

Conforto Ambiental

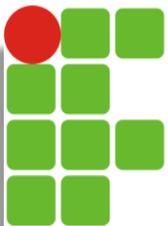
UNIDADE III - Conforto Acústico

3.1. Conceitos fundamentais;

3.2. Isolamento de ruído;

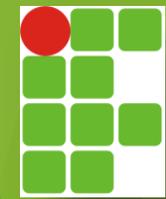
3.3. Propagação do som ao ar livre;

3.4. Soluções de projeto e tecnologias.



Tratamento acústico

Ruído aéreo externo - veículos



Dados da via

- ▶ Distancia do receptor $d = \underline{\hspace{2cm}}$ m
- ▶ Numero de veículos/hora $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ veículos/hora
- ▶ Valores de correção
 - ▶ % de veículos pesados $c = \underline{\hspace{2cm}}$ %
 - ▶ Velocidade $cv = \underline{\hspace{2cm}}$ km/h
 - ▶ Inclinação da via $ci = \underline{\hspace{2cm}}$ %

Tabela de Correções

| cv correção devido à velocidade dos veículos | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| velocidade | 33 | 47 | 53 | 60 | 67 | 68 | 80 | 87 | 93 |
| cv | -4 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 | +4 | +5 |
| cv correção devido à % de veículos pesados | | | | | | | | | |
| % veículos | 7 | 20 | 35 | 47 | 60 | 73 | 87 | 100 | |
| c% | 0 | +1 | +2 | +3 | +4 | +5 | +6 | +7 | |
| cv correção devido à inclinação da via em % | | | | | | | | | |
| inclinação | 0% | 2% | 4% | 6% | | | | | |
| ci | 0 | +1 | +2 | +3 | | | | | |

$$L = 52 + 10 \log \left(\frac{Q}{d} \right) + cv + c\% + ci \quad \text{dB(A)}$$

| Resultados estatísticos de medições na cidade de São Paulo | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|----|----|----|-------|
| Espectro típico do ruído de tráfego a 7m da fonte / velocidade 60Km/h | | | | | | | |
| Curvas de referência em dB(A) | | | | | | | |
| | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | dB(A) |
| Via expressa 15.000 veículos/h | 83 | 82 | 80 | 78 | 77 | 72 | 87 |
| Via expressa 4.000 veículos/h | 77 | 76 | 74 | 72 | 71 | 66 | 81 |
| Via expressa 2.000 veículos/h | 75 | 74 | 72 | 70 | 69 | 64 | 79 |
| Via coletora 1.000 veículos/h | 71 | 70 | 68 | 66 | 65 | 60 | 75 |
| Via coletora 500 veículos/h | 68 | 67 | 65 | 63 | 62 | 57 | 72 |
| Via local 250 veículos/h | 65 | 64 | 62 | 60 | 59 | 54 | 69 |
| Via local 100 veículos/h | 61 | 60 | 58 | 56 | 55 | 50 | 65 |
| Via local 50 veículos/h | 58 | 57 | 55 | 53 | 52 | 47 | 62 |

Tratamento acústico

Ruído aéreo externo - veículos

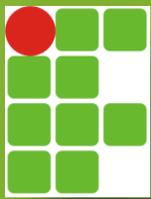
$$L = 52 + 10 \log\left(\frac{Q}{d}\right) + cv + c\% + ci \quad \text{dB(A)}$$

| Q (veiculos/hora) | 2m | 3m | 4m | 5m | 6m | 7m | 8m | 9m | 10m |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 250 | 74 | 72 | 71 | 70 | 69 | 69 | 68 | 67 | 67 |
| 500 | 77 | 75 | 74 | 73 | 72 | 72 | 71 | 70 | 70 |
| 750 | 79 | 77 | 76 | 75 | 74 | 73 | 73 | 72 | 72 |
| 1000 | 80 | 78 | 77 | 76 | 75 | 75 | 74 | 73 | 73 |
| 1250 | 81 | 79 | 78 | 77 | 76 | 76 | 75 | 74 | 74 |
| 1500 | 82 | 80 | 79 | 78 | 77 | 76 | 76 | 75 | 75 |
| 1750 | 82 | 81 | 79 | 78 | 78 | 77 | 76 | 76 | 75 |
| 2000 | 83 | 81 | 80 | 79 | 78 | 78 | 77 | 76 | 76 |
| 2250 | 84 | 82 | 81 | 80 | 79 | 78 | 77 | 77 | 77 |
| 2500 | 84 | 82 | 81 | 80 | 79 | 79 | 78 | 77 | 77 |
| 2750 | 84 | 83 | 81 | 80 | 80 | 79 | 78 | 78 | 77 |
| 3000 | 85 | 83 | 82 | 81 | 80 | 79 | 79 | 78 | 78 |
| 3250 | 85 | 83 | 82 | 81 | 80 | 80 | 79 | 79 | 78 |
| 3500 | 85 | 84 | 82 | 81 | 81 | 80 | 79 | 79 | 78 |
| 3750 | 86 | 84 | 83 | 82 | 81 | 80 | 80 | 79 | 79 |
| 4000 | 86 | 84 | 83 | 82 | 81 | 81 | 80 | 79 | 79 |
| 4250 | 86 | 85 | 83 | 82 | 82 | 81 | 80 | 80 | 79 |
| 4500 | 87 | 85 | 84 | 83 | 82 | 81 | 81 | 80 | 80 |
| 4750 | 87 | 85 | 84 | 83 | 82 | 81 | 81 | 80 | 80 |
| 5000 | 87 | 85 | 84 | 83 | 82 | 82 | 81 | 80 | 80 |

