

AUT0286 - Conforto Ambiental 3: Termoacústica



Transmissão Sonora Aérea e Acústica de Edificações

1

Tratamento Acústico

- Transmissão sonora

- isolamento sonoro entre ambientes:
 - entre espaços
 - exterior - interior
 - interior - interior

Isolamento sonoro:

- minimizar a propagação de sons indesejados e os efeitos negativos do ruído, em edificações e em projetos urbanísticos.

- Condicionamento acústico

- absorção sonora; qualidade acústica

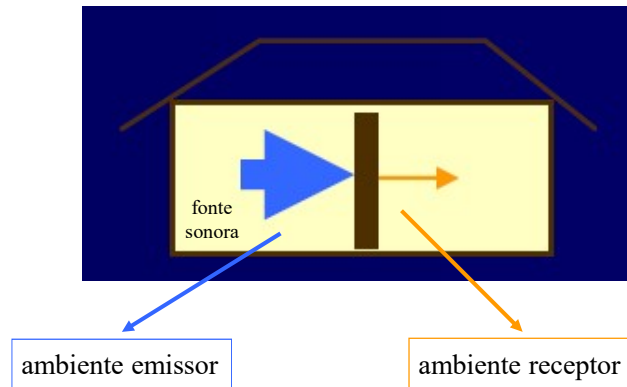


Fonte: Veja São Paulo, Ed. Abril, 14/05/2008

2

Transmissão Sonora

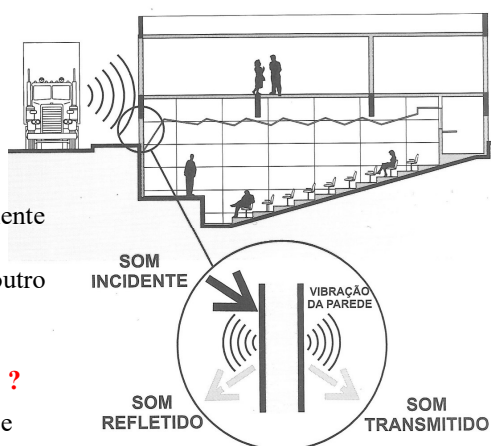
- Ocorre quando parte da onda sonora se propaga através de uma barreira ou partição.



3

Transmissão Sonora

- Quando uma onda sonora atinge uma parede transmissora de som, esta parede começa a vibrar e através desta vibração o som é transmitido para o ambiente receptor.
- A variação de pressão de um ambiente induz os anteparos a vibrarem.
- Este processo vibratório gera do outro lado uma fonte sonora secundária.
- Quanto maior a massa da superfície, ?
menor a probabilidade de vibração e
menor a transmissão sonora.

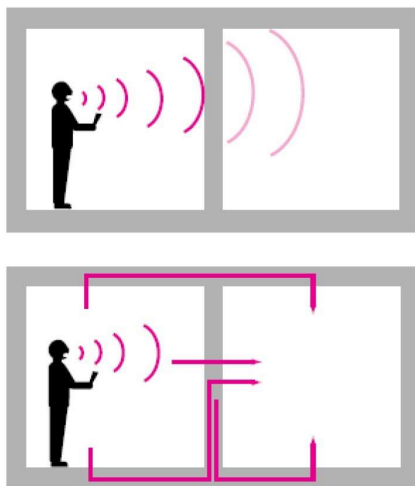


4

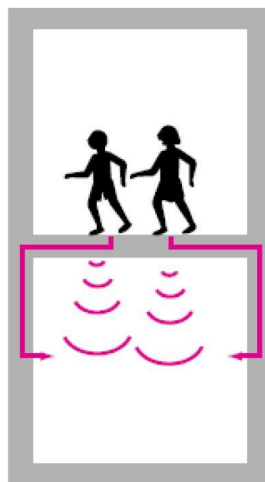
Transmissão Sonora

- Em uma edificação, o ruído pode propagar-se e transmitir-se da fonte sonora até o receptor por:

- Via aérea



- Via estrutural



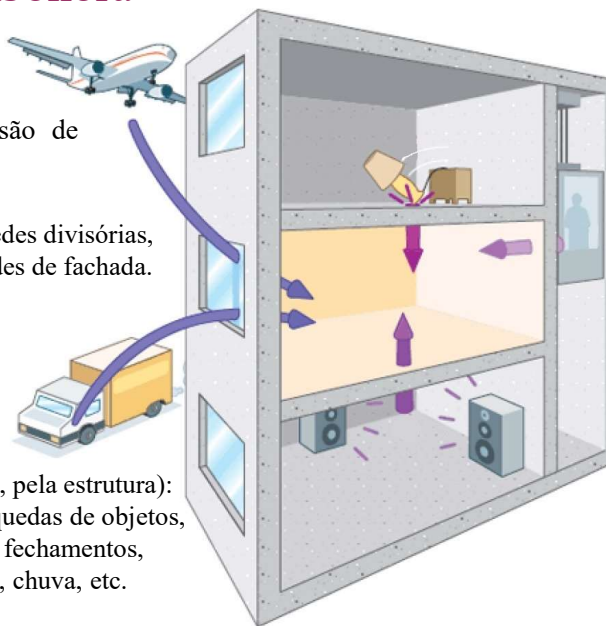
5

Transmissão Sonora

- Propagação e transmissão de ruído por:

- **Ar:** janelas, portas, paredes divisórias, pisos, tetos, frestas e paredes de fachada.

- **Impacto** (por via sólida, pela estrutura): passos, pulos de crianças, quedas de objetos, elevadores, batidas nos fechamentos, vibração de máquinas, chuva, etc.



6

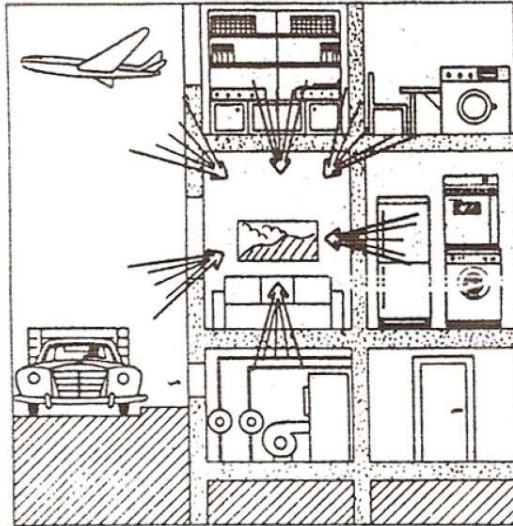
- Diversas fontes de ruído em edificações



Bruno Bozzetto
presents

4

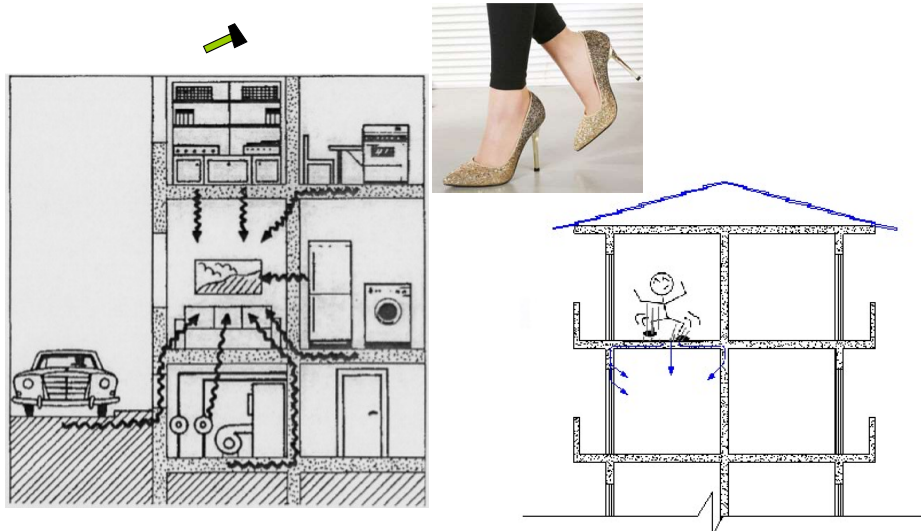
Transmissão de ruído aéreo entre ambientes



- A transmissão do ruído aéreo resulta também da vibração dos elementos construtivos.

9

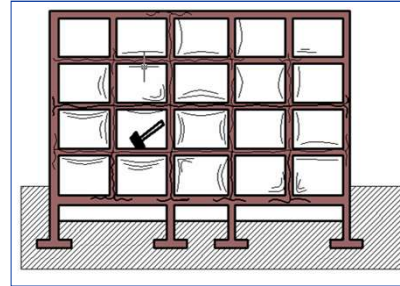
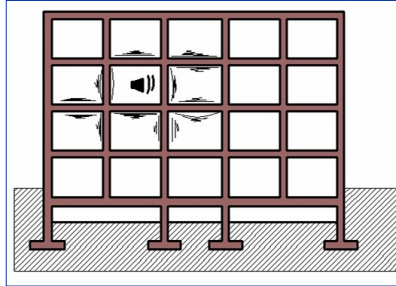
Transmissão de ruído de impacto entre ambientes



- A transmissão do ruído de impacto resulta de solicitações aplicadas diretamente nos elementos de construção e ocorre predominante por via sólida, através da estrutura.

10

Transmissão de ruído de impacto entre ambientes



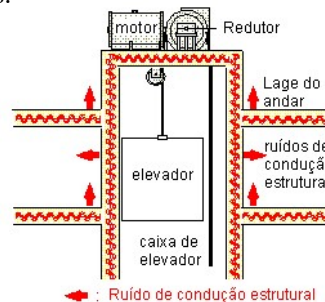
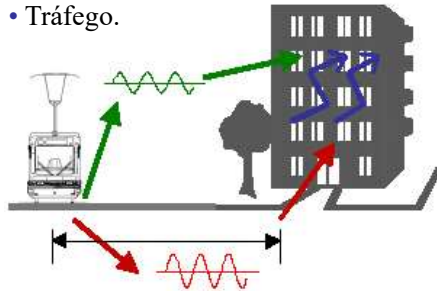
- A energia sonora propaga-se pela estrutura e pode ser re-irradiada por via aérea, para o pavimento inferior e outros pavimentos.
- Pode estabelecer campos sonoros incômodos em locais distantes do local de origem da excitação.

11

Transmissão de ruído de impacto entre ambientes

- Principais fontes de ruído de impacto em edificações:

- Atividades realizadas por moradores (passos, objetos caindo, arrastar de móveis, marteladas na parede, batidas nos fechamentos, etc.)
- Atividades comerciais ou industriais.
- Maquinários diversos e tubulação: elevadores; canalização; sistemas de ventilação e ar condicionado; máquinas de lavar; portões de garagem; etc.
- Ruídos provenientes de edifícios vizinhos.
- Tráfego.



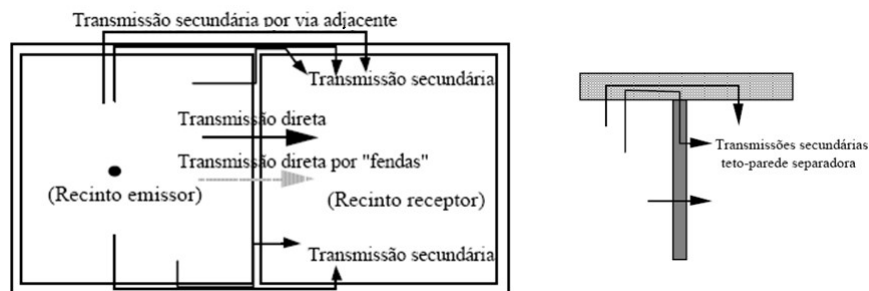
12

Transmissão direta

- Transmissão que se faz diretamente através do elemento de separação.

