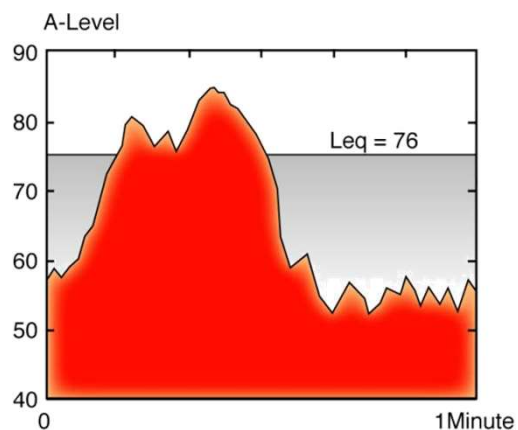
Os valores do nível sonoro de um ambiente medidos em dB(A) estão na tabela abaixo. Qual será seu espectro sonoro em dB?

Frequência (Hz)	NPS (dB(A))	Ponderação A	NPS (dB)
63	40	-26,2	66,2
125	43	-16,1	59,1
250	45	-8,6	53,6
500	48	-3,2	51,2
1000	50	0	50,0
2000	49	+ 1,2	47,8
4000	55	+ 1,0	54,0
8000	47	-1,1	48,1

## Nível de pressão sonora equivalente $L_{eq}$

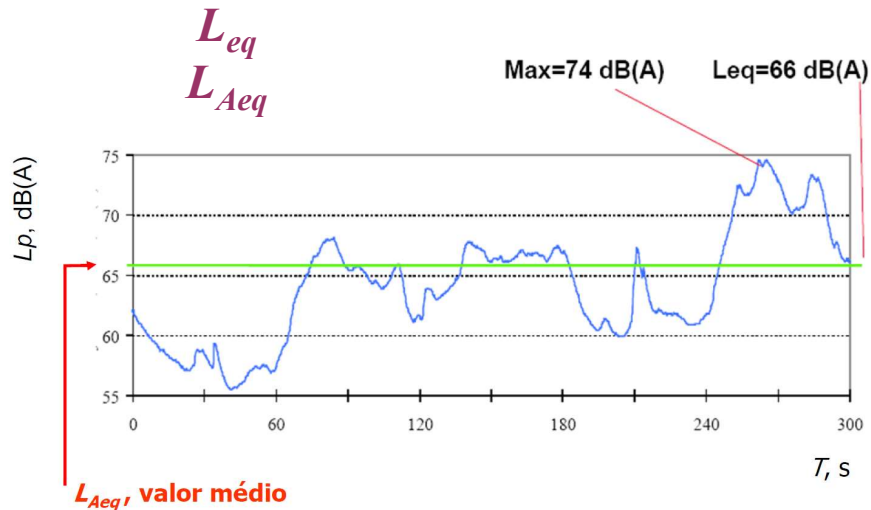
$$L_{eq}$$
$$L_{Aeq}$$

É o ruído contínuo equivalente durante um certo intervalo de tempo.

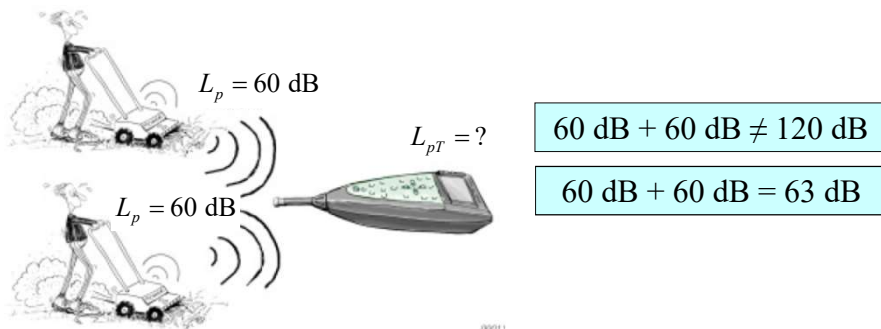


## Nível de pressão sonora equivalente $L_{eq}$

- ao longo de um período de tempo (1 minuto, 8 horas, dia, noite,...)