Tabela

| cv correção devido à velocidade de | | | |
|------------------------------------|----|----|----|
| velocidade | 33 | 47 | 53 |
| cv | -4 | -2 | -1 |
| cv correção devido à % de veiculos | | | |
| % veiculos | 7 | 20 | 35 |
| c% | 0 | +1 | +2 |
| cv correção devido a inclinação da | | | |
| inclinação | 0% | 2% | 4% |
| ci | 0 | +1 | +2 |





Tratamento acústico

Ruído aéreo externo - veículos

- ▶ A avaliação deve ter por base a análise do tipo de veículo, velocidade de circulação, espectro do ruído e quantidade de tráfego. Como base para o cálculo podemos considerar os valores do quadro abaixo para o nível de potencia sonora dos veículos, atendendo a que são apenas valores indicativos pois variam com as características das vias de circulação e modelo dos veículos.

| Lw [dB(A)] | VL | VP |
|---|----------|-----|
| 50 km/h velocidade constante desaceleração | 98 a 100 | 110 |
| 50 km/h aceleração | 104 | 115 |
| 80 km/h em estrada | 103 | 112 |
| 120 km/h em estrada | 105 | 112 |

Nível de potencia sonora de Veículos Ligeiros (VL) e Veículos Pesados (VP)

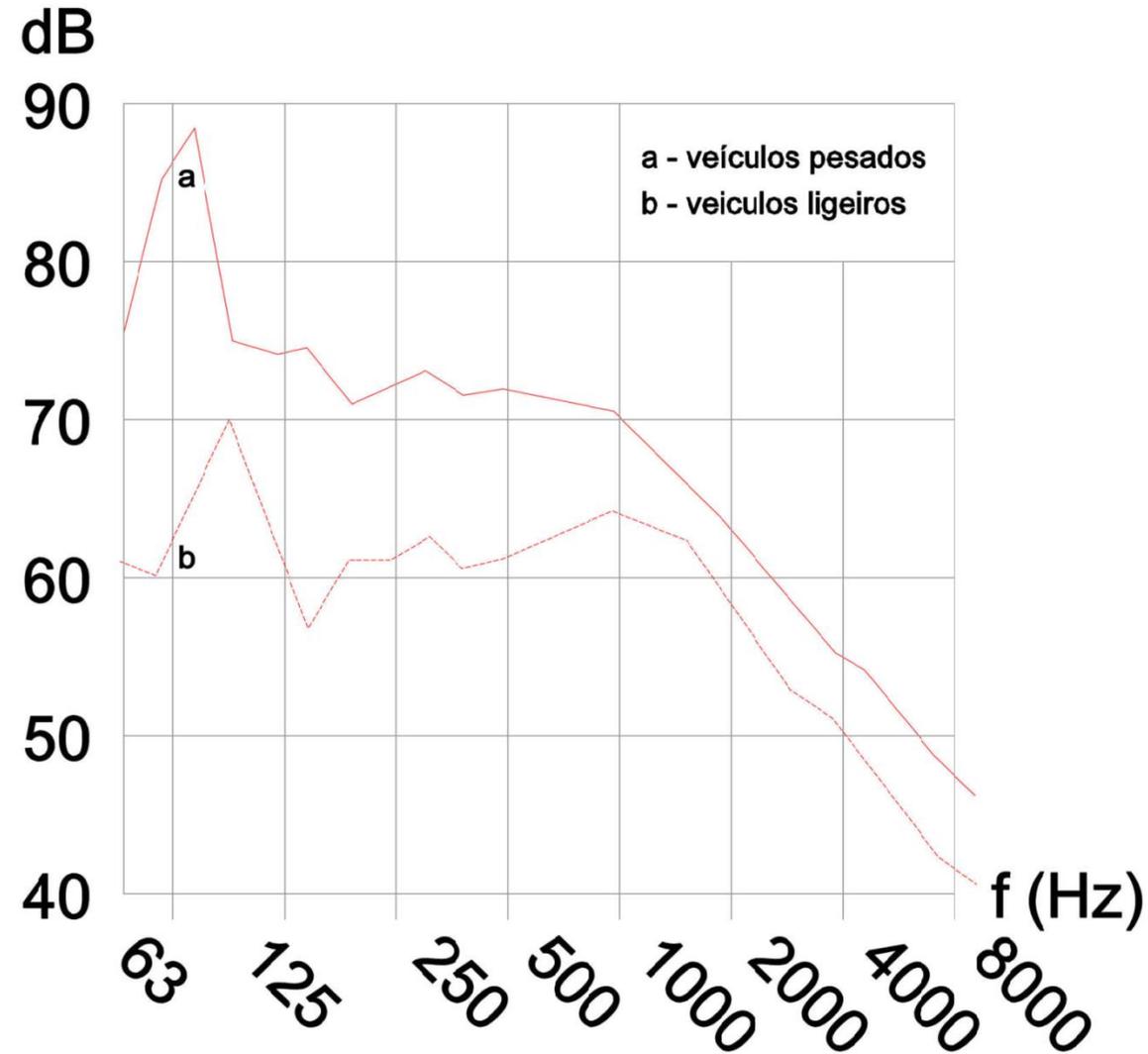
Tratamento acústico

Ruído aéreo externo - veículos



$$L_w = 10 \log \left(\frac{Q_{VP} \cdot \overline{W_{VP}}}{V_{VP}} + \frac{Q_{VL} \cdot \overline{W_{VL}}}{V_{VL}} \right) + 90$$