Transmissão secundária, marginal ou pelos flancos

- Transmissão que se dá por outros meios, que não o elemento de separação.



13



Fonte: Veja São Paulo, Ed. Abril, 14/05/2008 e 11/08/2010

Ruído

- Efeitos negativos
 - Psicológicos
 - Físicos
- Ficar exposto a níveis elevados de ruído por longos períodos → Nada agradável e nem saudável.

14

Solução? Isolamento Sonoro

- Conjunto de elementos construtivos que impedem ou reduzem a transmissão sonora entre ambientes diferentes.
- Isolamento contra:
 - **Ruído aéreo**
 - **Ruído de impacto**
- Absorção extra
 - Reduz a intensidade reverberante, ajudando no isolamento.
 - Redução pequena em comparação ao isolamento.



19

Por que o isolamento sonoro é importante?

- Incômodo
- Privacidade e Confidencialidade
- Legislação (leis estabelecem limites para níveis de ruído)

20

Avaliação do isolamento sonoro

- Métodos de medição ou previsão – normas técnicas
- Quantificação de grandezas acústicas
- Avaliação – comparação com critérios – normas técnicas
- Solução adequada



Fonte: ISOVER, 2009

21

- **Coefficiente de transmissão sonora do material (τ):**
- Caracteriza a capacidade de uma parede transmitir (ou isolar) som.

$$\tau = \frac{E_t}{E_i}$$

Onde:

E_t é a energia sonora transmitida pela superfície do material, e
 E_i é a energia sonora incidente na superfície do material.

- Quanto menor for τ , menor será a transmissão sonora, ou seja, mais isolante será a parede.
- Entretanto, diferente do coeficiente de absorção sonora do material (α), o coeficiente de transmissão sonora do material (τ) não é o parâmetro mais utilizado para caracterizar a transmissão sonora, mas sim uma grandeza dele derivada (PT).

22

- **Perda na Transmissão Sonora (PT) de um elemento construtivo:**

- **ou Índice de Enfraquecimento Sonoro (E) de um elemento construtivo:**

- É a quantidade de energia sonora reduzida na transmissão através do elemento construtivo.

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right)$$

- Expressa em dB.

- Quanto menor for τ , mais isolante será a parede, e, portanto, maior a PT .
- Quanto maior for PT , mais isolante será a parede.
- Apesar dos valores serem tabelados, nos edifícios, a PT varia em função dos elementos, como o tamanho da barreira e a qualidade da construção, assim como falhas de estanqueidade, por exemplo.

23

Exemplo

Exemplo 1:

Determine a perda na transmissão sonora, para a frequência de 1000 Hz, de uma parede com coeficiente de transmissão sonora em 1000 Hz de $\tau_{1000 \text{ Hz}} = 0,005$.

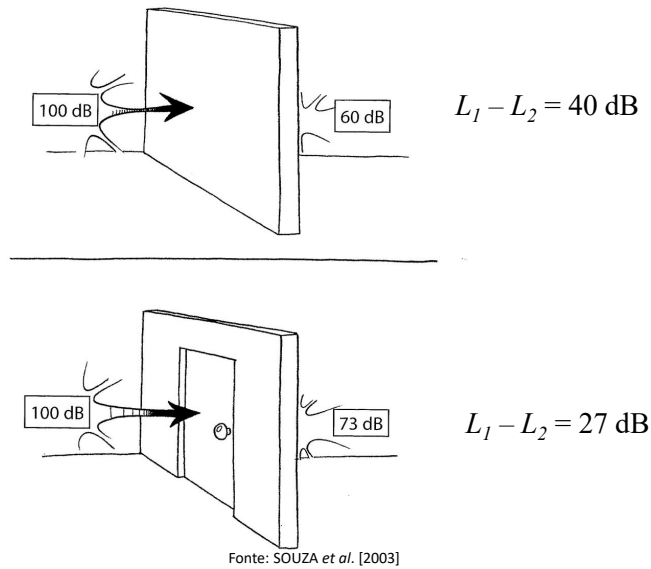
$$\tau = 0,005$$

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right)$$

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{0,005} \right) = 10 \log (200) = 23 \text{ dB}$$

24

- Elementos heterogêneos – parede com porta:



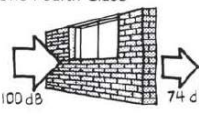
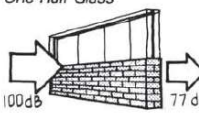
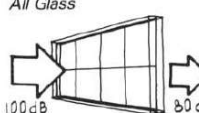
25

- Parede composta por mais de um material



26

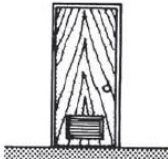
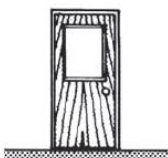
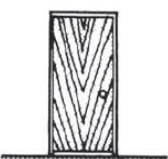
- Elementos heterogêneos – paredes de fachadas:

Parede	Composite TL (dB)
 <i>All Brick</i>	50
 <i>One-Eighth Glass</i>	29
 <i>One-Fourth Glass</i>	26
 <i>One-Half Glass</i>	23
 <i>All Glass</i>	20

Fonte: EGAN [2007]

27

- Portas:

Vazamento sonoro	Porta	Medida Corretiva
Louver		Avoid. Route air through separate branch duct, or use muffler to corridor (see Chap. 5)
Vision panel at low TL		Use at least 1/4-in-thick glass, laminated glass, or two separate panes of glass
Undercut threshold		Use threshold gasket or effective drop seal

Fonte: EGAN [2007]

28

- Elementos heterogêneos:



- Quando um elemento acusticamente mais fraco, como por exemplo, uma janela ou uma porta, é inserido numa parede (elemento acusticamente mais forte), o desempenho global cai consideravelmente e tende a se aproximar do valor do elemento mais fraco.

30

- **Perda na Transmissão Sonora Composta ou Global (PT_c), em dB**

$$PT_c = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_c} \right)$$

$$PT_c = 10 \log \frac{\sum S_i}{\sum \tau_i S_i}$$

$$\tau_c = \frac{\sum \tau_i S_i}{\sum S_i}$$

$$PT_i = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_i} \right) \therefore \tau_i = 10^{-PT_i/10}$$

$$\tau_c = \frac{\tau_{janela} S_{janela} + \tau_{parede} S_{parede}}{S_{janela} + S_{parede}}$$

- Onde:

S_i é a área do elemento i (m^2)

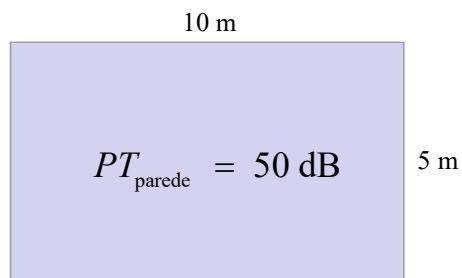
τ_i é o coeficiente de transmissão sonora do elemento i .

31

Exemplo

Exemplo 2:

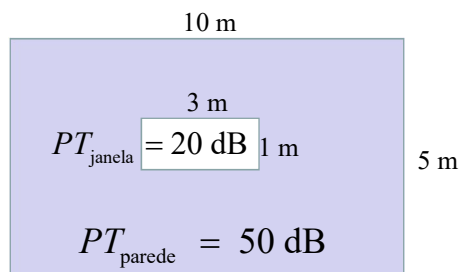
A perda na transmissão sonora da parede abaixo (10 m x 5 m) é 50 dB:



32

Exemplo

Após inserir uma janela de 3 m x 1 m, com perda na transmissão sonora de 20 dB, determine a perda na transmissão sonora composta pelo conjunto parede + janela.



33

Exemplo

Exemplo 2:

$$S_{janela} = ?$$

$$S_{janela} = 3 \text{ m}^2$$

$$S_{parede} = ?$$

$$S_{parede} = 50 - 3 = 47 \text{ m}^2$$

$$\tau_{janela} = ?$$

$$\tau_{parede} = ?$$

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad \therefore \quad \tau = 10^{-PT/10}$$

$$PT_{janela} = 20 \text{ dB}$$

$$\tau_{janela} = 10^{-PT_{janela}/10} = 10^{-2} = 0,01$$

$$\tau_c = ?$$

$$PT_{parede} = 50 \text{ dB}$$

$$\tau_{parede} = 10^{-PT_{parede}/10} = 10^{-5} = 0,00001$$

34

Exemplo

Exemplo 2:

$$\tau_{janela} = 0,01$$

$$S_{janela} = 3 \text{ m}^2$$

$$\tau_{parede} = 0,00001$$

$$S_{parede} = 47 \text{ m}^2$$

$$\tau_c = ?$$

$$\tau_c = \frac{\tau_{janela} S_{janela} + \tau_{parede} S_{parede}}{S_{janela} + S_{parede}}$$

$$\tau_c = \frac{(0,01 \cdot 3 + 0,00001 \cdot 47)}{3 + 47} = 0,0006094$$

$$PT_c = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_c} \right)$$

$$PT_c = 10 \log \left(\frac{1}{0,0006094} \right) = 32 \text{ dB}$$

35

Exemplo

Exemplo 3:

Determine a perda na transmissão sonora composta, para a frequência de 1000 Hz, de um painel com área total de 10 m², que apresenta $PT = 30$ dB, ao se inserir um painel de 3 m² com $PT = 10$ dB.

$$\begin{aligned} PT_1 &= 30 \text{ dB} & S_1 &= 7 \text{ m}^2 & \tau_1 &= 10^{-PT_1/10} = 10^{-3} = 0,001 \\ PT_2 &= 10 \text{ dB} & S_2 &= 3 \text{ m}^2 & \tau_2 &= 10^{-PT_2/10} = 10^{-1} = 0,1 \end{aligned}$$

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad \tau_c = \frac{\sum \tau_i S_i}{\sum S_i} = \frac{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2}{S_1 + S_2} = \frac{(0,001 \cdot 7 + 0,1 \cdot 3)}{7 + 3}$$

$\therefore$

$$\tau_c = \frac{0,307}{10} = 0,0307$$

$$\tau = 10^{-PT/10}$$

$$PT_c = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_c} \right) = 10 \log \left(\frac{1}{0,0307} \right) = 15 \text{ dB}$$

36

Arquivo em Excel

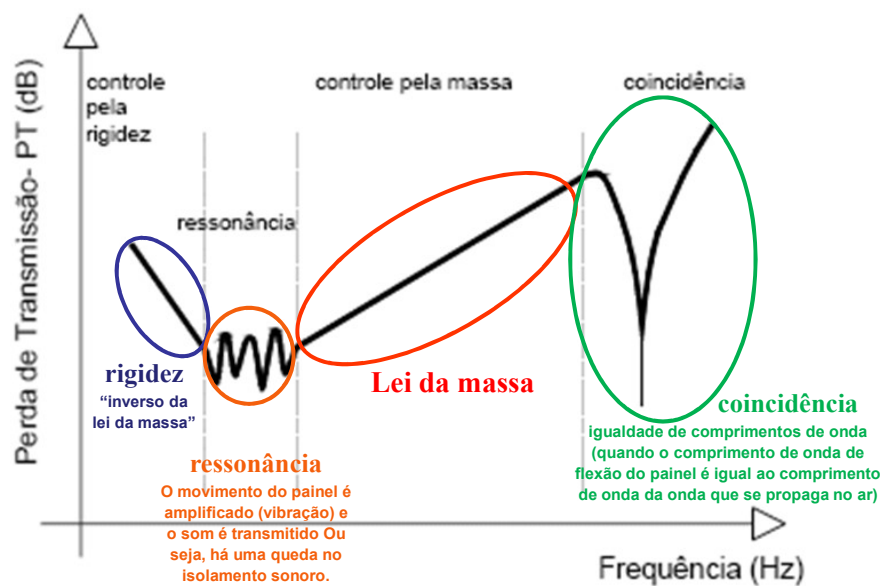
37

- Curva típica de perda na transmissão em função da frequência, de painéis simples (sólidos e homogêneos):

- A PT é fortemente dependente da frequência do som incidente.
- O som que é transmitido para o ambiente receptor apresentará um espectro diferente do som original, pois as altas frequências são mais atenuadas que as baixas.

