Universidade de São Paulo
Instituto de Física de São Carlos - IFSC

7600106 Física (Arquitetura)

Controle de Ruído em Comunidades e Atenuação Sonora

Prof. Dr. José Pedro Donoso

Ruído ambiente em uma comunidade urbana

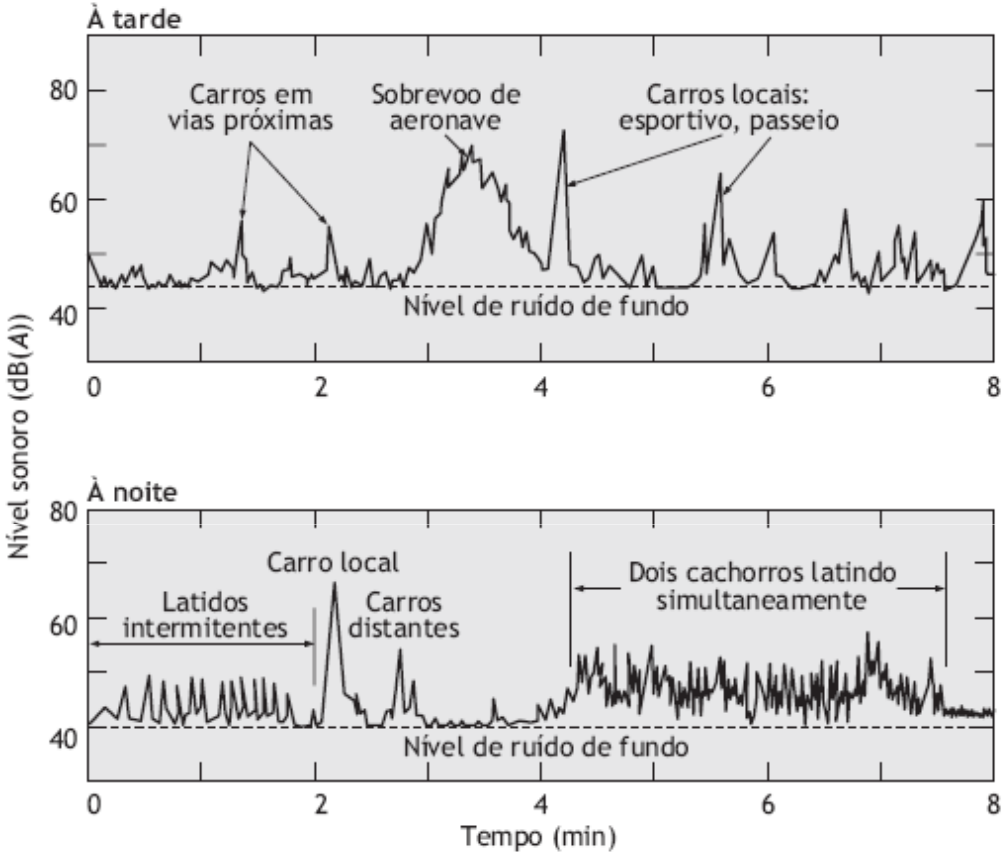


Figura 7.1 *Dois exemplos de registro de ruído ambiente em uma comunidade urbana (à tarde e à noite), com o microfone localizado a 6 m da via de tráfego. Fonte: [7] Lord et al.*

Nível de ruído de fundo : 44 dB (a tarde) e 40 dB (a noite).

Faixa de variação: 30 dB

Sylvio Bistafa, *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*

Nível dia-e-noite

Calculado apartir dos níveis médidos a cada hora, fazendo a média para 24 h

$$L_{dn} = \left\{ \frac{1}{24} \left[\sum_{1}^{15} 10^{L_i/10} + \sum_{1}^{9} 10^{L_j/10} \right] \right\}$$

Tabela Exemplo 7.3 L_{eq} horário no ponto de interesse em uma comunidade																								
	Período diurno															Período noturno								
Hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
L_{eq} [dB(*A*)]	60	70	60	60	60	70	60	60	60	60	70	70	60	60	50	50	50	50	40	30	30	30	40	50

Aplicando a equação, obtemos L_{dn} = 63.5 dB

Esta grandeza foi introduzida pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) para avaliação de ruído em comunidades