- ▶ L_w - Nível de potencia sonora equivalente por metro de via
- ▶ W_{VP} - Potencia acústica media das veículos pesados.
- ▶ W_{VL} - Potencia acústica media das veículos ligeiros.
- ▶ Q_{VP} - Intensidade de fluxo de veículos pesados.
- ▶ Q_{VL} - Intensidade de fluxo de veículos ligeiros.
- ▶ V_{VP} - Velocidade media das veículos pesados.
- ▶ V_{VL} - Velocidade media das veículos ligeiros



Tratamento acústico

Ruído aéreo externo - veículos



$$L_{10} = 10 \log q + 33 \log(v + 40 + 500/v) + 10 \log(1 + 5p/v) + 0,3G - 27,6$$

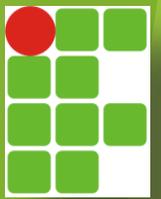
q é fluxo de veículos por hora,

v é a velocidade,

p é porcentagem de veículos pesados, e

G é a inclinação (o coeficiente muda para 0,2 quando for declive)

| Nº da medição | Tempo | Medição 1 | Medição 2 | Medição 3 | Nº da medição | Tempo | Medição 1 | Medição 2 | Medição 3 | Nº da medição | Tempo | Medição 1 | Medição 2 | Medição 3 |
|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 00:00:05 s | 71,1 | 49,7 | 54,0 | 21 | 00:01:45 s | 70,3 | 52,0 | 68,8 | 41 | 00:03:25 s | 49,3 | 46,0 | 49,3 |
| 2 | 00:00:10 s | 75,2 | 48,8 | 73,1 | 22 | 00:01:50 s | 64,6 | 75,6 | 65,7 | 42 | 00:03:30 s | 75,7 | 68,8 | 55,9 |
| 3 | 00:00:15 s | 70,1 | 49,8 | 71,4 | 23 | 00:01:55 s | 59,0 | 53,0 | 65,6 | 43 | 00:03:35 s | 60,1 | 54,1 | 62,4 |
| 4 | 00:00:20 s | 58,5 | 50,3 | 53,4 | 24 | 00:02:00 s | 58,0 | 48,4 | 72,2 | 44 | 00:03:40 s | 57,7 | 49,5 | 59,1 |
| 5 | 00:00:25 s | 58,2 | 46,4 | 53,8 | 25 | 00:02:05 s | 57,4 | 50,6 | 50,8 | 45 | 00:03:45 s | 52,9 | 64,0 | 73,5 |
| 6 | 00:00:30 s | 61,1 | 50,1 | 60,1 | 26 | 00:02:10 s | 62,8 | 46,9 | 68,0 | 46 | 00:03:50 s | 52,3 | 49,3 | 68,7 |
| 7 | 00:00:35 s | 66,6 | 61,1 | 60,8 | 27 | 00:02:15 s | 72,6 | 47,6 | 46,1 | 47 | 00:03:55 s | 45,0 | 57,6 | 68,5 |
| 8 | 00:00:40 s | 73,2 | 67,2 | 66,8 | 28 | 00:02:20 s | 70,7 | 55,9 | 66,1 | 48 | 00:04:00 s | 72,7 | 75,4 | 61,3 |
| 9 | 00:00:45 s | 74,8 | 76,2 | 60,3 | 29 | 00:02:25 s | 60,5 | 64,0 | 76,2 | 49 | 00:04:05 s | 47,7 | 51,4 | 62,2 |
| 10 | 00:00:50 s | 73,8 | 56,7 | 47,4 | 30 | 00:02:30 s | 75,1 | 49,7 | 54,8 | 50 | 00:04:10 s | 50,5 | 66,4 | 53,2 |
| 11 | 00:00:55 s | 65,4 | 49,3 | 49,8 | 31 | 00:02:35 s | 49,7 | 60,5 | 57,1 | 51 | 00:04:15 s | 52,0 | 69,7 | 73,9 |
| 12 | 00:01:00 s | 66,9 | 75,7 | 56,0 | 32 | 00:02:40 s | 48,8 | 62,9 | 53,9 | 52 | 00:04:20 s | 75,6 | 57,3 | 57,4 |
| 13 | 00:01:05 s | 62,6 | 60,1 | 74,3 | 33 | 00:02:45 s | 49,8 | 49,2 | 51,6 | 53 | 00:04:25 s | 53,0 | 49,4 | 50,9 |
| 14 | 00:01:10 s | 62,2 | 57,7 | 48,2 | 34 | 00:02:50 s | 50,3 | 58,6 | 52,2 | 54 | 00:04:30 s | 48,4 | 63,3 | 47,3 |
| 15 | 00:01:15 s | 59,1 | 52,9 | 56,1 | 35 | 00:02:55 s | 46,4 | 59,8 | 62,3 | 55 | 00:04:35 s | 50,6 | 55,4 | 59,4 |
| 16 | 00:01:20 s | 56,0 | 52,3 | 66,3 | 36 | 00:03:00 s | 50,1 | 62,8 | 60,5 | 56 | 00:04:40 s | 46,9 | 63,5 | 74,5 |
| 17 | 00:01:25 s | 56,5 | 45,0 | 54,3 | 37 | 00:03:05 s | 61,1 | 49,7 | 67,4 | 57 | 00:04:45 s | 47,6 | 60,3 | 67,5 |
| 18 | 00:01:30 s | 70,6 | 72,7 | 64,1 | 38 | 00:03:10 s | 67,2 | 51,6 | 46,9 | 58 | 00:04:50 s | 55,9 | 65,7 | 66,7 |
| 19 | 00:01:35 s | 66,7 | 47,7 | 69,7 | 39 | 00:03:15 s | 76,2 | 47,0 | 51,0 | 59 | 00:04:55 s | 64,0 | 59,5 | 60,6 |
| 20 | 00:01:40 s | 58,3 | 50,5 | 61,0 | 40 | 00:03:20 s | 56,7 | 74,5 | 51,4 | 60 | 00:05:00 s | 49,7 | 46,2 | 51,7 |