38

- Curva típica de perda na transmissão em função da frequência, de painéis simples (sólidos e homogêneos):



39

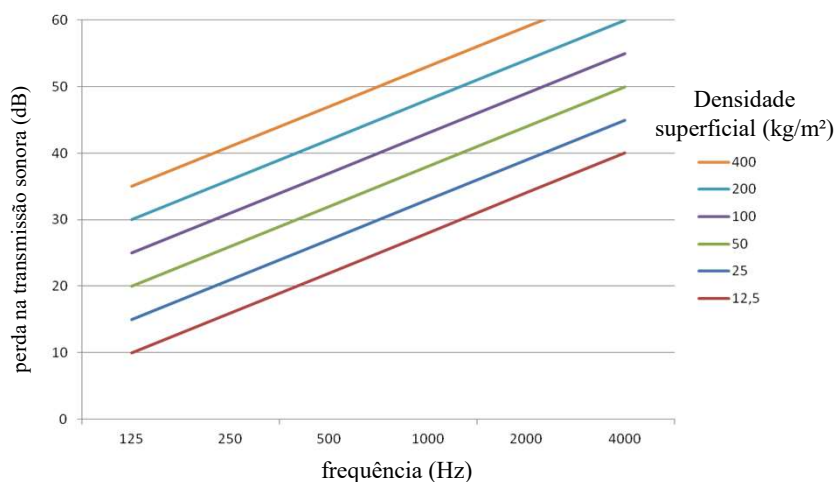
- **Curva típica de perda na transmissão em função da frequência, de painéis simples (sólidos e homogêneos):**

- Na Figura, observam-se 4 regiões:
 - região controlada pela rigidez: uma espécie de “inverso da lei da massa”.
 - região controlada pelas ressonâncias mecânicas do painel no movimento de flexão. Na ressonância, o movimento do painel é amplificado, sendo o som incidente eficazmente transmitido pela parede, com queda na perda na transmissão.
 - região controlada pela massa do painel
 - região controlada pelo fenômeno de coincidência: quando há uma igualdade de comprimentos de onda (quando o comprimento de onda de flexão do painel é igual ao comprimento de onda da onda que se propaga no ar)

40

- **Lei da Massa**

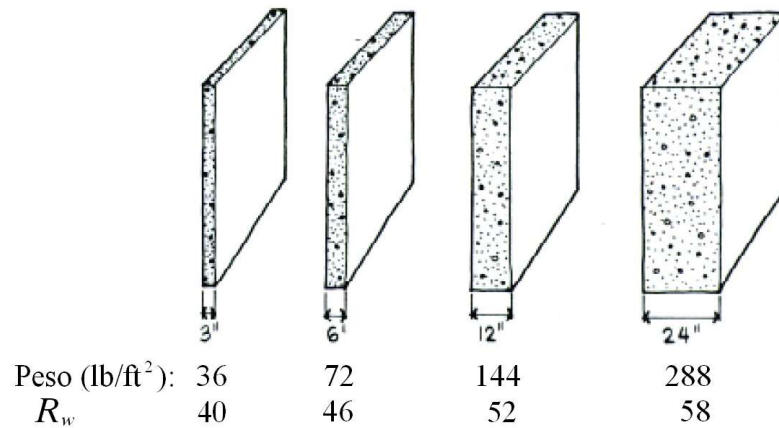
- A perda na transmissão sonora aumenta 6 dB cada vez que se dobra a massa ou cada vez que se dobra a frequência da onda sonora incidente.



41

- **Lei da Massa**

- Paineis simples:



A transmissão sonora é controlada pela massa.

42

- **Lei da Massa**

- Com o aumento da frequência:

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
(x-12) dB	(x-6) dB	(x) dB	(x+6) dB	(x+12) dB

43

- **Lei da Massa**

- A PT pode ser calculada para partições homogêneas pela Lei da Massa:

- **Partição sólida e homogênea:**

$$PT = 20 \log(f \cdot M) - 47 \text{ dB}$$

- Onde:

f é a frequência da onda sonora incidente (Hz)

M é a densidade superficial da partição (kg/m^2)

44

Exemplo

Exemplo 4-a:

Qual é a perda na transmissão sonora (PT) para a frequência de 1000 Hz de um painel de compensado, com densidade de 50 kg/m^2 ?

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

$$M = 50 \text{ kg/m}^2$$

$$PT = 20 \log(f \cdot M) - 47$$

$$PT = 20 \log(1000 \cdot 50) - 47$$

$$PT = 20 \log(5 \times 10^4) - 47$$

$$PT = 20 \log(5) + 20 \log(10^4) - 47$$

$$PT = 20 \cdot 0,699 + 20 \cdot 4 - 47$$

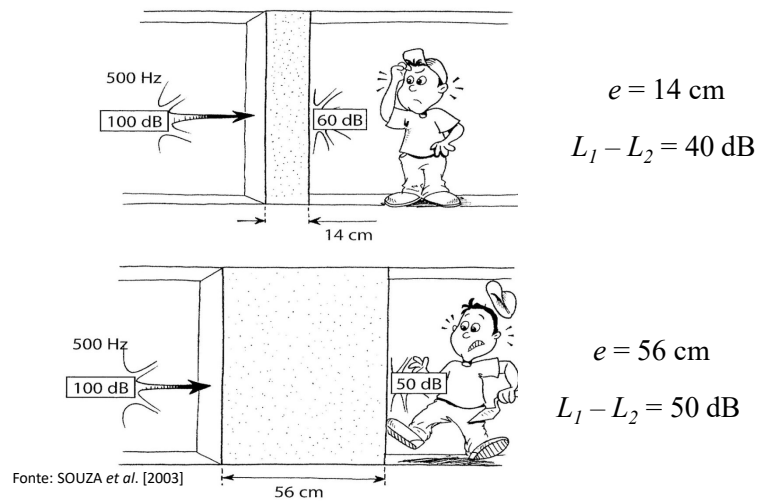
$$PT = 14 + 80 - 47$$

$$PT = 47 \text{ dB}$$

46

- **Lei da Massa**

- Valor de atenuação da intensidade sonora pela lei da massa é baixo. →
Aumento da massa nem sempre é viável.



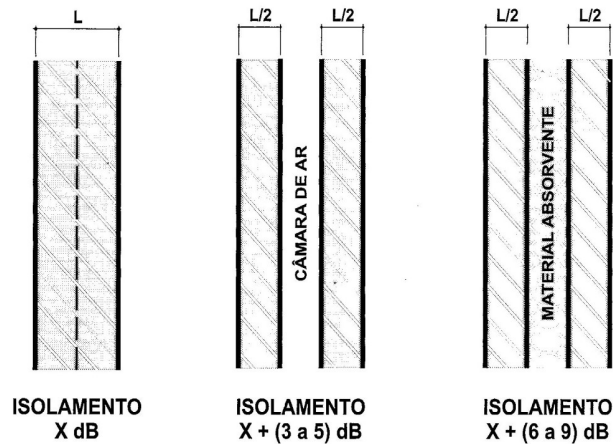
48

- **Como aumentar o isolamento sonoro sem aumentar muito a massa?**

49

- **Paredes duplas: Efeito massa – mola – massa**

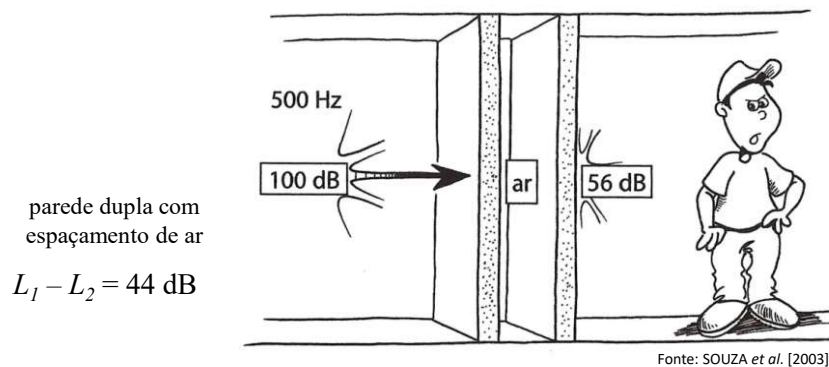
- Material (ou sistema) + espaço vazio + material (ou sistema)
- Material (ou sistema) + material absorvente + material (ou sistema)



50

- **Paredes duplas**

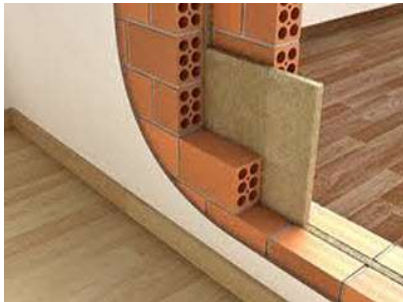
- São recomendadas quando se deseja uma elevada perda na transmissão sonora com menor peso e custo.
- Espaço entre paredes – quanto maior o afastamento entre as placas (camada de ar), maior o isolamento sonoro nas baixas frequências.



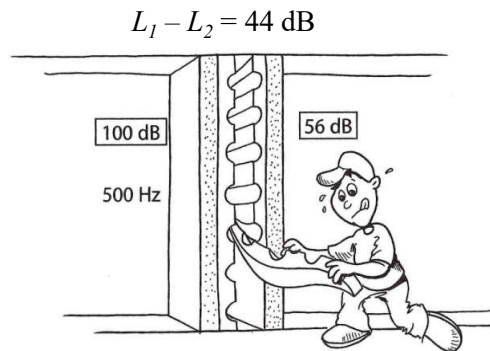
51

- **Paredes duplas: Efeito massa – mola – massa**

- Quanto maior a massa da mola, maior a capacidade de isolamento sonoro do sistema.