Sylvio Bistafa, *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*

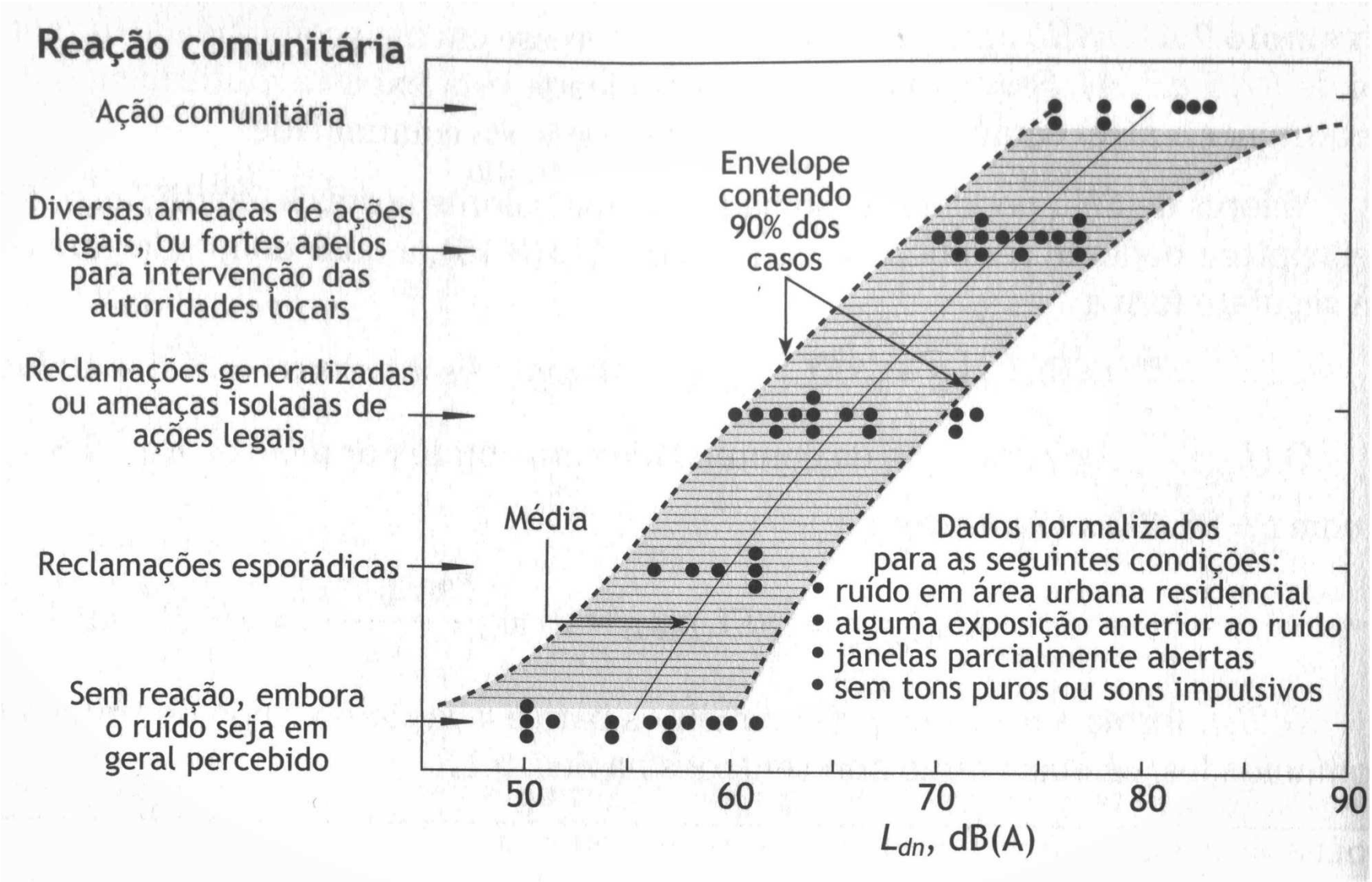
Uma forma mais simples de cálculo do nível dia-e-noite utiliza a expressão:

$$L_{dn} = 10 \cdot log\left(\frac{1}{24}\left[15 \times 10^{L_d/10} + 9 \times 10^{(L_n+10)/10}\right]\right)$$

onde L_d é o nível sonoro equivalente do período diurno e L_n é o nível equivalente do período noturno. Estes níveis equivalentes são calculados somando energeticamente os níveis medidos a cada hora:

$$L_{eq} = 10 \cdot log\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} n_i 10^{L_i/10}\right)$$

Avaliação do ruído em comunidades



Ref.: Bistafa, *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído* (Blücher, 2003) Seção 7.3

A *Agencia de Proteção Ambiental* dos EUA (EPA) adotou o **nível dia-e-noite** para avaliação da exposição de comunidades ao ruído. A EPA recomenda que o nível equivalente de 45 dB(A) não deve ser excedido no interior das habitações. Considerando-se uma diferença média de 15 dB entre o nível interno e externo, estando a habitação com as janelas abertas, obtém-se o nível-critério externo L_{eq} de 60 dB(A).

A EPA aplica então correções considerando outros fatores de perturbação, tais como a penalidade para ruídos noturnos, obtendo o **nível critério dia-e-noite** $\boldsymbol{L_{dn}}$ **= 55 dB(A)** em áreas residenciais.

Sabe-se, no entanto, que a maioria das áreas urbanas e suburbanas nos EUA encontram-se sujeitas a L_{dn} superiores a 55 dB(A).

Ref.: Sylvio Bistafa, *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído* (Editora Blücher, 2003) Seção 7.3

Normas da ABNT

No Brasil, a *Associação Brasileira de Normas Técnicas* estabelece em suas normas os níveis sonoros aceitáveis para os diversos ambientes, assim como o tempo máximo de exposição a ruídos intensos :

1 – Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Norma *NBR 10152 Acústica - Níveis de Pressão Sonora em Ambientes Internos e Edificações* (ABNT, 2017).

2 – Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Norma *NBR 10151 Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – Procedimento* (ABNT, 2000).

3 – Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Norma *NBR 15575 Desempenho de edificações habitacionais* (ABNT, 2013).

A norma NBR 10152 adota as **curvas NC** para estabelecer os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos. A Tabela indica a avaliação de ruído (**NC**) que deve ser atendida pelo ruído ambiente em diversos locais, bem como os valores dos níveis sonoros em dB(A).

Locais	NC	dB(A)
Hospitais: apartamentos, enfermarias	30 - 40	35 - 45
Escolas: salas de aula e laboratórios	35 - 45	40 - 50
Residências: dormitórios	30 - 40	35 - 45
Residências: salas de estar	35 - 45	40 - 50
Escritórios: projeto e administração	30 - 40	35 - 45

O valor inferior é o nível sonoro indicado para conforto, enquanto o valor superior é o nível indicado como aceitável.