Método alternativo para a determinação do

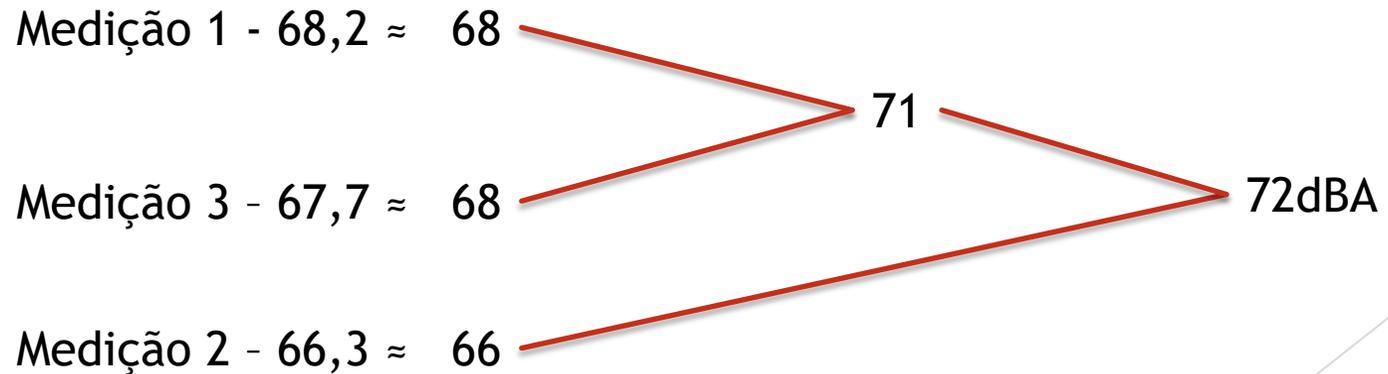
$$L_{Aeq}$$

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}$$

- ▶ L_i - é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído;
- ▶ n é o número total de leituras.