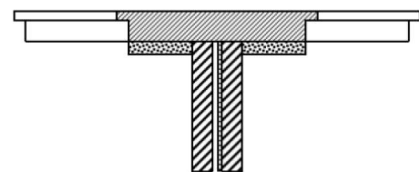
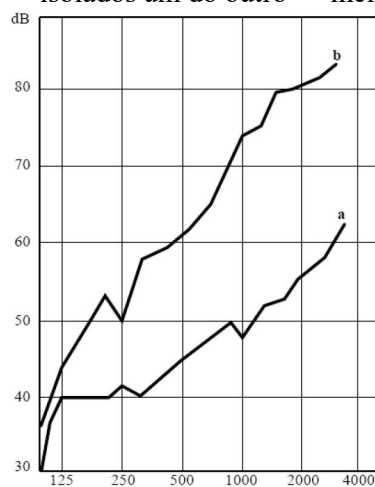
Material de absorção sonora no interior da parede dupla



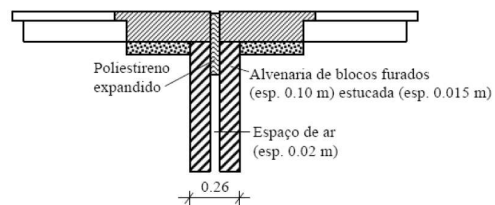
52

- **Paredes duplas**

- Os dois painéis da parede dupla devem ser mecânica e acusticamente isolados um do outro → melhores resultados.



a) ligação com continuidade



b) ligação descontínua (junta de dilatação)

53

- Condições de audibilidade através de uma parede

Amortecimento do som através de uma parede	Condições de Audibilidade	Conclusão
30 dB ou menos	A voz normal pode ser compreendida com facilidade e de modo distinto.	<i>Pobre</i>
de 30 a 35 dB	O som da voz é percebido fracamente. A conversa pode ser ouvida mas não nitidamente compreendida.	<i>Suave</i>
de 30 a 40 dB	O som da voz pode ser ouvido mas não compreendidas as palavras com facilidade. A voz normal só será ouvida debilmente e às vezes não.	<i>Bom</i>
de 40 a 45 dB	O som da voz pode ser ouvido fracamente sem, no entanto ser compreendido. A conversação normal não é audível.	Muito bom. Recomendado para paredes de edifícios de apartamentos.
45 dB ou mais	Sons muito fortes como o canto, instrumentos de sopro, rádio tocando muito alto podem ser ouvidos fracamente e às vezes não.	Excelente. Recomendado para estúdios de rádio, auditórios e indústrias.

Fonte: CANDIDO, J.

54

- Influência da $D_{nT,w}$ sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35 dB a 40 dB.

Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$ [dB]
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥ 50

Fonte: ABNT, 2013.

55

- **Como é medida a perda na transmissão sonora e os parâmetros de isolamento sonoro?**

- Determinados experimentalmente através de ensaios normalizados internacionalmente por normas ISO.

ISO 10140-1, 2, 4, 5 (laboratório)

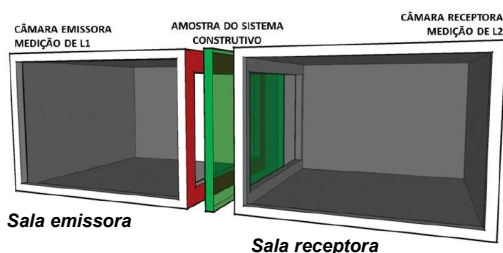
ISO 16283-1 (campo - *airborne sound insulation*)

ISO 16283-3 (campo - *façade sound insulation*)

- As medições podem ser realizadas:
 - Em campo (*in situ*).
 - Em laboratório (câmaras reverberantes adjacentes).

56

Medição do isolamento sonoro aéreo



- **Como é medido?**

Na sala emissora ou do lado externo da fachada é gerado um sinal de excitação (ruído branco ou *sweep*).

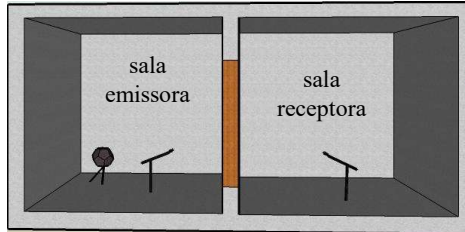
As diferenças de nível entre os ambientes são calculadas.

O tempo de reverberação da sala receptora é medido.



57

Medição do isolamento sonoro aéreo



Cálculo do parâmetro em função da frequência.

Cálculo do valor ponderado do parâmetro: R_w ; $D_{nT,w}$; $D_{2m,nT,w}$

58

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)



59

Medição do isolamento sonoro aéreo

- Instrumentação:

- Medidor de nível de pressão sonora (medições em bandas de terço de oitava: 100 Hz a 3150 Hz)



- Fonte sonora:

Pode ser uma fonte sonora omnidirecional (dodecaedro).

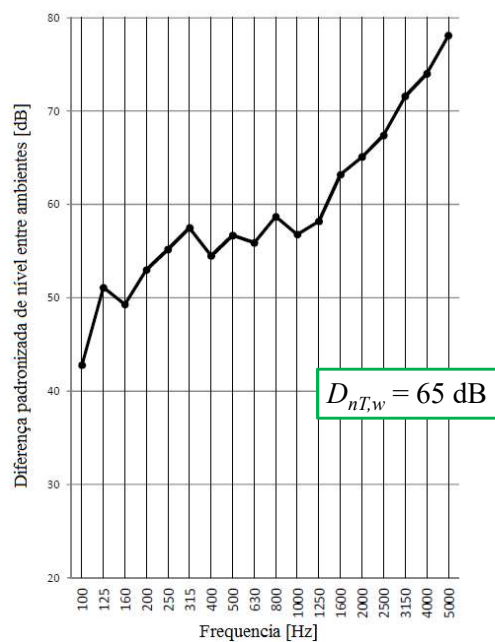


- Para medir o tempo de reverberação da sala receptora:
Fonte sonora e medidor de nível de pressão sonora.

60

- Como são apresentados os resultados das medições?

Frequência (Hz)	D_{nT} (dB)
100	42,8
125	51,1
160	49,3
200	53,0
250	55,2
315	57,5
400	54,5
500	56,7
630	55,9
800	58,7
1000	56,8
1250	58,2
1600	63,2
2000	65,1
2500	67,4
3150	71,6
4000	74,0
5000	78,1



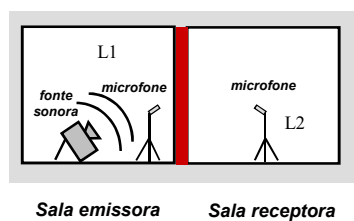
61

- **A redução sonora aérea entre ambientes depende de quais fatores?**

- Perda na transmissão sonora (*PT*) da parede comum que divide a sala emissora da sala receptora.
- Área da parede.
- Absorção da sala receptora:
 - O ruído é maior em salas reverberantes (vivas) do que em salas altamente absorvedoras (mortas).

62

- **Diferença de Níveis entre Ambientes (*D*)
ou Redução de Ruído (*Noise Reduction - NR*)**



- É a diferença aritmética entre os níveis sonoros existentes nas salas, expressa em dB.

$$D = L_1 - L_2$$

- Onde:

L_1 é o nível de pressão sonora médio na sala emissora (dB).

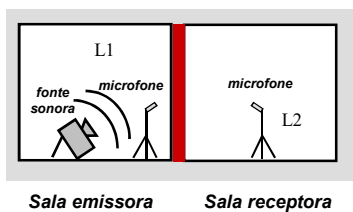
L_2 é o nível de pressão sonora médio na sala receptora (dB).

63

- Índice de redução sonora aérea da parede (R)
- Diferença padronizada de nível entre ambientes (D_{nT})
- Diferença padronizada de nível de fachada ($D_{2m,nT}$)

64

- Índice de redução sonora aérea da parede (R) ou Perda na Transmissão (PT) ou *Sound Transmission Loss* (TL) [dB]:



$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right)$$

$L_1 \rightarrow$ nível de pressão sonora médio na sala emissora, em dB.

$L_2 \rightarrow$ nível de pressão sonora médio na sala receptora, em dB.

$S \rightarrow$ área da parede, em m^2 .

$A \rightarrow$ área de absorção sonora equivalente da sala receptora, em m^2 *Sabin*.

$V \rightarrow$ volume da sala receptora, em m^3 .

$T \rightarrow$ tempo de reverberação da sala receptora, em segundos.

$$A = 0,161 \frac{V}{T}$$

65

Exemplo

Exemplo 5:

Qual é o índice de redução sonora (R) entre duas salas separadas por uma parede de 12 m^2 quando a diferença de níveis entre os ambientes é 40 dB . O volume da sala receptora é 50 m^3 e seu tempo de reverberação médio é $0,5$ segundos.

66

Exemplo

Exemplo 5:

Qual é o índice de redução sonora (R) entre duas salas separadas por uma parede de 12 m^2 quando a diferença de níveis entre os ambientes é 40 dB . O volume da sala receptora é 50 m^3 e seu tempo de reverberação médio é $0,5$ segundos.

$$D = L_1 - L_2$$

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

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right)$$

$$A = 0,161 \frac{V}{T}$$

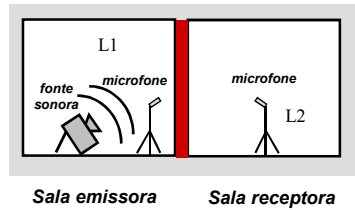
$$R = 40 + 10 \log \left(\frac{12}{16,1} \right) = 40 + 10 \log (0,745)$$

$$A = 0,161 \frac{50}{0,5} = 16,1 \text{ m}^2 \text{ Sabin}$$

$$R = 40 - 1,28 = 38,7 \text{ dB} \approx 39 \text{ dB}$$

67

- **Diferença padronizada de nível entre ambientes (D_{nT}) [dB]:**



$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

L_1 → nível de pressão sonora médio na sala emissora, em dB.

L_2 → nível de pressão sonora médio na sala receptora, em dB.

T → tempo de reverberação da sala receptora, em segundos.

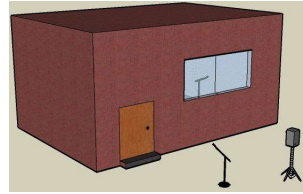
T_0 → tempo de reverberação de referência ($T_0 = 0,5$ s).

68

- **E em fachadas?**

69

• Diferença padronizada de nível de fachada ($D_{2m,nT}$) [dB]:



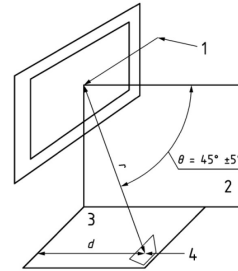
$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

$L_{1,2m}$ → nível de pressão sonora do lado de fora 2 m na frente da fachada, em dB.

L_2 → nível de pressão sonora médio na sala receptora, em dB.

T → tempo de reverberação da sala receptora, em segundos.

T_0 → tempo de reverberação de referência ($T_0 = 0,5$ s).



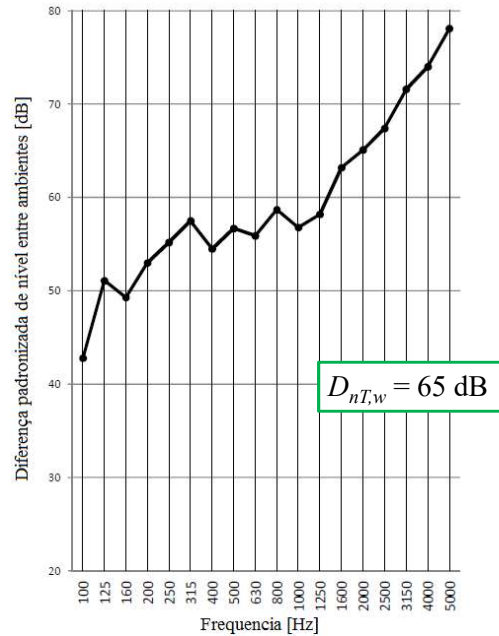
70



71

- Como são apresentados os resultados das medições?