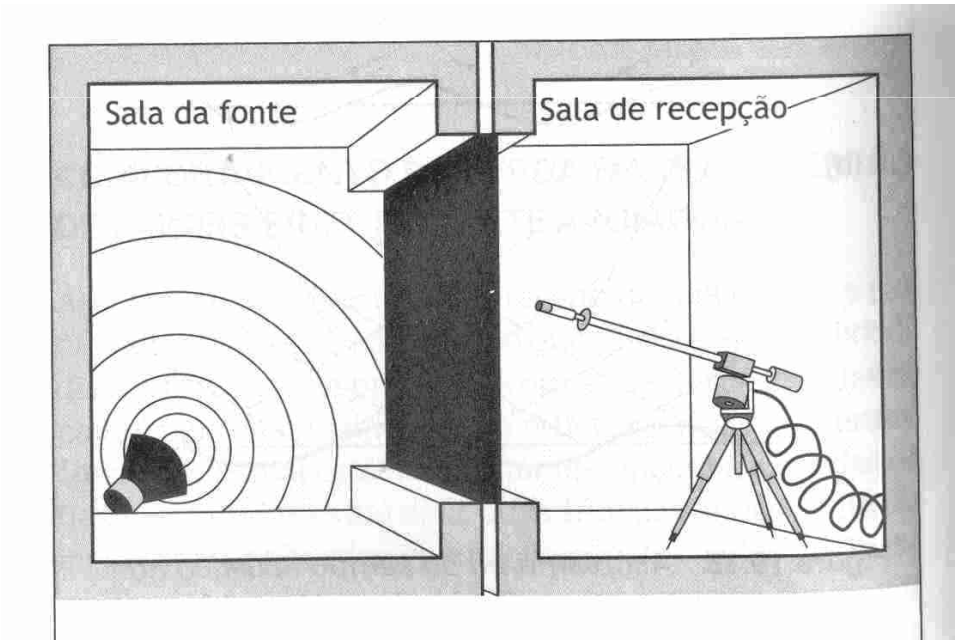
Ref.: Sylvio Bistafa, *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído* (Editora Blücher, 2003) Seção 7.4 e Ennio Cruz da Costa, *Acústica Técnica* (Editora Blücher, 2003) Seção 5.3

Atenuação sonora

(*Transmission loss, Indice d`affaiblissement, aislamiento*)

E uma medida da redução da energia sonora na transmissão através de materiais

Consideremos duas salas separadas por uma parede divisória. A primeira sala tem uma fonte sonora (ou uma fonte de ruído). A segunda sala é a sala de recepção sonora. Seja L_1 e L_2 os níveis sonoros das salas 1 e 2



Bistafa,*Acustica Aplicada;* Fischetti, *Initiation a l`Acoustique*

Atenuação sonora

(*Transmission loss, Indice d`affaiblissement, aislamiento*)

S = área da parede e *A* = absorção sonora na sala de recepção

$$TL = (L_1 - L_2) + 10 \cdot Log\left(\frac{S}{A}\right)$$

Coeficiente de transmissão sonora: $\tau = 10^{-TL/10}$

(1) o coeficiente de atenuação de uma parede de blocos de concreto é *TL* = 40 dB e $\tau = 10^{-4}$ (apenas 0.0001 da energia incidente é transmitida através da parede)

(2) Janela aberta: *TL* = 0 dB ($\tau = 1$)

Egan,*Architectural Acoustics;* Fischetti, *Initiation a l`Acoustique*

Atenuação sonora

(*Transmission loss, Indice d`affaiblissement, aislamiento*)

Para que uma conversação não seja percebida de um quarto a outro, o valor de *TL* das paredes deve ser ao menos 60 dB.

Com 50 dB, a conversação é audível mais inteligível

Com 30 dB a conversação é claramente percebida do outro quarto

Um vidro de 3 mm apresenta uma atenuação TL = 25 dB a 500 Hz. Essa atenuação aumenta 4 dB quando a massa do vidro é dobrada. Assim um vidro de 6 mm apresenta uma atenuação TL = 29 dB e um de 9 mm, uma atenuação TL = 33 dB.

Egan,*Architectural Acoustics;* Fischetti, *Initiation a l`Acoustique*

Exemplo

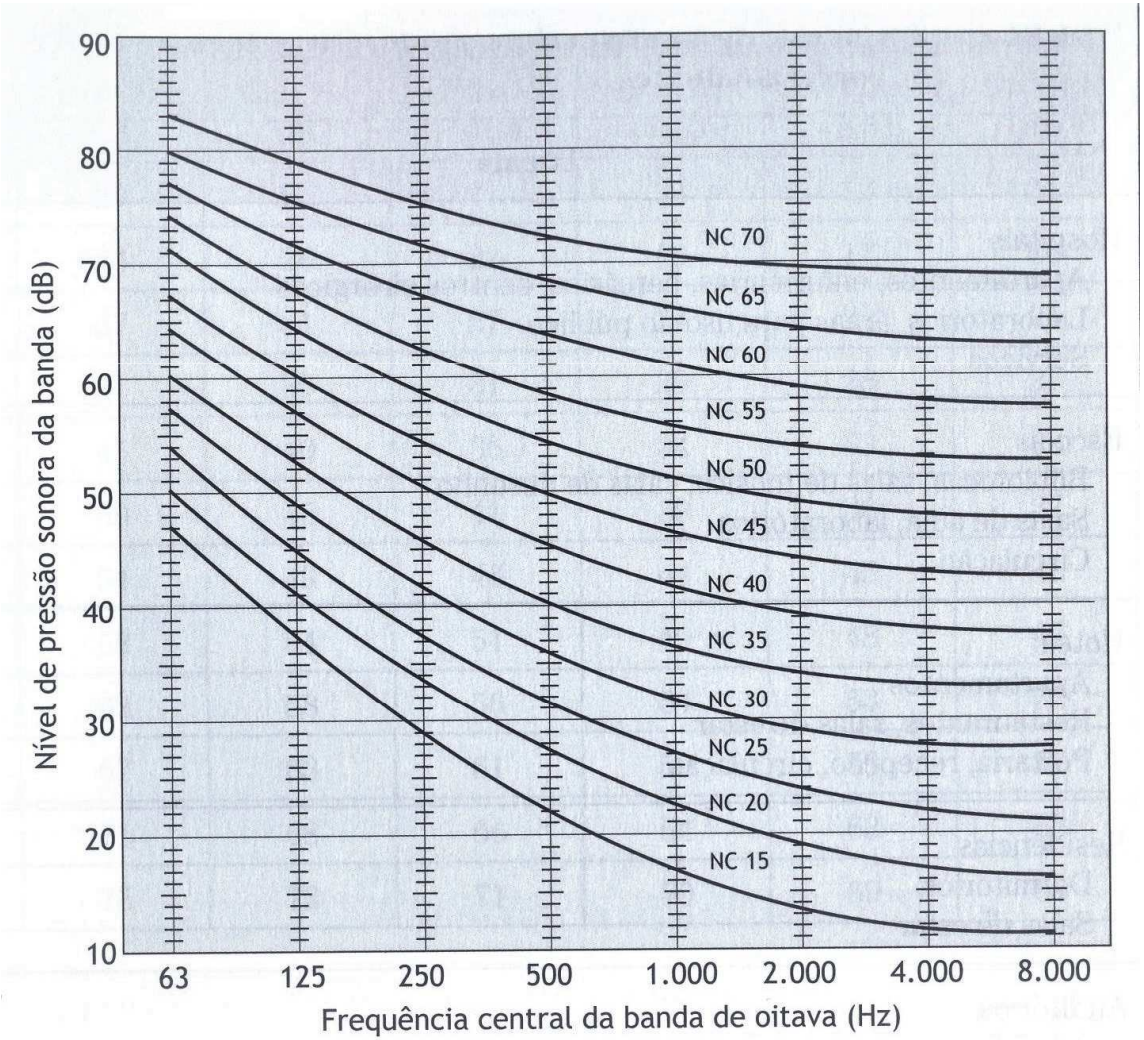
Muitas oficinas mecânicas possuem uma sala de descanso para os clientes aguardarem. A parede divisória entre elas tem 20 m por 4 m. O nível sonoro do ruído na oficina é $\boldsymbol{L_1}$ **= 85 dB** a 500 Hz. O nível sonoro na sala de descanso deve atender a curva de avaliação de ruído NC-45. Se a absorção sonora na sala de descanso for A = 430 sabins, determine a **atenuação sonora** da parede.