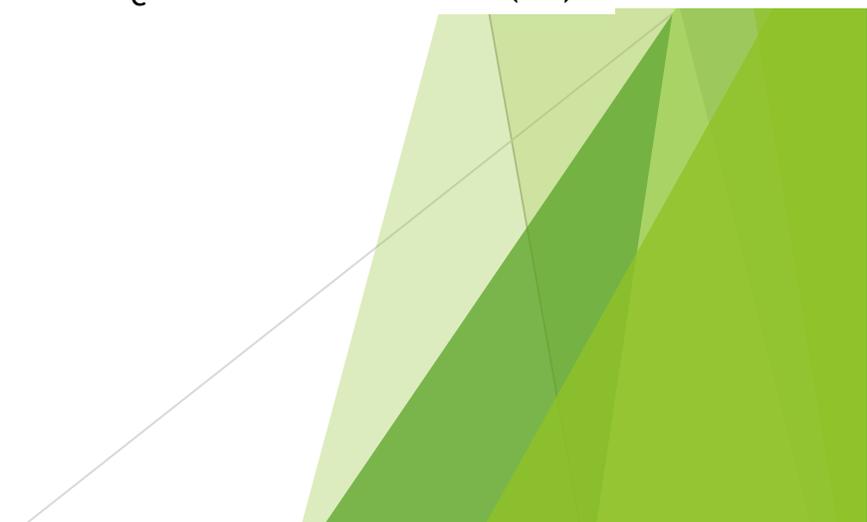
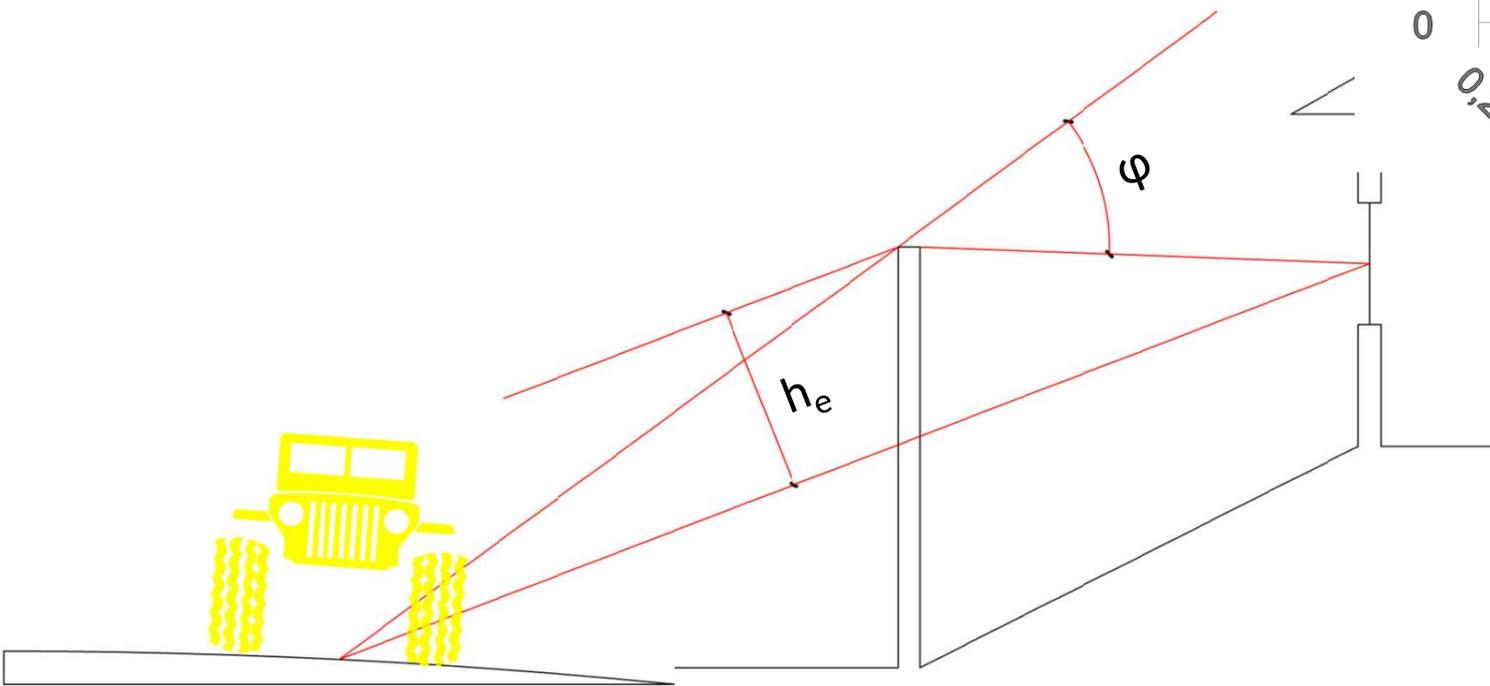
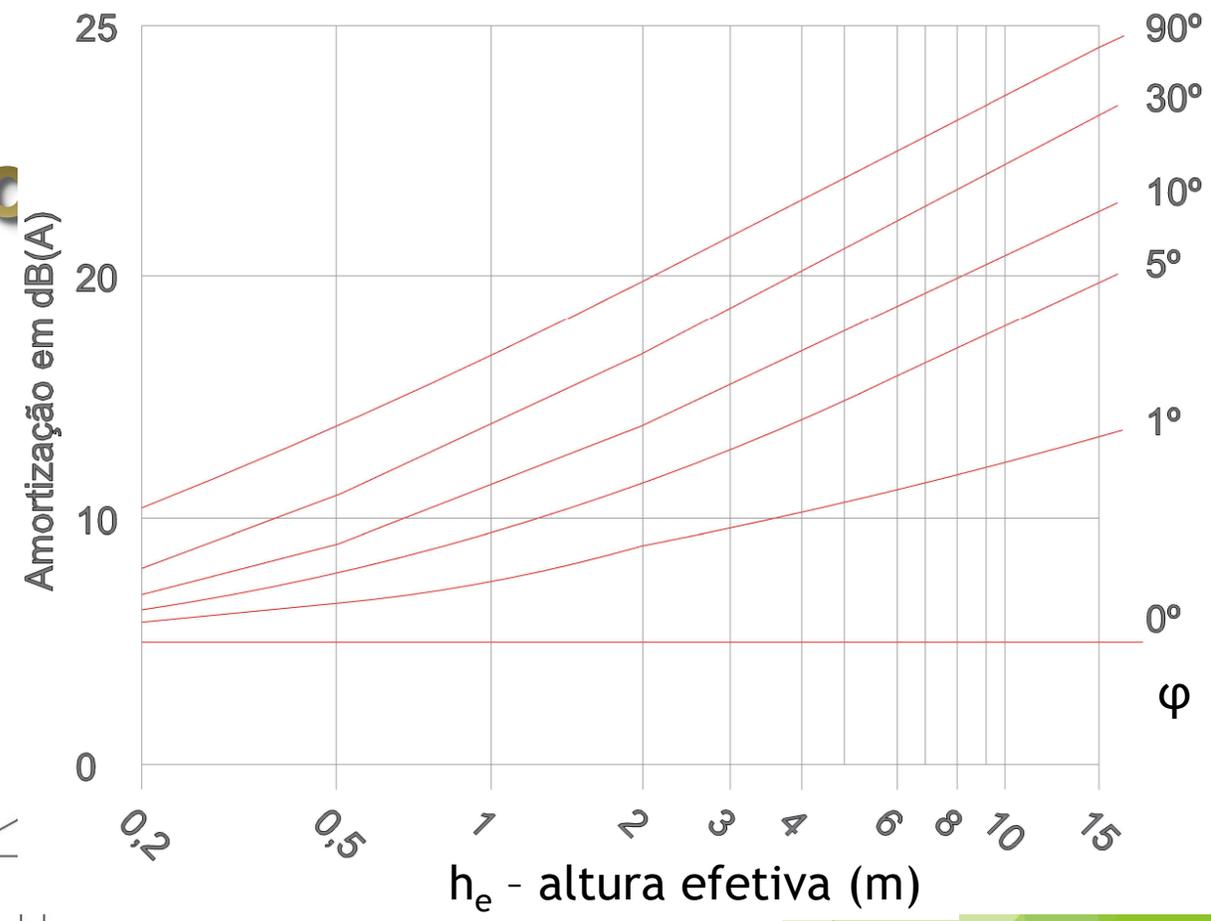
$$\text{NIS} = 10 \cdot \log_{10}(10^7 + 10^8)$$