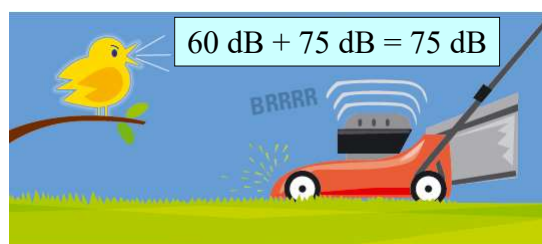
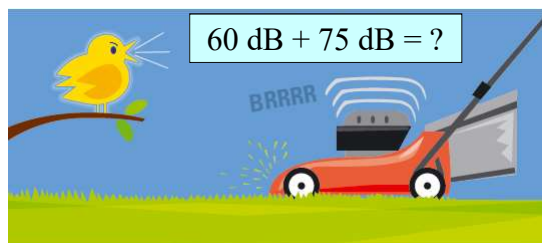


- Soma de níveis em dB:



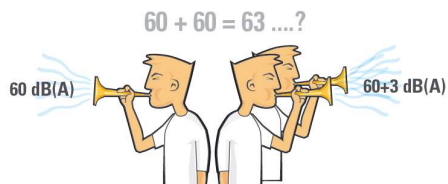
- Decibels não podem sofrer adição simples – escala logarítmica.
- Combinação de duas fontes sonoras não resulta na adição simples de seus NPS ou NIS.
- Quando duas fontes sonoras se sobrepõem, o nível aumenta no máximo 3 dB.

- **Soma de níveis em dB:**



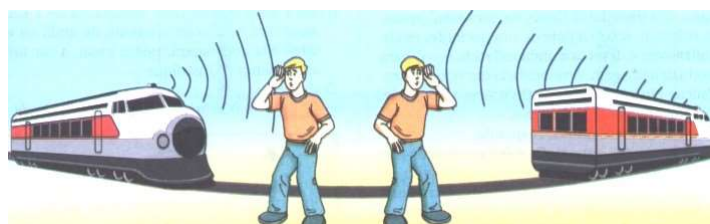
- O ruído de menor amplitude é, portanto, mascarado pelo de maior amplitude.

- **Soma de níveis em dB:**



- **Aplicações:**

- Adição de uma nova fonte sonora (por exemplo, uma rua ou uma máquina).
- Combinação dos níveis de ruído em cada banda de frequência para obtenção do valor total.



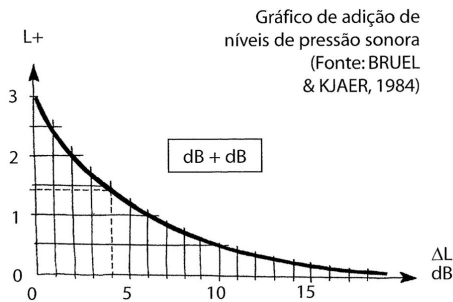


• **Soma de dois níveis – Como calcular?**

• Num determinado ponto, a soma de dois níveis de pressão sonora, resultantes do ruído emitido por duas fontes distintas em funcionamento simultâneo, pode ser obtida recorrendo ao gráfico ou à tabela seguinte:

$$L_2 + L_1 = ?$$

$$L_2 > L_1$$



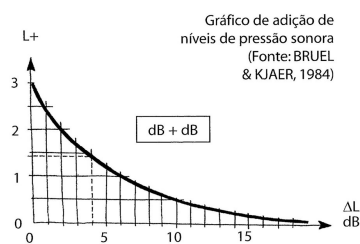
Diferença numérica entre os níveis - $\Delta L$ [dB]	0 a 1	2 a 3	4 a 8	9 a 10	> 11
$L+$ = Valor a ser adicionado ao maior nível [dB]	3	2	1	0,5	0

• **Soma de dois níveis:**  $L_2 + L_1 = ?$   $L_2 > L_1$

1) Calcule a diferença numérica entre os níveis a serem adicionados:

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

2) Para este valor de  $\Delta L$ , encontrar na tabela ou no gráfico o valor numérico correspondente a ser adicionado ao maior nível,  $L+$ :



$\Delta L$ , Diferença numérica entre os níveis [dB]	0 a 1	2 a 3	4 a 8	9 a 10	$\geq 11$
$L+$ , Valor a ser adicionado ao maior nível [dB]	3	2	1	0,5	0

3) Adicionar o valor de  $L+$  ao nível mais elevado ( $L_2$ ) para obtenção do nível resultante.

- **Soma de dois níveis:**

$$L_2 + L_1 = ?$$

- Usar a tabela ou o gráfico.