Adaptado de: Sylvio R. Bistafa. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. (Editora Edgard Blucher, 2011) Capitulo 10.

Avaliação do ruído em ambientes internos

No sentido de limitar os níveis de ruído em ambientes de ocupação humana, foram criadas as curvas – critério de ruído (*noise criteria curves*, **curvas NC**).

Para atender a *curva de avaliação de ruído* (NC) da norma 10152, o nível de ruído na sala de descanso a 500 Hz deve ser L_2 =49 dB



Ref.: Bistafa, *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído* (Editora Blücher, 2003)

Respostas

Nível de ruído na oficina L_1 = 85 dB

Nível de ruído na sala de descanso (atendendo a NC-45): L_2 =49 dB

Redução de ruído: NR = $L_1 - L_2$ = 85 – 49 = 36 dB

Área da parede divisória: $S = 20 \times 4 = 80$ m^2

Absorção sonora da sala de descanso: A = 430 sabins

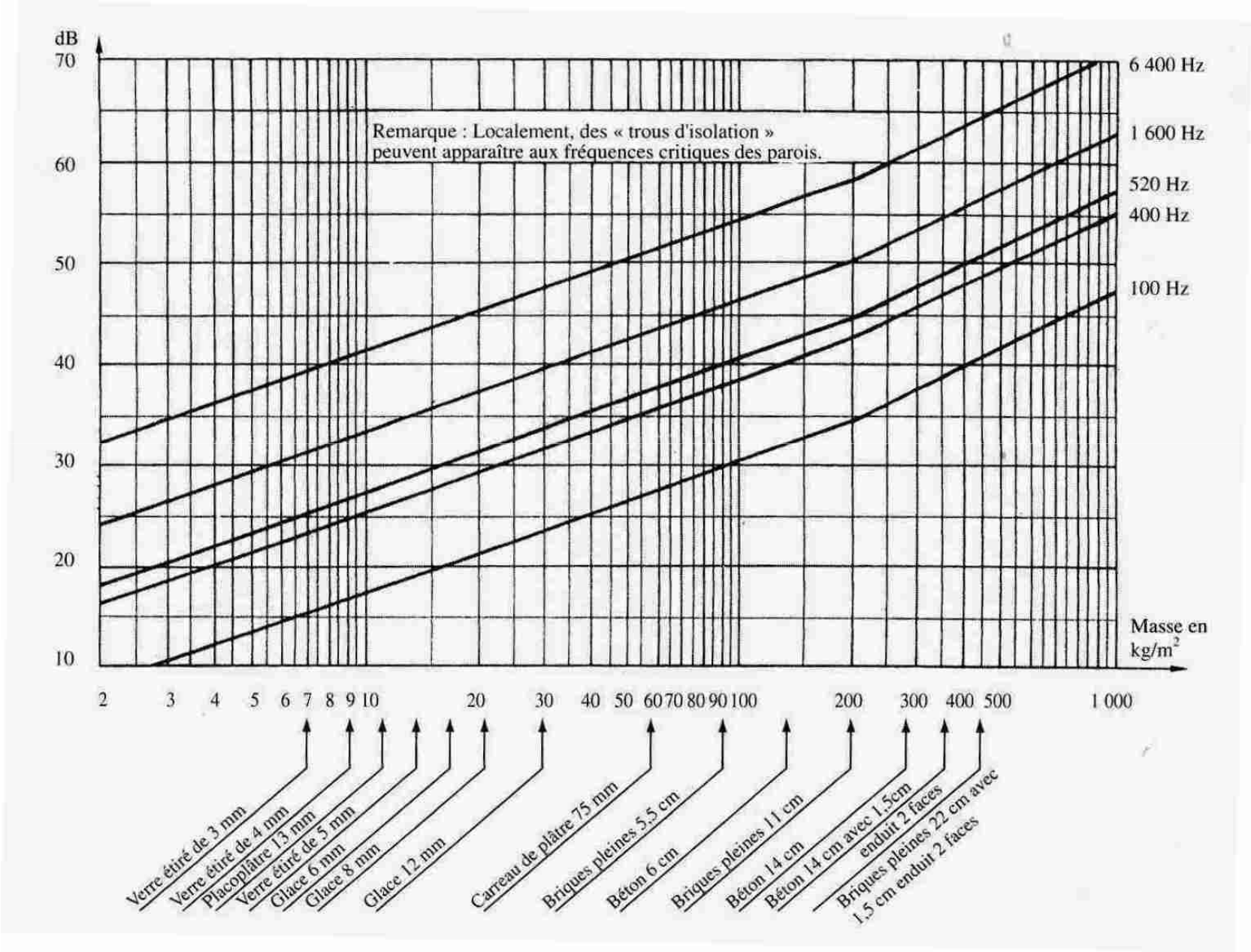
Atenuação sonora exigida para a parede divisória:

$$TL = (L_1 - L_2) + 10 \cdot log\left(\frac{S}{A}\right) = (85 - 49) + 10 \cdot log\left(\frac{80}{430}\right) = 28.7\ dB$$

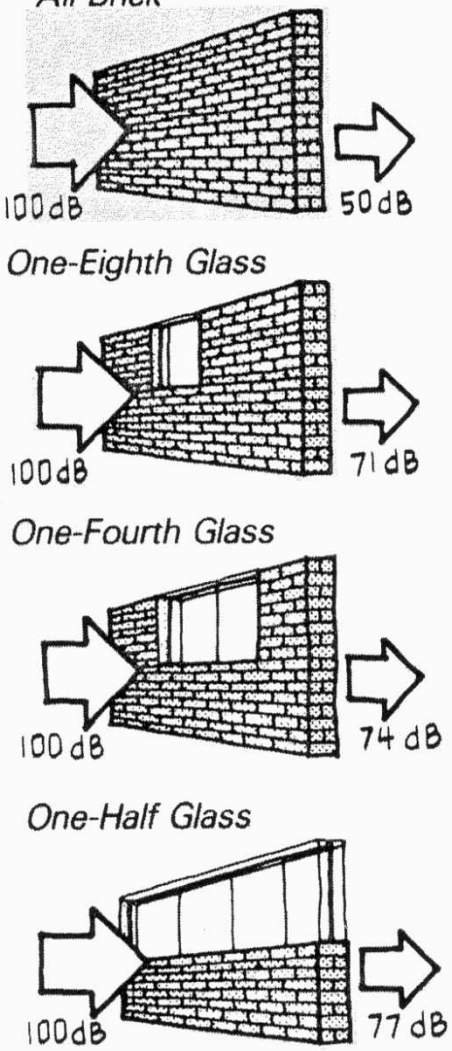
Adaptado de: Sylvio R. Bistafa. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. (Editora Edgard Blucher, 2011) Exemplo 10.7

Atenuação sonora (TL) de paredes

(Fischetti, *Initiation a l`Acoustique)*



Wall	Composite TL (dB)
All Brick	50
One-Eighth Glass	29
One-Fourth Glass	26
One-Half Glass	23



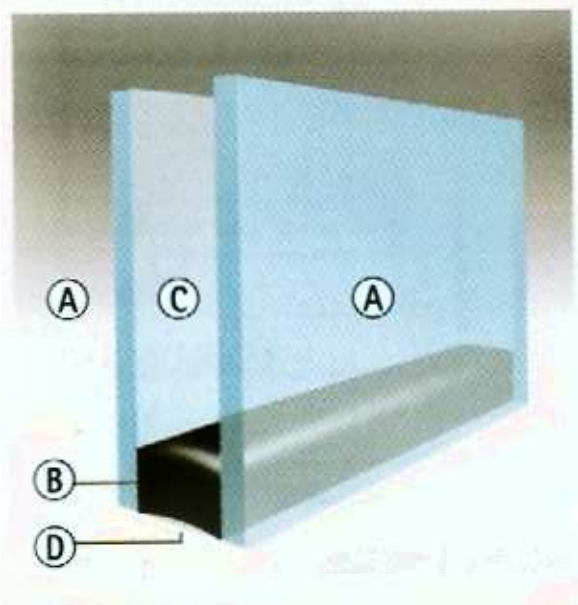
Atenuação

TL (em dB)

Egan, *Architectural Acoustics*

Exemplo: janela dupla

Considere uma janela dupla formada por um vidro de 3 mm (atenuação sonora TL_1 = **25 dB**), um segundo vidro de 5 mm (TL_3 = **28 dB**) separados por uma camada de ar (TL_2 = **0 dB**). Calcule o coeficiente de transmissão a atenuação do conjunto (TL).



Adaptado de Antonio Fischetti. *Initiation a l`Acoutique* (Belin, Paris, 2003). Chapitre 5.

Distinção entre absorção e isolação acústica

A **absorção sonora** ($A = \alpha \cdot S$) é utilizada principalmente para controle do tempo de reverberação de um recinto. Leva a uma redução do ruído de apenas uns poucos dB

A **isolação sonora**, medida através da atenuação (TL) é utilizada para impedir que o ruído de um recinto se transmita para um recinto contíguo.

Exemplos:

1 - Material absorvente poroso com $\alpha = 0.9$ e $\tau = 0.1$. Neste caso TL = $10 \cdot \log(1/\tau) = 10$ dB. Embora o coeficiente de absorção sonora α seja alto, a atenuação TL é muito baixa. Logo, temos um bom absorvente sonoro é um ineficiente isolador acústico.

2 – Estrutura densa e reflexiva, com $\alpha = 0.03$ e $\tau = 0.0005$, o que dá TL = 33 dB. Trata-se de um material isolante razoável, porém um absorvente muito pobre.