Frequência (Hz)	D_{nT} (dB)
100	42,8
125	51,1
160	49,3
200	53,0
250	55,2
315	57,5
400	54,5
500	56,7
630	55,9
800	58,7
1000	56,8
1250	58,2
1600	63,2
2000	65,1
2500	67,4
3150	71,6
4000	74,0
5000	78,1



72

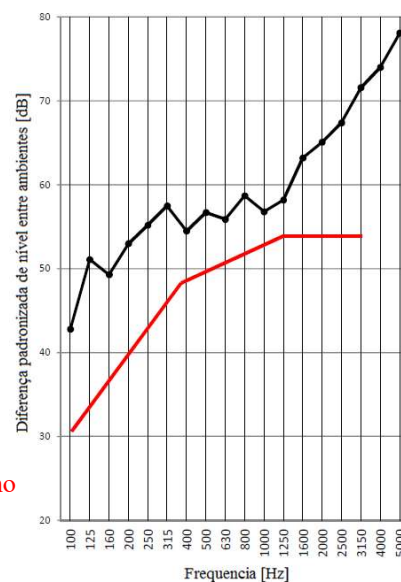
- Como é feita a ponderação?

- Diferença padronizada de nível entre ambientes ponderada [dB]:

$$D_{nT,w} = ???$$

Procedimento descrito na ISO 717-1.

Curva de referência (ISO 717-1): em vermelho



73

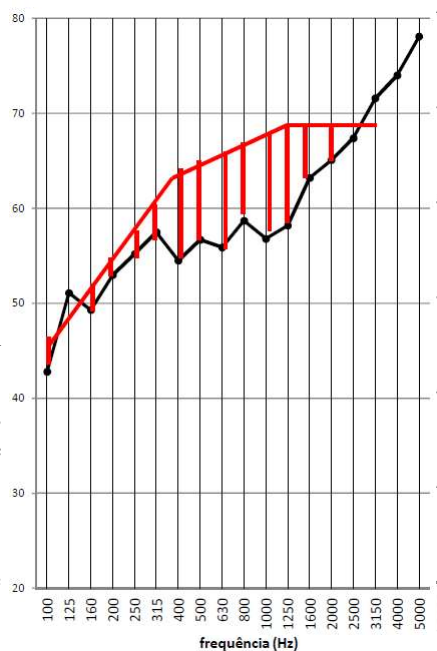
- Como é feita a ponderação?

- Diferença padronizada de nível entre ambientes ponderada [dB]:

$$D_{nT,w} = ???$$

Curva de referência (ISO 717-1):

- É deslocada na vertical em passos de 1 em 1 dB,
- Até que a soma das diferenças dos valores medidos para os valores da curva de referência seja a maior possível, mas não superior a 32 dB.
- $D_{nT,w}$ = valor lido em 500 Hz da curva de referência deslocada.



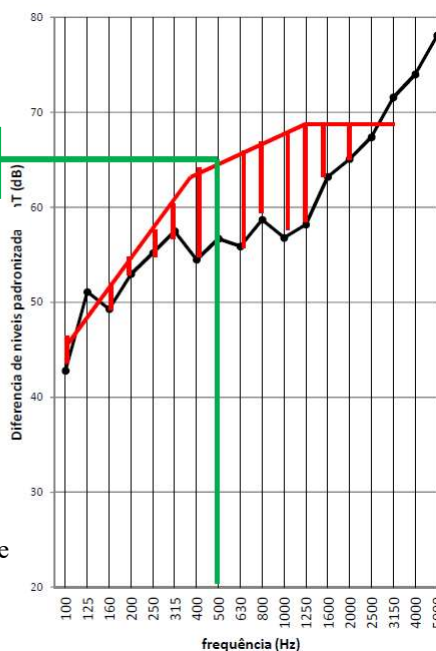
74

- Como é feita a ponderação?

$$D_{nT,w} = 65 \text{ dB}$$

- Diferença padronizada de nível entre ambientes ponderada

- $D_{nT,w}$ = valor lido em 500 Hz da curva de referência deslocada



75

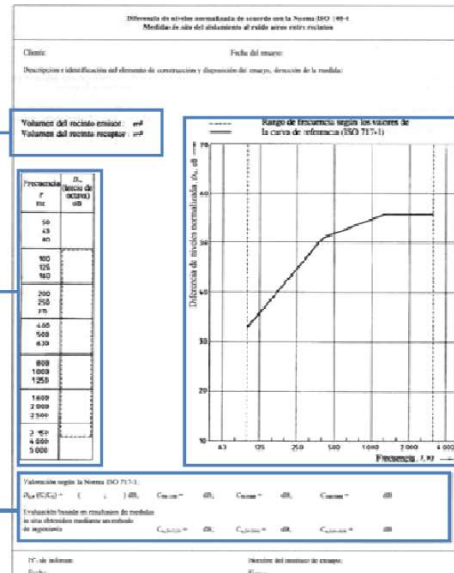
- Como são apresentados os resultados das medições?

Relatório

volumes dos ambientes

resultados em tabela

resultados em valor único



resultados em gráfico

76

- Como são apresentados os resultados das medições?

- Valores únicos (ponderados): R_w , $D_{nT,w}$, $D_{2m,nT,w}$
- Obtidos de acordo com a norma internacional ISO 717-1, fazendo um ajuste gráfico (usando a curva de referência da norma).
- Indicam a eficácia da solução construtiva.

Índice de redução sonora ponderado R_w

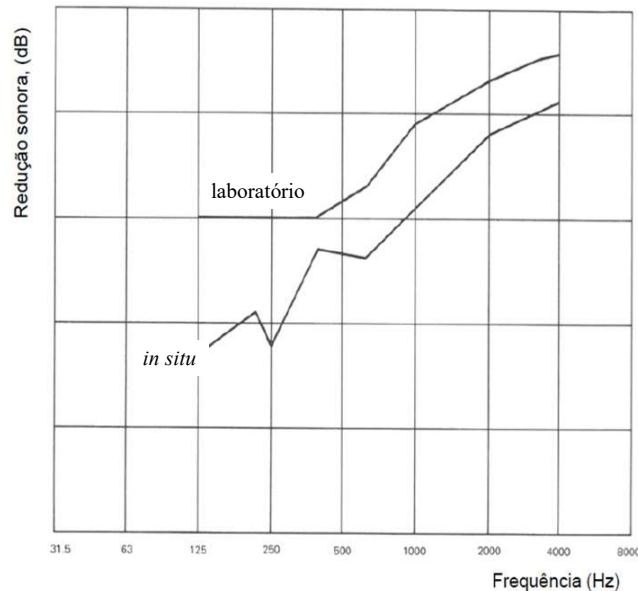
Diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$

Diferença padronizada de nível de fachada ponderada $D_{2m,nT,w}$

- Na maioria das vezes, os catálogos de materiais dos fabricantes apresentam apenas os resultados de R_w obtidos em laboratório.
- Os valores de isolamento sonoro obtidos em campo são mais baixos que os obtidos em laboratório (devido às transmissões marginais presentes).
- A norma de desempenho de edificações ABNT NBR 15575 fornece valores M , I e S para estes índices.

77

Ensaio em laboratório x Ensaio em campo



78

• Medições em laboratório X Medições em campo

• Estudo de caso:

- Salas emissora e receptora com mesmo volume.
- Todos os elementos de concreto armado, com 15 cm de espessura.

Situação inicial:

Laboratório: $R_w = 54$ dB

Campo: $D_{nT,w} = 51$ dB
(3 dB de perdas por transmissão marginal)

1º Tratamento Acústico (reforço do teto):

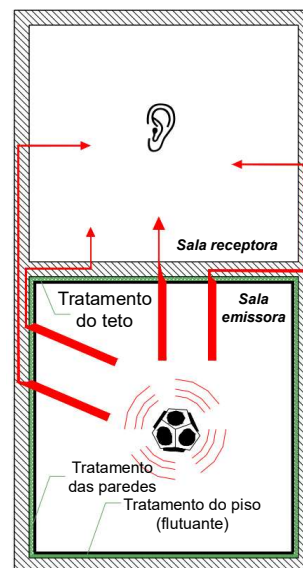
Laboratório: $R_w = 66$ dB (acrécimo de 12 dB)

Campo: $D_{nT,w} = 55$ dB
(11 dB de perdas por transmissão marginal)

2º Tratamento Acústico (reforço de paredes):

Laboratório: $R_w = 66$ dB (acrécimo de 12 dB)

Campo: $D_{nT,w} = 63$ dB
(3 dB de perdas por transmissão marginal)



Fonte: MATEUS, Diogo, 2008.

79

Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações



Fonte: DUARTE, Elisabeth, 2005.

86

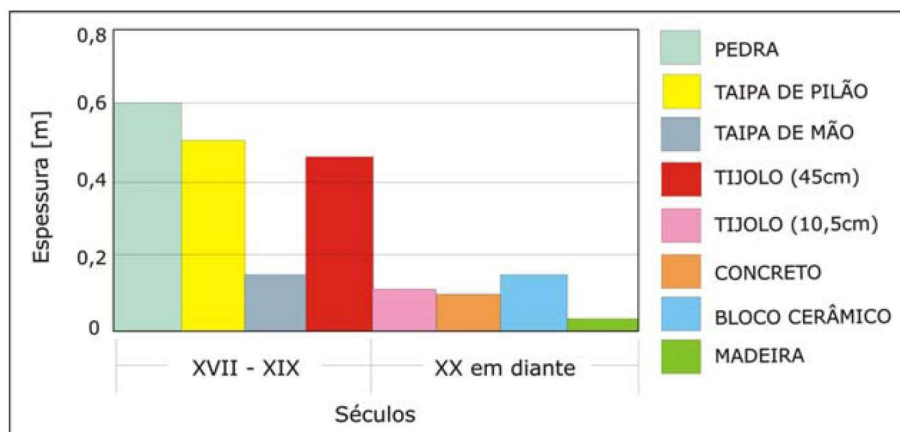
Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações



87

Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações

• Espessura dos componentes

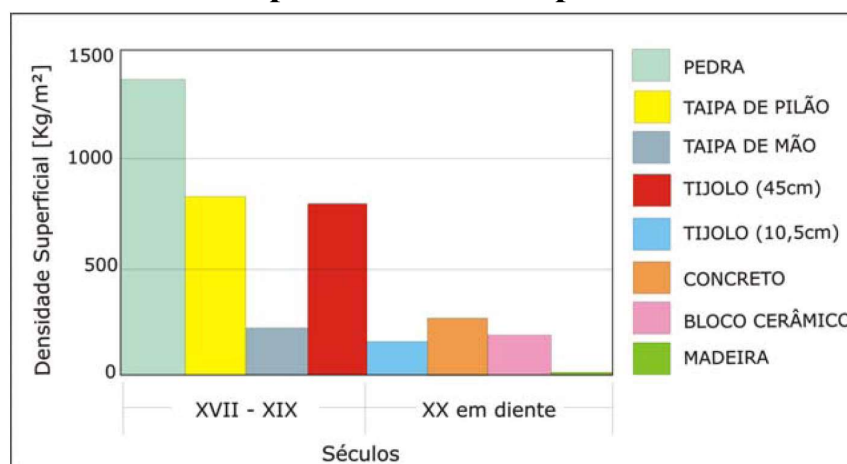


Fonte: DUARTE, Elisabeth, 2005.