| Medição | Somatório |
|---------|-----------|
| 1 | 3.621,8 |
| 2 | 3.413,3 |
| 3 | 3.613,5 |



ROTEIRO DE CÁLCULO

Amortização do ruído externo



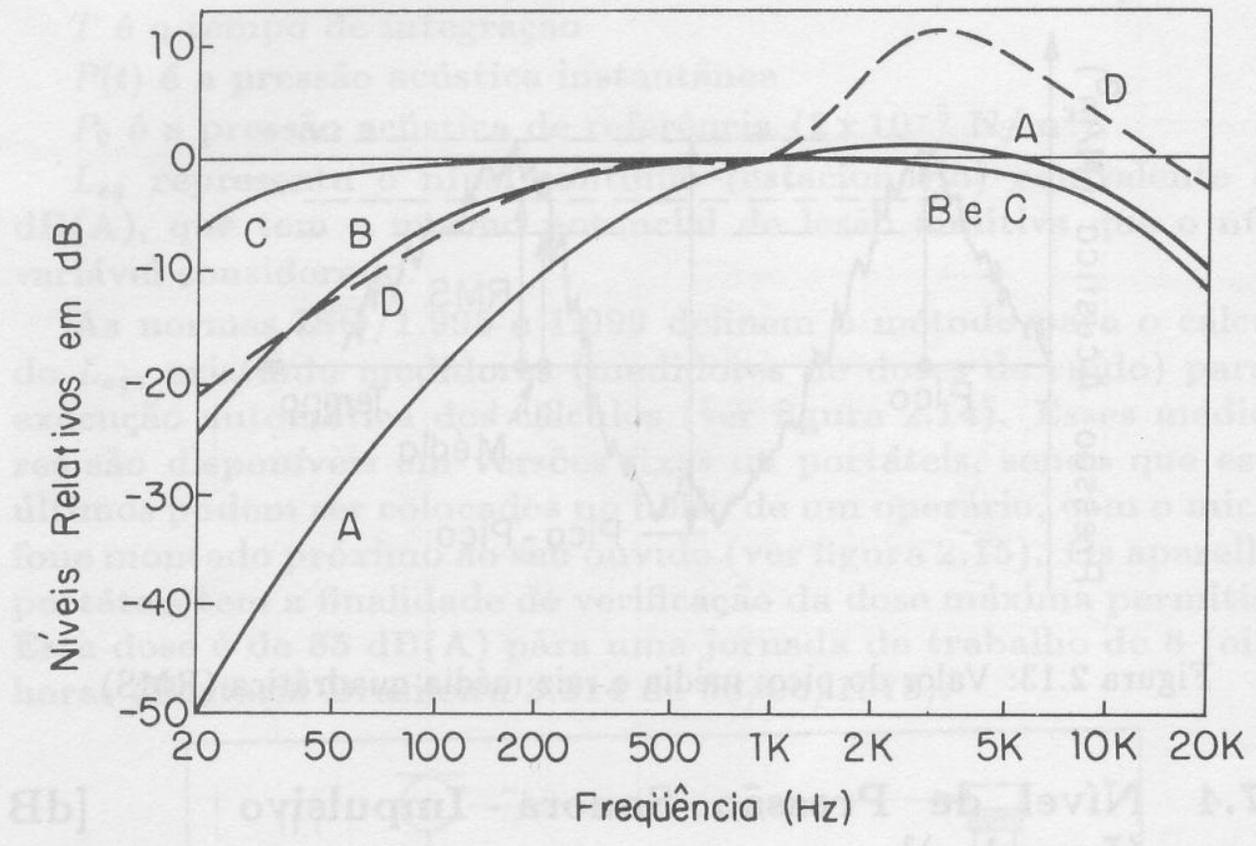
- ▶ Nível de pressão sonora em decibels (L_p)