Sylvio Bistafa, *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*

Materiais isolantes acústicos: impedem a transferência do ruído de um ambiente para outro. São materiais densos e pesados, como tijolo maciço, pedras lisas, gesso, madeira e vidros com espessura mínima de 6 mm

Fornecedores de materiais acústicos

Ciasul (www.ciasul.com.br)

Forros de lã de vidro e de PVC, pisos, Drywall e portas acústicas

Poli PMI (www.polipmi.com.br)

Espumas e borrachas

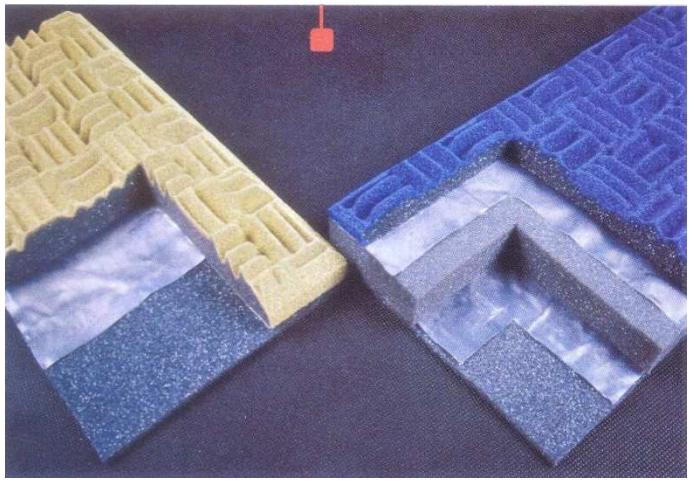
Sonex (owa.com.br)

Forros acústicos

Fonac materiais acústicos (sonoflex,com)

Absorção acústica e isolamento acústico

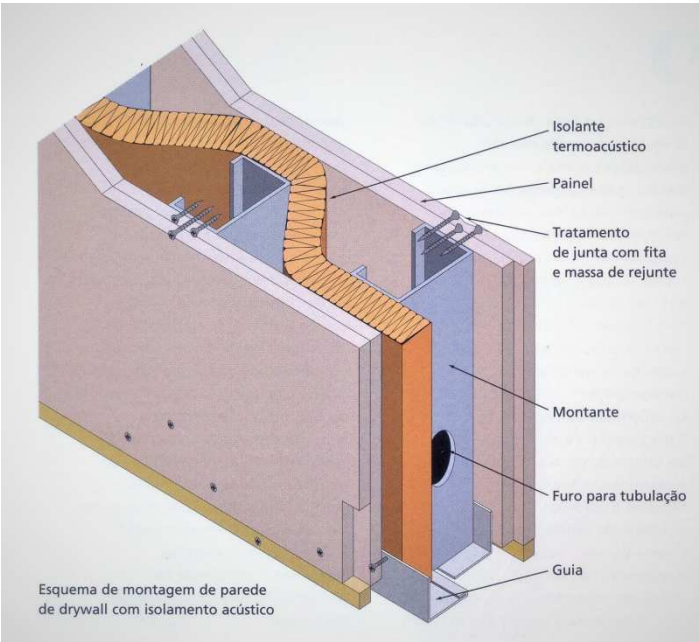
Linha *Ultima Artcustic* da **Poli PMI** é composta de poliuretano e chumbo. Pode revestir qualquer tipo de superfícies curvas e planas, e dispensa o uso de estruturas.



O *Sonex PB* da **Illbruck-Sonex**, é indicado para tratamento de portas e paredes e para reforçar isolamento de máquinas. As placas, de 50 x 50 cm e 40 mm de espessura, são compostas de espuma de poliuretano de 36 kg/m^3 de densidade, com lençol de chumbo de 0.3 mm.

Juliana Nakamura. *Silêncio Confortáve*l. Revista *Arquitetura & Urbanismo*, Ano 19, número 119 (fevereiro 2004) pág. 56

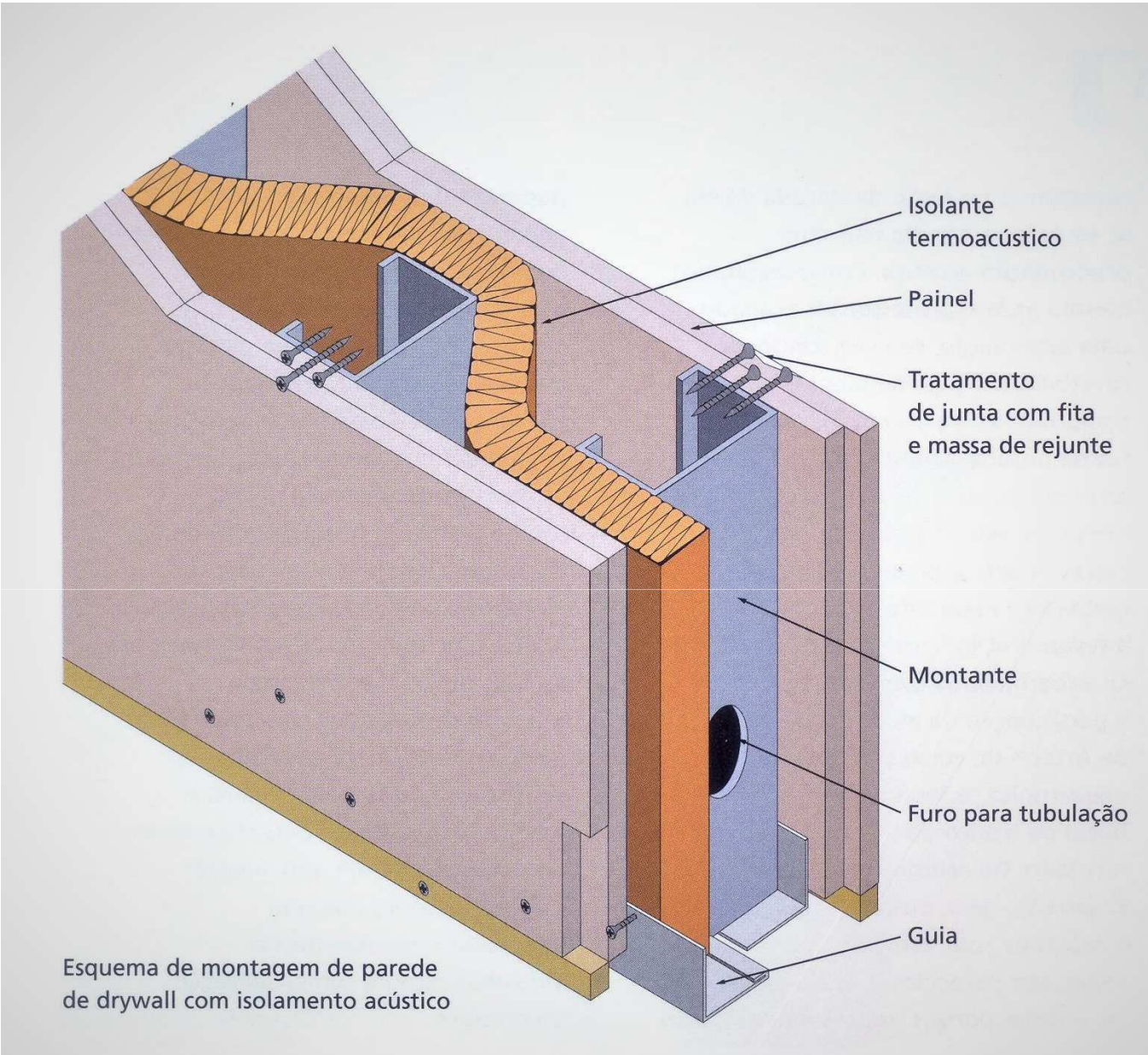
A base de vinil de alta densidade, o *Fonac Barrier* da **Sonoflex** têm 2.5 mm de espessura e é fornecido em rolos, indicado para aplicação em Drywall, divisórias, forros e revestimento de tubulações.