88

Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações

• Densidades superficiais dos componentes

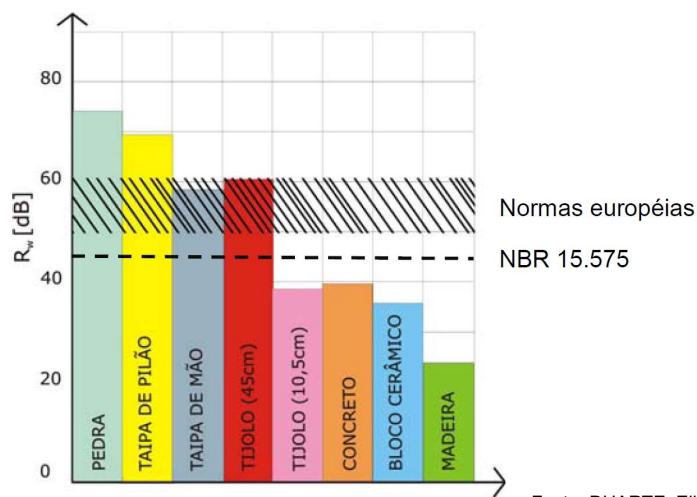


Fonte: DUARTE, Elisabeth, 2005.

89

Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações

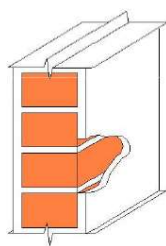
• Índice de redução sonora dos componentes



Fonte: DUARTE, Elisabeth, 2005.

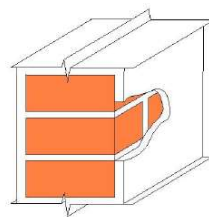
90

Exemplos – Perdas na transmissão sonora



- Tijolo maciço Espessura de 10 cm e argamassa de revestimento

- $U = 3,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $C_T = 255 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $R_w = 45 \text{ dB}$



- Tijolo maciço Espessura de 20 cm e argamassa de revestimento

- $U = 2,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $C_T = 445 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $R_w = 50 \text{ dB}$



- Parede de concreto maciço - Espessura de 10 cm

- $U = 4,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $C_T = 240 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $R_w = 44 \text{ dB}$ (densidade $2200 \text{ kg}/\text{m}^3$)
- $R_w = 41 \text{ dB}$ (densidade $1600 \text{ kg}/\text{m}^3$)
- $R_w = 36 \text{ dB}$ (densidade $800 \text{ kg}/\text{m}^3$)

Figura 6: Fonte: AQUILINO, M. 2010.

92

- **E a caixa de ovo?**



- Não é material acústico.
- Não é material de isolamento.
- Seu formato lembra o de espuma acústica, mas absorve pouco o som.



93



94

• E os vidros?

Isolam o som?

Quais os tipos de vidros mais aplicados na construção civil?

- vidros *float* (comum), impresso, temperado, laminado, aramado, insulado e vidros de controle solar.

• Para o vidro proporcionar melhor desempenho acústico, ele deve ser muito bem especificado e instalado.

95

• E os vidros?

• Índice de redução sonora de vidros simples, em dB:

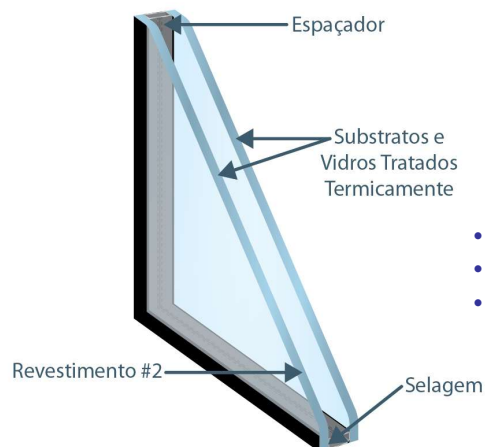
Espessura	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	Rw (C;Ctr)
3 mm	14	19	25	29	33	25	28 (-1;-4)
4 mm	17	20	26	32	33	26	29 (-2;-3)
5 mm	19	22	29	33	29	31	30 (-1;-2)
6 mm	18	23	30	35	27	32	31 (-2;-3)
8 mm	20	24	29	34	29	37	32 (-2;-3)
10 mm	23	26	32	31	32	39	33 (-2;-3)
12 mm	27	29	31	32	38	47	34 (0;-2)

FONTE: ISO 12354-3.

96

- Vidros:

- O vidro insulado, também chamado de duplo, tem função termoacústica, proporcionando atenuação acústica e controle térmico do ambiente.



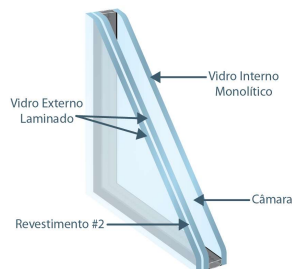
- Vidro duplo – Atenuação 34 dB
- Vidro triplo – Atenuação 37 dB
- Vidro quádruplo – Atenuação 42 dB

97

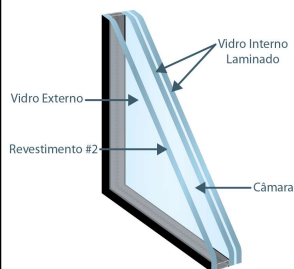
- Vidros insulados:



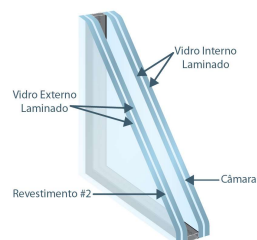
INSULADO



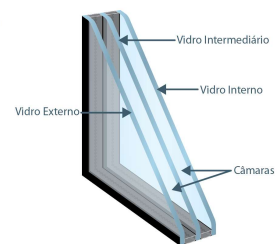
LAMINADO INSULADO



INSULADO LAMINADO



DUPLO INSULADO LAMINADO



TRIPLO INSULADO

Fonte: <https://www.glassecviracon.com.br/>

98

- **E as janelas?**



99

- **Conjunto:**



Madeira



Alumínio



Ferro

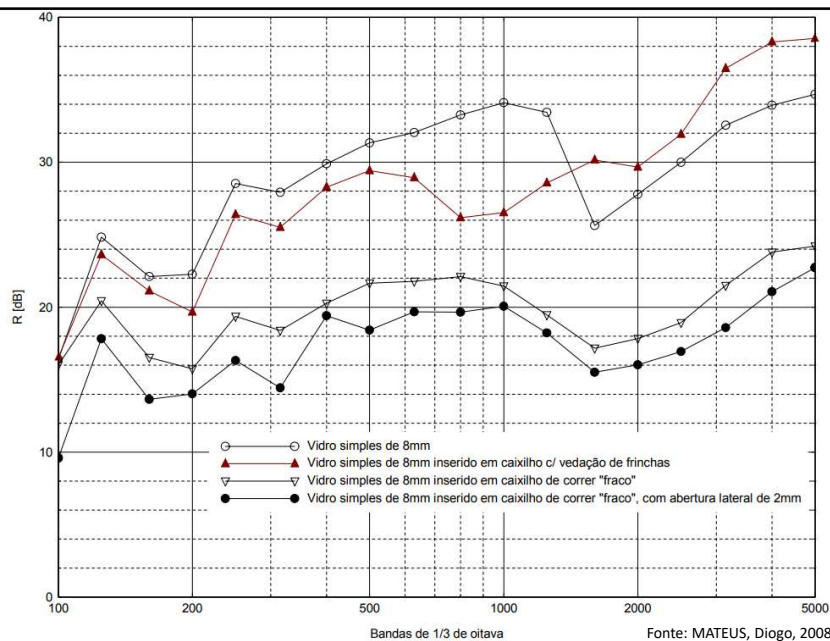


PVC

100

- Cuidados na instalação e um projeto adequado de janela (ou fachada) são necessários, pois qualquer fresta entre o vidro e as esquadrias pode alterar e prejudicar o isolamento sonoro.

101

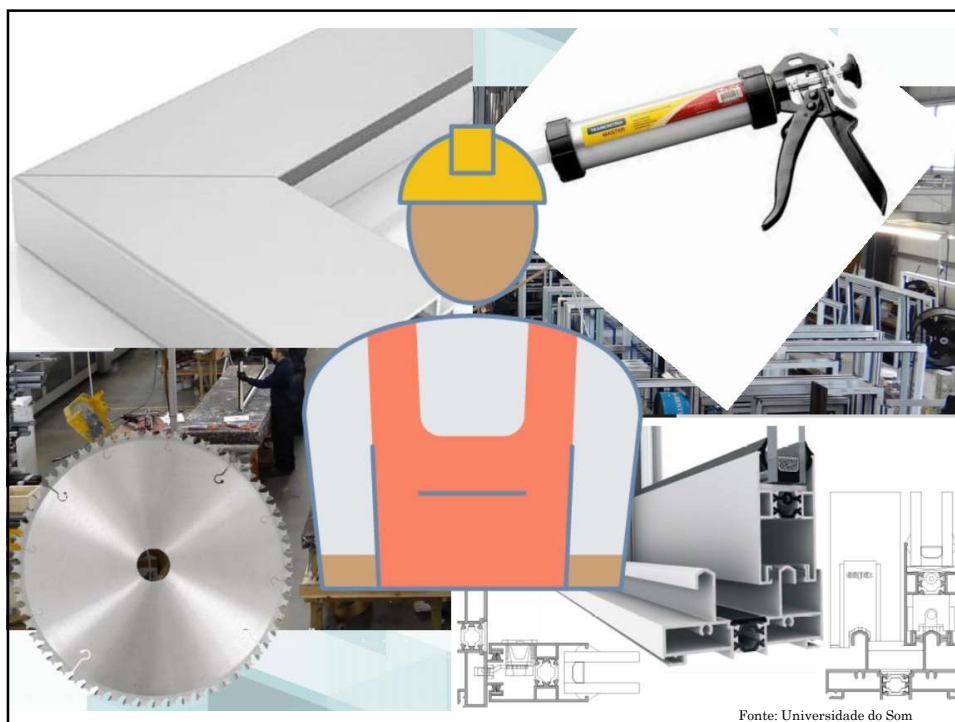


Isolamento sonoro (índice de redução sonora R) de vãos envidraçados com vidro simples de 8 mm, sem caixilho e inserido em dois tipos de caixilhos de duas folhas.

102



103



104

Especificação técnica de esquadrias (previstas no escopo da ABNT NBR 10821-4: 2017)

5) Desempenho acústico:

As fachadas externas das edificações exigem desempenho acústico. Para essas situações, a norma estabelece critérios que direcionam as esquadrias para que atendam a esses requisitos. A esquadria com desempenho acústico possui quatro classes correspondentes ao valor do índice de redução sonora ponderado - R_w .