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad [dB]$$

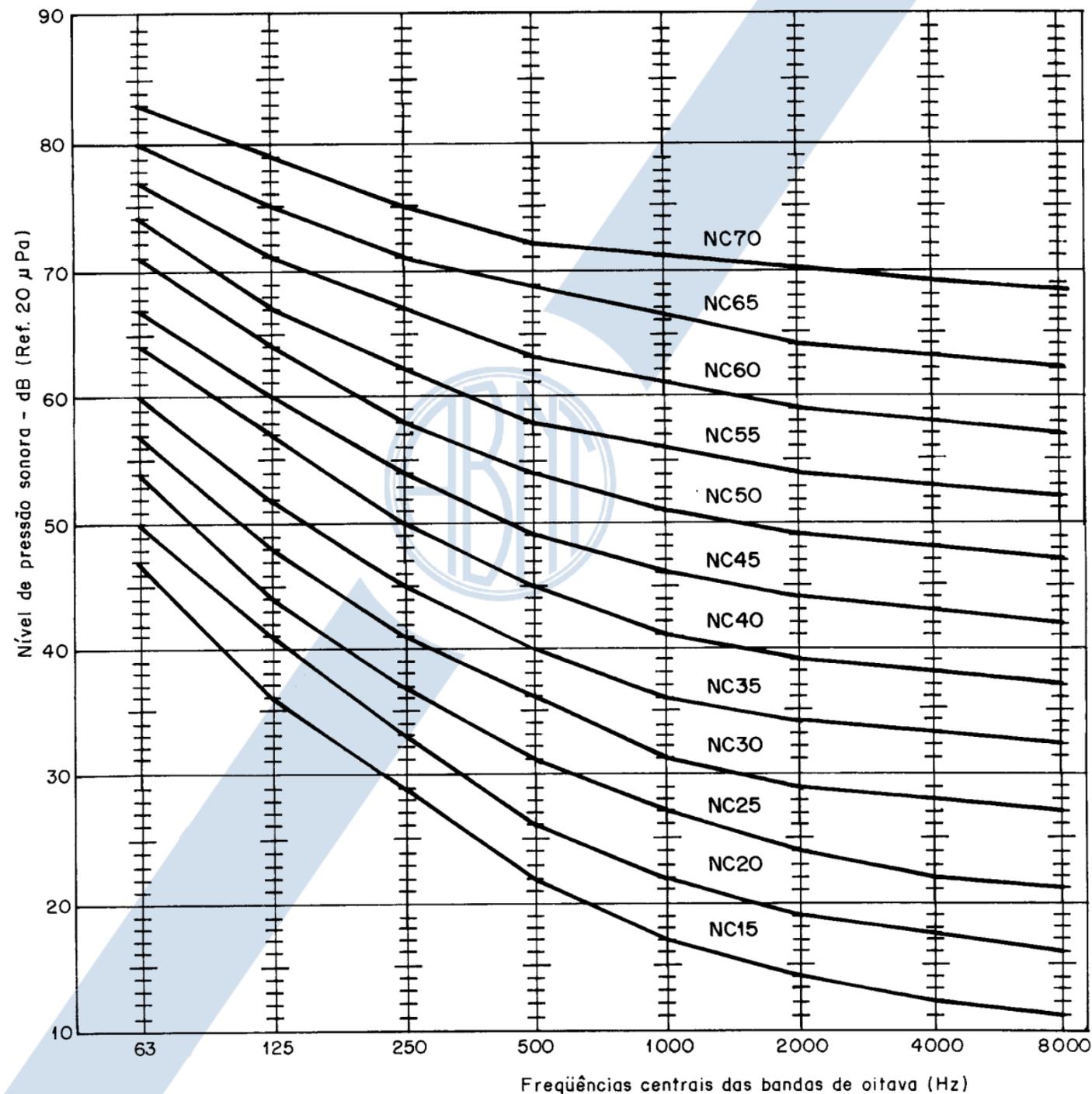
- ▶ P – valor eficaz da pressão, em pascals (Pa)
 - ▶ P_0 – pressão sonora de referencia ($20\mu\text{Pa}$)
- ▶ Nível de pressão sonora ponderado L_{pa} , em decibels (A)

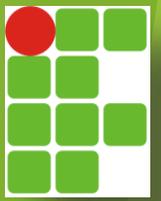
$$L_{PA} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2 \quad [dB(A)]$$

dB (A) - Escala de ponderação, que aproxima os níveis de pressão sonora à forma como o ouvido humano percebe o ruído nas diversas frequências.



NC - *noise criterion* - curvas propostas por Berane em 1957, para comparar espectros sonoros com a igual intensidade.