Esquema de montagem de parede de drywall com isolamento acústico

Drywall: constituído por perfis de aço galvanizado e revestido com placas de gesso, formando um sandwích que permite a introdução de lã mineral no seu interior.

Juliana Nakamura. *Silêncio Confortáve*l. Revista *Arquitetura & Urbanismo*, Ano 19, número 119 (fevereiro 2004) pág. 56



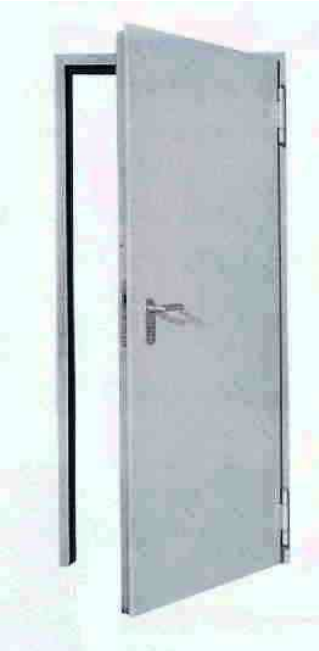
Esquema de montagem de parede
de drywall com isolamento acústico

Juliana Nakamura. *Silêncio Confortáve*l. Revista *Arquitetura & Urbanismo*, Ano 19, número 119 (fevereiro 2004) pág. 56

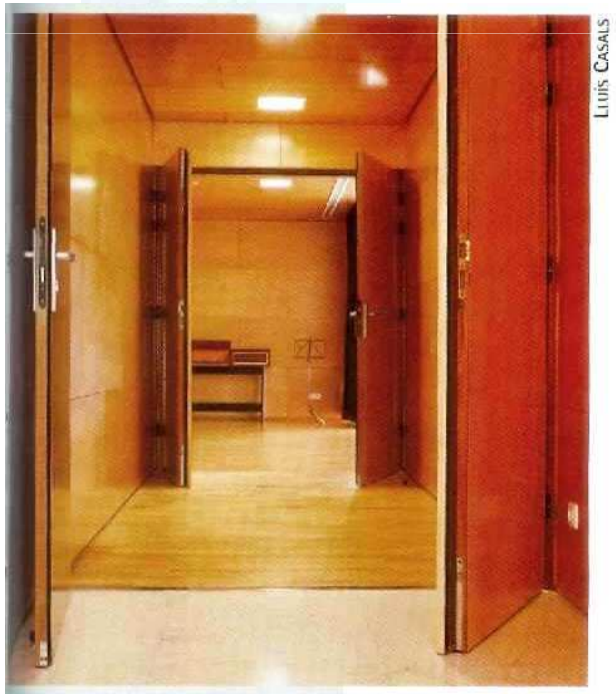
Atenuação sonora

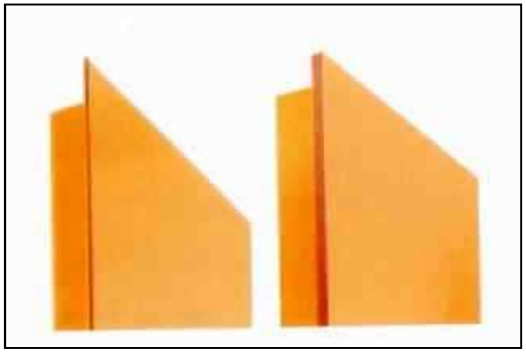
Painel fono-isolante de aço para fachadas fabricado con aço galvanizado de 0.5 mm preenchido com de lã de vidro de densidade superior a 140 kg/m^3.
Bom isolamento térmico: de 0.22 a 0.68 W/ m^{2}K Bom isolamento acústico: 33 dB

Fabricante Arval Arcelormittal, Navarra España (www.srval-construction.es)



Portas acústicas: fabricadas pela Ciasul, com chapas de aço carbono, proporcionam isolações a partir de 25 dB. Indicadas para estúdios de gravação, escritorios e casas de máquinas. (www.ciasul.com.br)