- Ou usar a seguinte fórmula:

$$L_{pT} = 10 \log \left( 10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \right)$$

## Exemplos

---

Exemplo 7:

Numa determinada fábrica registrou-se, num determinado ponto, um nível de 40 dB com a máquina A ligada, e, nesse mesmo ponto 70 dB quando a máquina B estava ligada, mas separadamente. Qual o nível de pressão sonora nesse ponto, quando A e B estão funcionando simultaneamente?

$$L_A = 40 \text{ dB}$$

$$L_B = 70 \text{ dB}$$

$$L_B > L_A \quad \Delta L = L_B - L_A$$

$$\Delta L = 30 \text{ dB}$$

$$L_A + L_B = ?$$

$$L_A + L_B = 70 + 0 = 70 \text{ dB}$$

## Exemplos

---

Exemplo 8:

Numa determinada fábrica registrou-se, num determinado ponto, um nível de 55 dB com a máquina A ligada, e, nesse mesmo ponto 70 dB quando a máquina B estava ligada, mas separadamente. Qual o nível de pressão sonora nesse ponto, quando A e B estão funcionando simultaneamente?

$$\begin{aligned} L_A &= 55 \text{ dB} & L_B > L_A & \quad \Delta L = L_B - L_A \\ L_B &= 70 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\Delta L = 15 \text{ dB}$$

$$L_A + L_B = ?$$

$$L_A + L_B = 70 + 0 = 70 \text{ dB}$$

## Exemplos

---

Exemplo 9:

Numa determinada fábrica registrou-se, num determinado ponto, um nível de 68 dB com a máquina A ligada, e, nesse mesmo ponto 70 dB quando a máquina B estava ligada, mas separadamente. Qual o nível de pressão sonora nesse ponto, quando A e B estão funcionando simultaneamente?

$$\begin{aligned} L_A &= 68 \text{ dB} & L_B > L_A & \quad \Delta L = L_B - L_A \\ L_B &= 70 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\Delta L = 2 \text{ dB}$$

$$L_A + L_B = ?$$

$$L_A + L_B = 70 + 2 = 72 \text{ dB}$$

## Exemplos

Exemplo 10:

Numa determinada fábrica registrou-se, num determinado ponto, um nível de 70 dB com a máquina A ligada, e, nesse mesmo ponto 70 dB quando a máquina B estava ligada, mas separadamente. Qual o nível de pressão sonora nesse ponto, quando A e B estão funcionando simultaneamente?

$$L_A = 70 \text{ dB}$$

$$L_B = 70 \text{ dB}$$

$$L_B > L_A \quad \Delta L = L_B - L_A$$

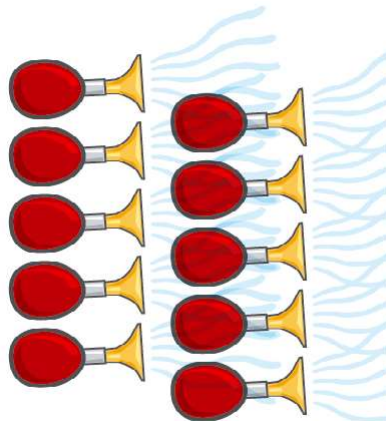
$$\Delta L = 0 \text{ dB}$$

$$L_A + L_B = ?$$

$$L_A + L_B = 70 + 3 = 73 \text{ dB}$$

- **Soma de mais do que dois níveis em dB:**

- O procedimento é análogo, devendo ser somados dois a dois por ordem crescente do respectivo valor.



- **Soma de mais do que dois níveis em dB:**

- Também pode-se efetuar a soma de níveis de pressão sonora recorrendo a uma calculadora e utilizando a seguinte expressão geral:

$$L_1 + L_2 + \dots + L_n = L_{pT} = ? \quad \boxed{L_n = 10 \log \left( \frac{p_n^2}{p_0^2} \right)}$$

$$\frac{L_n}{10} = \log \left( \frac{p_n^2}{p_0^2} \right) \quad \therefore \quad \left( \frac{p_n^2}{p_0^2} \right) = 10^{L_n/10}$$

$$L_{pT} = 10 \log \left( 10^{L_1/10} \right) + 10 \log \left( 10^{L_2/10} \right) + \dots + 10 \log \left( 10^{L_n/10} \right)$$

- Expressão geral:

$$\boxed{L_{pT} = 10 \log \left( 10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10} \right)}$$

## Exemplo

---

Exemplo 11:

Qual a soma dos níveis de quatro fontes sonoras com os seguintes valores de níveis de pressão sonora?