Níveis de desempenho das esquadrias

Ensaio	Desempenho			
	D	C	B	A
Índice de redução sonora ponderado R_w (dB)	$R_w < 18$	$18 < R_w < 24$	$24 < R_w < 30$	$R_w > 30$

- a) A (≥ 30 dB)
- b) B ($24 \leq R_w \leq 30$ dB)
- c) C ($18 \leq R_w \leq 24$ dB)
- d) D (≤ 18 dB)

(Fonte: CBIC, 2017)

111

Modelo de etiqueta de classificação do desempenho acústico da esquadria
(Fonte: ABNT NBR 10821-4)

INDICAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ESQUADRIAS

Fabricante:	Código do Produto:
CNPJ:	
Produto:	
Espessura e tipo de vidro:	
Isolação sonora:	Índice de redução sonora ponderado R_w (C;C _{tr}) dB
Condição de ensaio quanto ao elemento de sombreamento	Acionada
	Recolhida
Resultado	

Índice de Redução Sonora Ponderado - R_w (dB)	Eficiência deste Produto
$R_w \geq 30$ A $24 \leq R_w < 30$ B $18 \leq R_w < 24$ C $R_w < 18$ D	

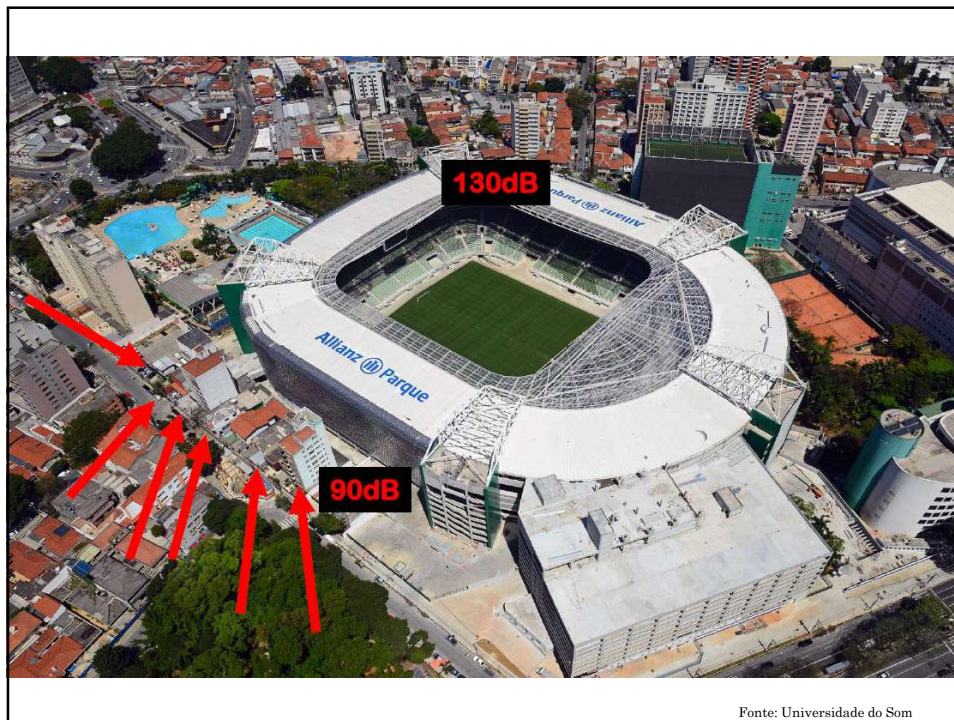
NOTA Convém que para as esquadrias com elementos de sombreamento (por exemplo, folhas de veneziana e persianas de enrolar) que os ensaios sejam realizados com os elementos acionados e recolhidos, e os seus resultados nas duas condições sejam informados para as classificações.

IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR E SOMENTE DEVERÁ SER REMOVIDA PELO USUÁRIO FINAL.

ABNT-NBR 10821-4

Em locais de ruídos atípicos deve ser solicitada assessoria técnica especializada para definição do produto adequado.

112



124

Os projetos e especificações de esquadrias
devem sempre privilegiar soluções que
minimizem o consumo de energia, a utilização
de iluminação artificial e maximizem a
ventilação natural.

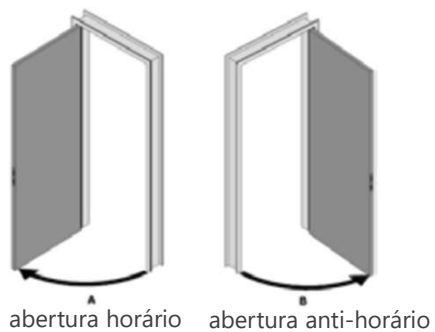
O contratante ou projetista deve especificar o nível de desempenho acústico e o índice de redução sonora ponderado R_w (C;Ctr) (dB) da esquadria, de acordo com as classes de ruído do entorno da edificação, observando a ABNT NBR 10151, e com as especificações do desempenho dos diversos subsistemas da edificação, conforme ABNT NBR 15575-4, e do ambiente onde deve ser instalada a esquadria, conforme ABNT NBR 10152.

É importante salientar que as esquadrias fazem parte de um sistema, e não respondem isoladamente pelo nível de redução sonora em ensaios feitos em campo. E também que frestas são o principal caminho para "vazamentos" acústicos e, mesmo tendo uma vedação vertical e uma esquadria bem especificada, se a instalação ocorrer de maneira inadequada, pode-se comprometer o isolamento acústico global do sistema.

127

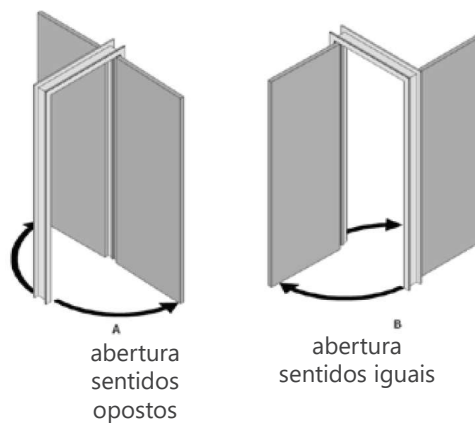
Tipos de portas

PORTAS DE GIRO



abertura horária abertura anti-horária

PORTAS DE CONEXÃO



abertura
sentidos
opostos

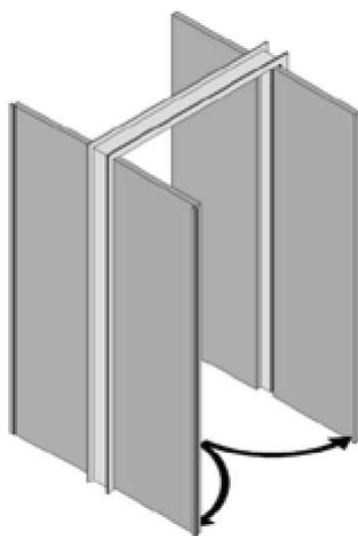
abertura
sentidos iguais

(Fonte: ABNT NBR 15930-1 apud CBIC, 2017)

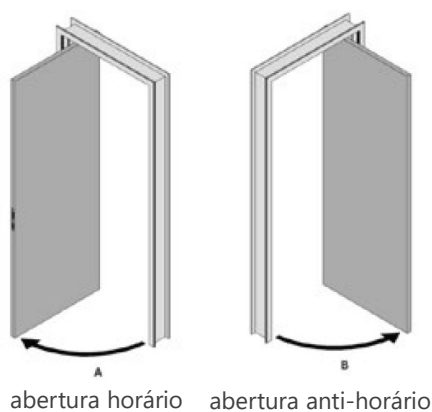
129

Tipos de portas

PORTA BALCÃO



PORTA PIVOTANTE



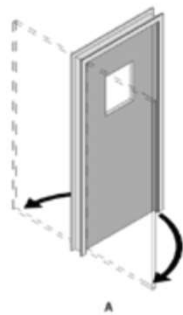
abertura horária abertura anti-horária

(Fonte: ABNT NBR 15930-1 apud CBIC, 2017)

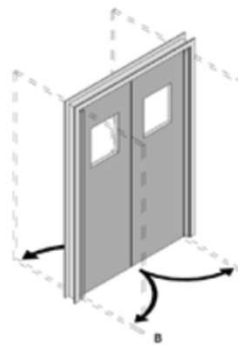
130

Tipos de portas

PORTA VAIVÉM

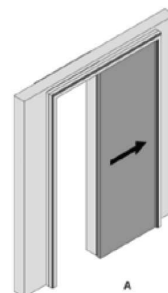


1 folha

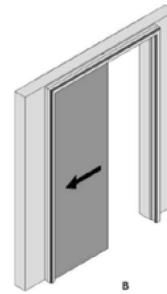


2 folhas

PORTA DE CORRER OU PORTA DESLIZANTE



abertura deslizante
para a direita



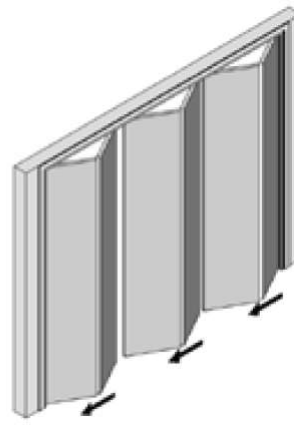
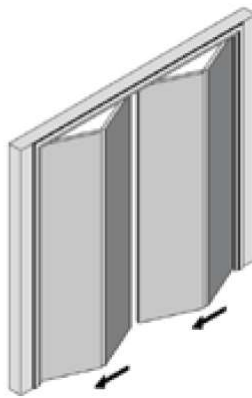
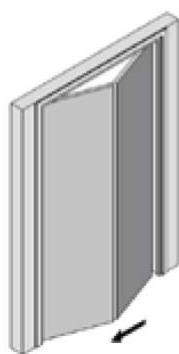
abertura deslizante
para a esquerda

(Fonte: ABNT NBR 15930-1 apud CBIC, 2017)