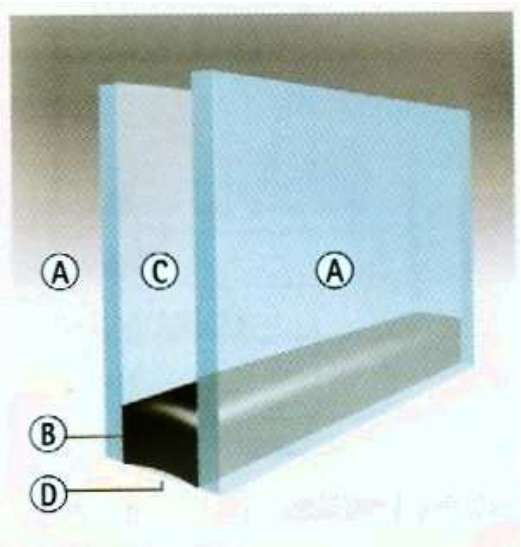


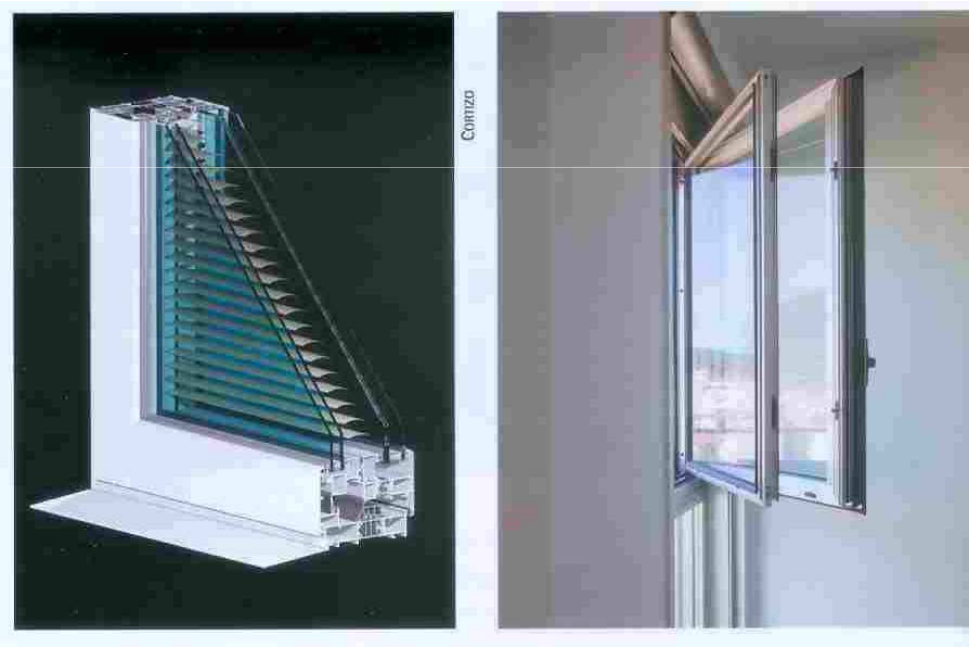
Revista Tectônica, vol. 37 *Aislamiento acústico*
Revista Tectônica, vol. 14 *Acústica*

Atenuação sonora: *janelas duplas*

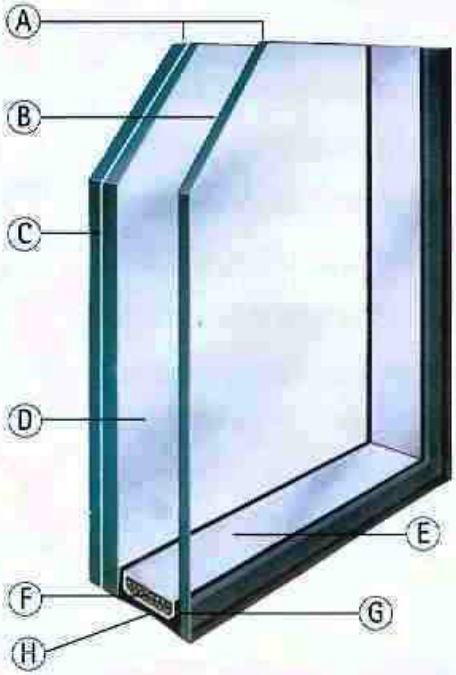
Este conjunto consiste em dois vidros separados por uma camada de ar. A superposição de vários paneis produz um coeficiente de transmissão total:

$\tau = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 \times \tau_4 \ldots$, com $\tau_i = 10^{-TL/10}$





Bistafa, *Acústica Aplicada*. Fischetti, *Initiation a l`Acoustique*
Revista Tectonica, vol. 37 (ATC Ediciones, Madrid)



Los diferentes elementos del vidrio Iplus E/Ipaphon mejoran sus prestaciones acústicas.
A- Acristalamiento con disposición asimétrica. B- Revestimiento de baja emisividad. C- Capa de aislamiento acústico. D- Cámara de gas. E- Separador. F- Desecante. G- Sellante primario (butilo). H- Sellante secundario (polisulfuro o poliuretano).

Janelas

Vidro de isolamento térmico (U entre 0.5 y 1.3 W/ m^2K) e isolamento acústico (37 a 52 dB).
Cámara de gás: ar, argonio ou kriptonio.

Fabricante Interpane Glass Industrie, Lauenförde, Alemanha (www.interpanr.net)

Para el auditorio de Helsinki (Finlandia) se empleó un vidrio triple.

Revista Tectônica, vol. 37 *Aislamiento acústico*

Referências bibliográficas

• *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*, Sylvio Bistafa (editora Edgard Blucher, 2011)

• *Initiation a l`Acoustique*. Antonio Fischetti (Belin Paris, 2003)

• *Architectural Acoustics. M.D. Egan (J. Ross, 2007)*

• *Tratado Fundamental de Acustica em la Edificación.* Luis Jesús Arizmendi (Universidad de Navarra, 1980)

•*The Science and Appl. of Acoustics*. D. R. Raichel. (Springer, 2006)