- a) 34
- 41
- 43
- 58

## Exemplo

---

a)

$$\begin{array}{l} 34 \\ 41 \\ 43 \\ 58 \end{array} \begin{array}{l} \searrow \\ \searrow \\ \searrow \\ \searrow \end{array} \begin{array}{l} 41 - 34 = 7 \rightarrow \text{soma } 1 \rightarrow 41 + 1 = 42 \\ 58 - 43 = 15 \rightarrow \text{soma } 0 \rightarrow 58 + 0 = 58 \end{array} \begin{array}{l} \searrow \\ \searrow \end{array} \begin{array}{l} 58 - 42 = 16 \rightarrow \text{soma } 0 \\ 58 + 0 = 58 \text{ dB} \end{array}$$

## Exemplo

---

Exemplo 12:

Qual a soma dos níveis de quatro fontes sonoras com os seguintes valores de níveis de pressão sonora?

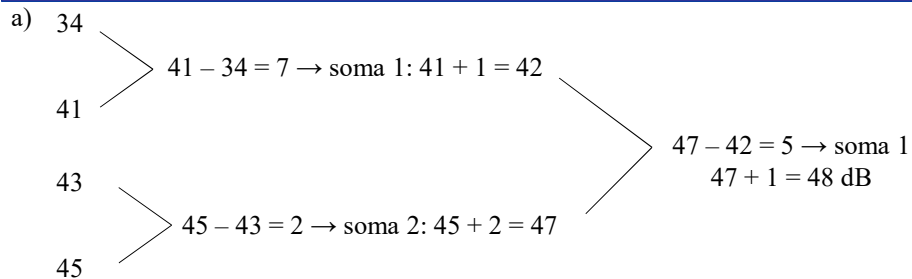
34

41

43

45

## Exemplo



- Usar ordens diferentes de adição pode dar resultados que diferem em 1 dB, o que normalmente não é tão significativo. Contudo, para achar com grande precisão, deve-se combinar logaritmicamente os decibels.

- Este método simplificado pode ser usado para checar as respostas.
- Este método também pode ser usado para subtrair valores de decibels.

Tem que subtrair o valor achado do maior valor.

• Do Exemplo 11:

$$L_p = 10 \log \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

$$L_p = 10 \log \left( 10^{\frac{34}{10}} + 10^{\frac{41}{10}} + 10^{\frac{43}{10}} + 10^{\frac{58}{10}} \right)$$

$$L_p = 10 \log (10^{3,4} + 10^{4,1} + 10^{4,3} + 10^{5,8})$$

$$L_p = 10 \log (6,6 \times 10^5)$$

$$L_p = 58,2 \text{ dB}$$

• Do Exemplo 12:

$$L_p = 10 \log \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

$$L_p = 10 \log \left( 10^{\frac{34}{10}} + 10^{\frac{41}{10}} + 10^{\frac{43}{10}} + 10^{\frac{45}{10}} \right)$$

$$L_p = 10 \log (10^{3,4} + 10^{4,1} + 10^{4,3} + 10^{4,5})$$

$$L_p = 10 \log (6,6 \times 10^4)$$

$$L_p = 48,2 \text{ dB}$$

• **Cálculo do nível de ruído total em dB(A):**

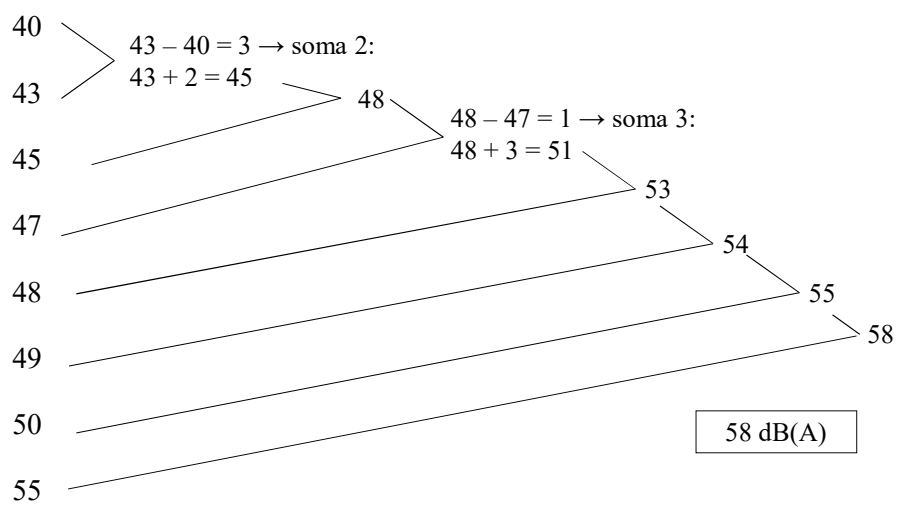
• Exemplo 13:

Frequência (Hz)	NPS (dB(A))
63	40
125	43
250	45
500	48
1000	50
2000	49
4000	55
8000	47

Ruído em dB(A)	?
----------------	---

• **Cálculo do nível de ruído total em dB(A):**

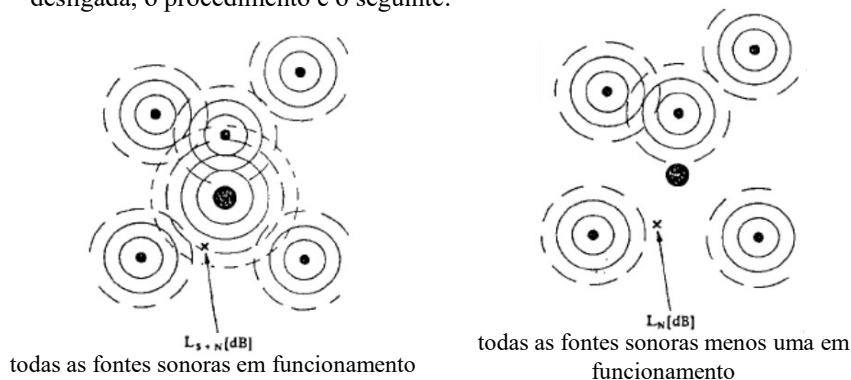
Para facilitar, colocar em ordem crescente:





- **Subtração de níveis (dB):**  $L_1 - L_2 = 10 \log \left( 10^{L_1/10} - 10^{L_2/10} \right)$

- Os níveis de pressão sonora podem ser subtraídos.
- Isto pode ser realizado quando o nível de pressão sonora produzido por uma fonte sonora é desejado, mas o ruído de fundo devido às outras fontes, e que não podem ser desligadas, estiver afetando nas medições. Se a fonte sonora pode ser desligada, o procedimento é o seguinte:



- **Subtração de níveis (dB):**  $L_1 - L_2 = 10 \log \left( 10^{L_1/10} - 10^{L_2/10} \right)$

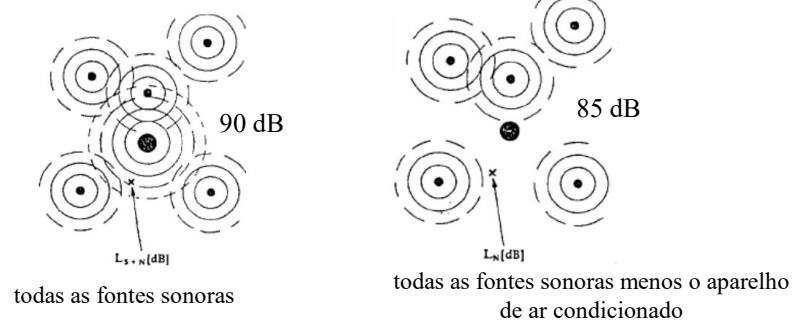
- 1) Com a fonte sonora ligada, meça o nível de pressão sonora total (da fonte sonora mais o de fundo).
- 2) Desligue a fonte sonora e meça o nível de ruído de fundo.
- 3) A diferença entre estes dois níveis é usada para obter um fator a ser subtraído do nível de pressão sonora total para obter o nível devido àquela fonte sonora sozinha.

$\Delta L$ , Diferença numérica entre os níveis [dB]	10 ou mais	6 a 9	4 a 5	3	2
$L_-$ , Valor a ser subtraído do nível total [dB]	0	1	2	3	(4 ou 5)

## Exemplo

Exemplo 13:

Qual o nível produzido por um aparelho de ar condicionado quando são conhecidos o nível global resultante da emissão de todas as fontes sonoras (ar condicionado + tráfego + ...), 90 dB, e o nível parcial resultante da emissão de todas as fontes sonoras com exceção do aparelho de ar condicionado (85 dB)?



## Exemplo

Exemplo 13:

$$\Delta L = 90 - 85$$

$$\Delta L = 5 \text{ dB} \quad \text{Na tabela: } L_- = 2 \text{ dB}$$

$$L_{total} - L_- = ?$$

$$L_{total} - L_- = 90 - 2 = 88 \text{ dB}$$

↓  
nível produzido pelo aparelho de ar condicionado