131

Tipos de portas

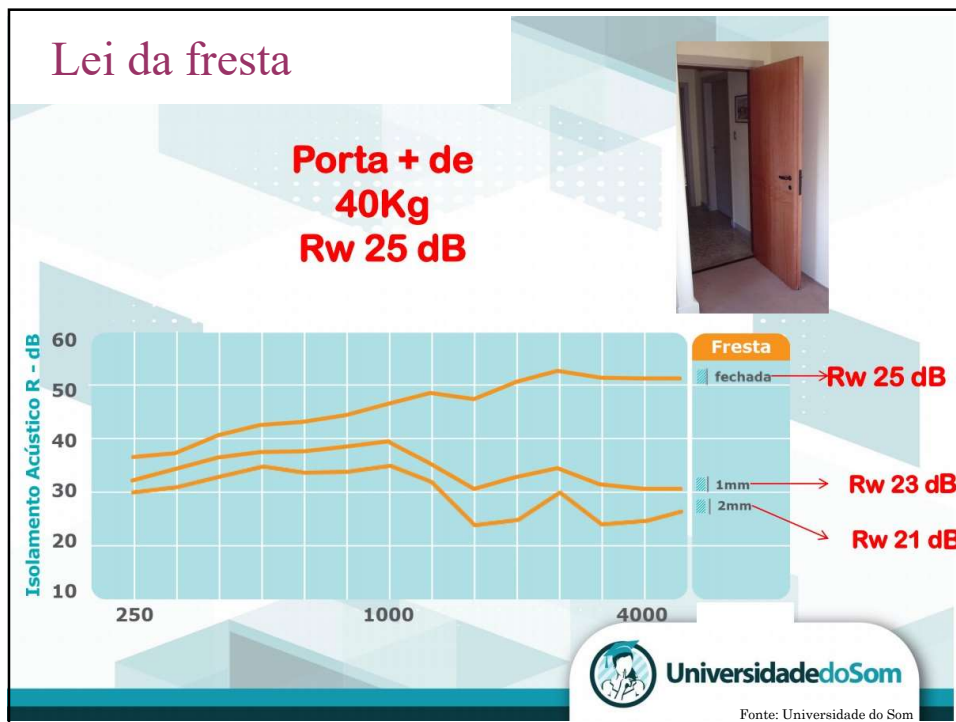
PORTA SANFONADA



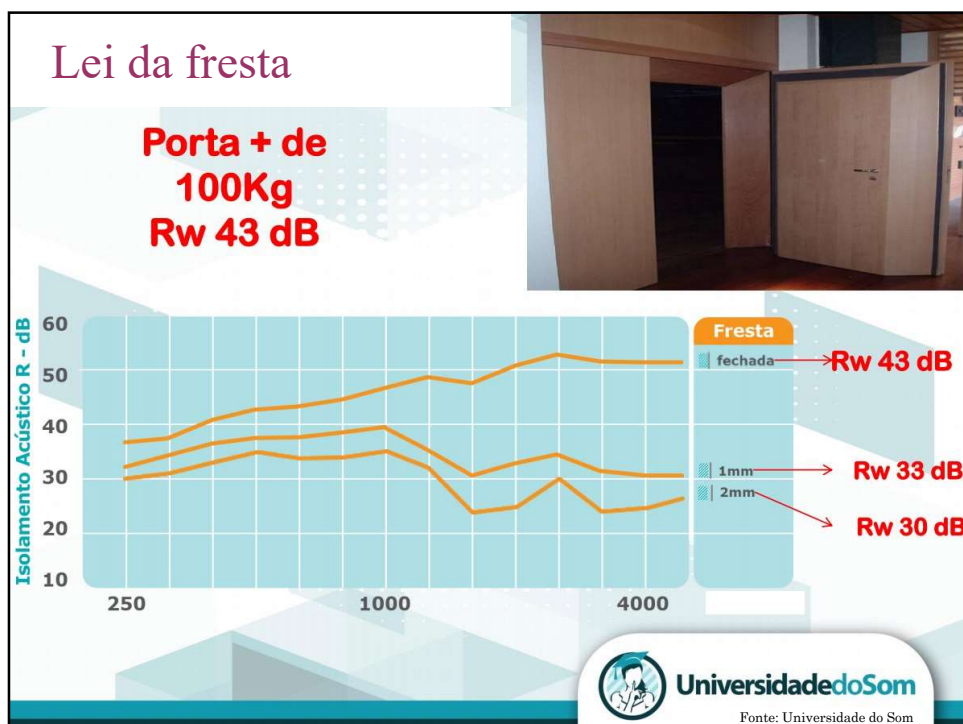
A movimentação e o sentido das folhas que compõem as portas permitem a utilização de vários modelos, como os exemplos apresentados junto aos desenhos de cada um dos tipos de portas.

(Fonte: ABNT NBR 15930-1 apud CBIC, 2017)

132



134



135



136

Lei da fresta



-10!

porta acústica

R_w 43 dB
1 mm: 33 dB



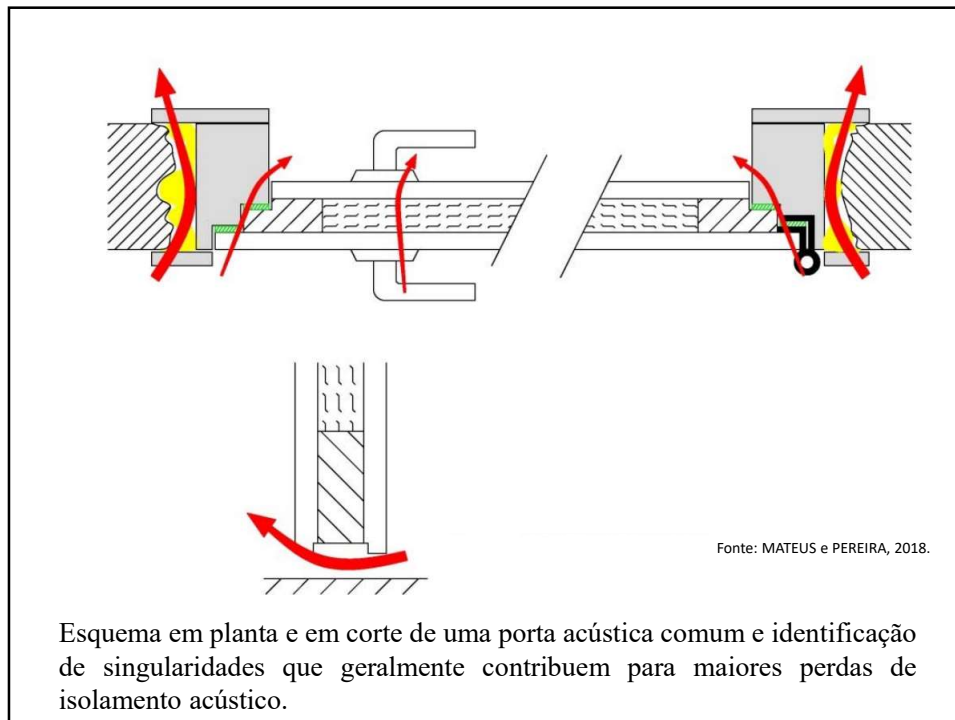
-2!

porta simples

R_w 25 dB
1 mm: 23 dB

Fonte: Universidade do Som

137



138

• Portas:

Vazamento sonoro	Porta	Medida Corretiva
Louver		Avoid. Route air through separate branch duct, or use muffler to corridor (see Chap. 5)
Vision panel at low TL		Use at least 1/4-in-thick glass, laminated glass, or two separate panes of glass
Undercut threshold		Use threshold gasket or effective drop seal

Fonte: EGAN [2007]

139

Especificação técnica de portas de madeira (previstas no escopo da ABNT NBR 15930)

6) Desempenho adicional:

Determinados projetos exigem *performances* adicionais, como desempenho acústico e resistência ao fogo. Para essas situações, a norma estabelece critérios que direcionam a porta para que ela atenda a esses requisitos.

A porta com desempenho acústico possui seis classes de desempenho correspondente ao valor do índice R_w .

Classe de desempenho acústico das portas de madeira

Requisito	Classes de desempenho da Porta Isolante Acústica	
	Redução sonora (R_w)	Classe de desempenho
Índice de redução sonora ponderado (R_w) ISO 10140-2	De 21 dB até 24 dB	PIA - Classe 1
	De 25 dB até 28 dB	PIA - Classe 2
	De 29 dB até 32 dB	PIA - Classe 3
	De 33 dB até 36 dB	PIA - Classe 4
	De 37 dB até 40 dB	PIA - Classe 5
	Maior ou igual a 41 dB	PIA - Classe 6

(Fonte: CBIC, 2017)

140

- **E o *drywall*?**

141

• Exemplo:

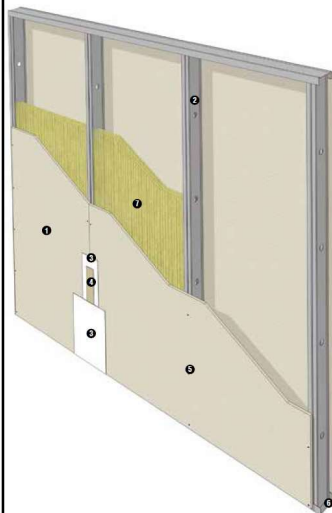


Tabela de desempenho Knauf W111

Tipologia	Espessura total da parede (mm)	Largura dos montantes (mm)	Distância entre montantes (mm)	Quantidade e espessura das chapas	Peso (kg/m ²)	Isolamento Acústico R _v (dB)	
						Sem Lã Mineral	Com Lã Mineral
W111-73/48	73	48	600 400	2 x 12,5 mm	22	34 a 36	42 a 44
W111-95/70	95	70	600 400	2 x 12,5 mm	22	38 a 40	44 a 46
W111-100/70	100	70	600 400	2 x 15,0 mm	27	39 a 41	45 a 47
W111-115/90	115	90	600 400	2 x 12,5 mm	22	39 a 42	45 a 47
W111-120/90	120	90	600 400	2 x 15,0 mm	27	40 a 43	46 a 48

- Parede Knauf W111
- Fabricante: Knauf

- 1 Chapas drywall Knauf
- 2 Perfil montante
- 3 Massa para tratamento de juntas
- 4 Fita para tratamento de juntas
- 5 Parafuso TA-25
- 6 Perfil guia
- 7 Lã mineral

Parede interna que divide ambientes em unidades residenciais e comerciais. É constituída por uma chapa fixada de gesso acartonado de cada lado de uma estrutura formada por perfis de aço galvanizado.

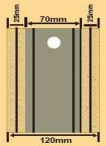
143

Desempenho acústico de alvenarias e drywall: mesma unidade

Especificação	Corte	Isolamento acústico	Peso kg/m ²
Bloco de concreto revestido c/ argamassa		38dB	150
Bloco cerâmico revestido c/ argamassa		38dB	120
Drywall		38dB	20

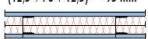
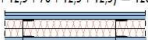
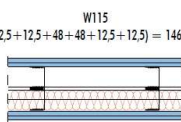
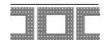
144

Desempenho acústico de alvenarias e drywall: entre unidades

Especificação	Corte	Isolamento acústico	Peso kg/m ²
Bloco de concreto revestido c/ argamassa		43dB	200
Bloco cerâmico revestido c/ argamassa		38dB	120
Drywall com lâ mineral		50dB	42

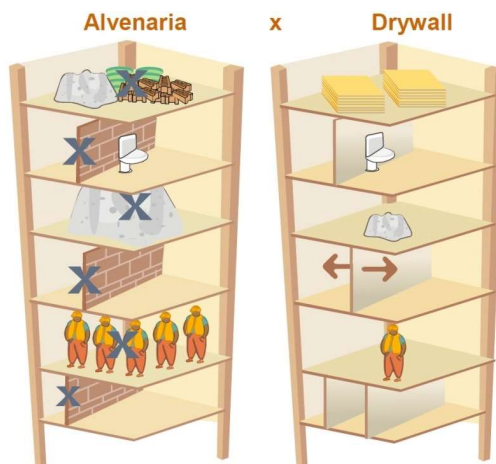
145

Comparativo de desempenho entre drywall e alvenaria

Drywall			Alvenaria convencional			
Chapas drywall Knauf	Isolamento acústico		Peso	Alvenaria convencional	Isolamento acústico	Peso
	SLM	CLM				
W111 (12,5+70+12,5) = 95 mm 	38-40 dB (A)	44-46 dB (A)	23-25 kg/m²	Tijolo maciço (15+60+15) = 90 mm 	36-38 dB (A)	155-165 kg/m²
W112 (12,5+12,5+70+12,5+12,5) = 120 mm 	44-46 dB (A)	50-52 dB (A)	41-43 kg/m²	Tijolo "baiano" - 6 furos (15+90+15) = 120 mm 	35-38 dB (A)	155-165 kg/m²
W115 (12,5+12,5+48+48+12,5+12,5) = 146 mm 	> 62 dB (A)	44-46 kg/m²	Tijolo "baiano" - 6 furos (15+160+15) = 190 mm 	38-40 dB (A)	250-260 kg/m²	
			Bloco de silício cálcio (15+110+15) = 140 mm 	35 dB (A)	300 kg/m²	
			Bloco de concreto celular (15+110+15) = 140 mm 	35 dB (A)	130 kg/m²	
			Bloco de concreto (15+110+15) = 140 mm 	35 dB (A)	240 kg/m²	

146

Alvenaria e drywall



Além de mais leves do que as paredes de alvenaria, as paredes de *drywall* apresentam outras vantagens, entre elas: redução de peso da estrutura e fundação, menor espessura com ganho de área útil, redução do volume de material transportado e redução de mão de obra, flexibilidade no projeto (nos *layouts*), facilidade nas instalações evitando quebras, mínimos desperdício e retrabalho.

147

Você sabe o que é mapa sonoro?
Já ouviu falar em planejamento sonoro urbano?
Inscreva-se no seminário para saber mais!

Evento gratuito.
Inscrições pelo site: rebrand.ly/mapasonoro



I SEMINÁRIO FAU USP SOBRE MAPEAMENTO SONORO

24 de setembro de 2019 (terça-feira) das 09h às 18h
Local: Auditório da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo - SP

150