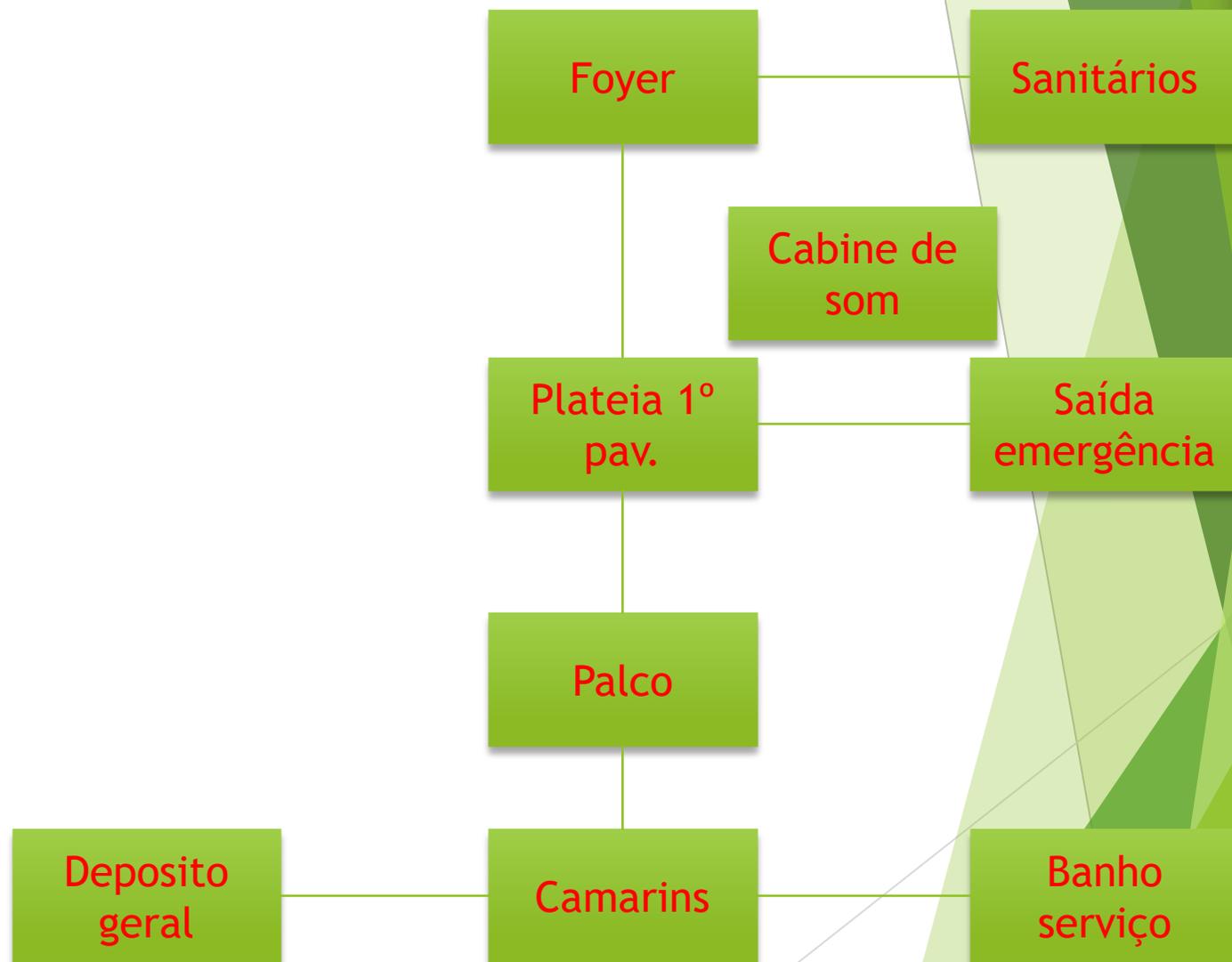
Trabalho - Projeto de um auditório

Grupos de 4

Não pode ser superior a 4 pessoas.

Programa de necessidades

- a. Palco $\pm 40\text{m}^2$
- b. Foyer $\pm 50\text{m}^2$
- c. Sanitários
 - a. Masculino 10 a 15m^2
 - b. Feminino 10 a 15m^2
 - c. Serviço 2m^2
- d. 4 camarins $\pm 10\text{m}^2$
- e. Saída emergência – porta de ferro
- f. Plateia ± 300 pessoas ($\pm 1\text{m}^2/\text{pessoa}$)
- g. Gabinete controle de som $\pm 10\text{m}^2$
- h. Deposito $\pm 12\text{m}^2$



Roteiro para a confecção

1. Capa
2. Sumario
3. Introdução
 - a. (o que é o trabalho? Onde está o terreno? Quais são as partes que compõe o trabalho?)
4. Estudo de caso
5. Projeto de condicionamento acústico
 - a. Morfologia
 - b. Geométrico acústico
 - c. Tempo de reverberação
6. Projeto de isolamento acústico
7. Projeto
 - a. Planta baixa
 - b. 2 cortes
 - c. detalhamento

SIL OESTE - 2563 -



Setor 003
Quadra 006
Lote 06

RUA BENTO GONÇALVES - 121 -

<http://www.pmpf.rs.gov.br/mapas/>

Roteiro para a confecção do projeto



- a. Determinar o nível de ruído externo.
 - a. Considerar o tráfego de veículos
- b. Determinar o nível de ruído interno (NBR 10152)
- c. Estudar a disposição dos recintos internos
- d. Calcular o tempo de reverberação da sala
 - a. Caso necessário ajustar para o tempo ótimo;
- e. Determinar o nível de ruído interno, considerando a absorção.

| Valores Recomendados de Volume-por-Assento (m ³) para Auditórios | | | |
|--|--------|-------|--------|
| Tipo de Auditório | Mínimo | Ótimo | Máximo |
| Salas para Conferências | 2.3 | 3.1 | 4.3 |
| Salas de Concerto | 6.2 | 7.8 | 10.8 |
| Salas de Ópera | 4.5 | 5.7 | 7.4 |
| Igrejas Católicas | 5.7 | 8.5 | 12.0 |
| Outras Igrejas | 5.1 | 7.2 | 9.1 |
| Salas Multiuso | 5.1 | 7.1 | 8.5 |
| Cinemas | 2.8 | 3.5 | 5.6 |

Copyright Andrew Marsh, UWA, 1999
The School of Architecture and Fine Arts
The University of Western Australia

