

FIGURA 30: Isolamento de vidro laminado duplo; espessura total de 18/19 mm (PUJOLLE, 1978, p.521)

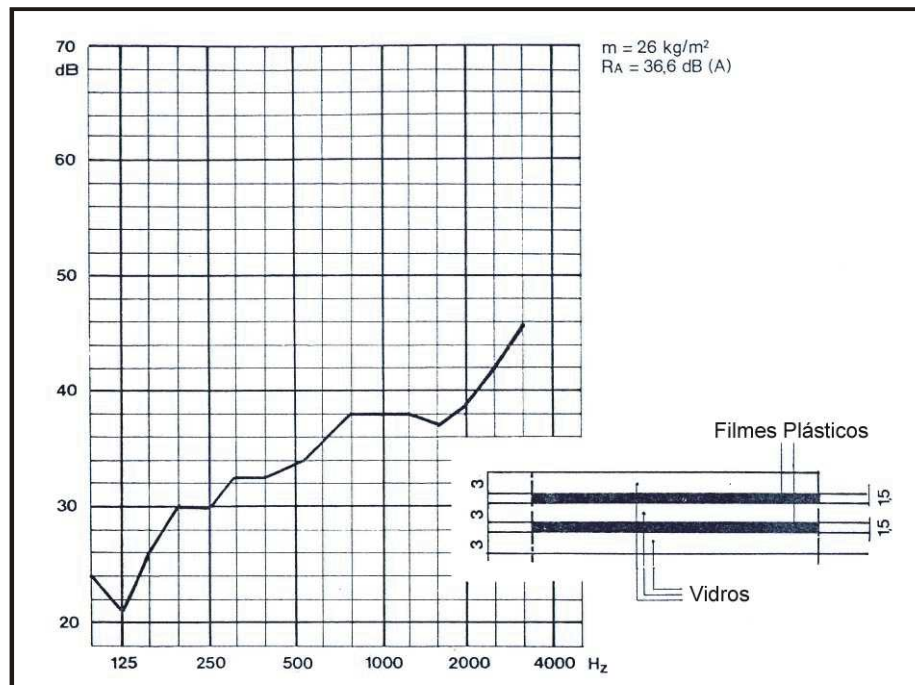


FIGURA 31: Isolamento de vidro laminado triplo; espessura total de 12 mm (PUJOLLE, 1978, p.521)

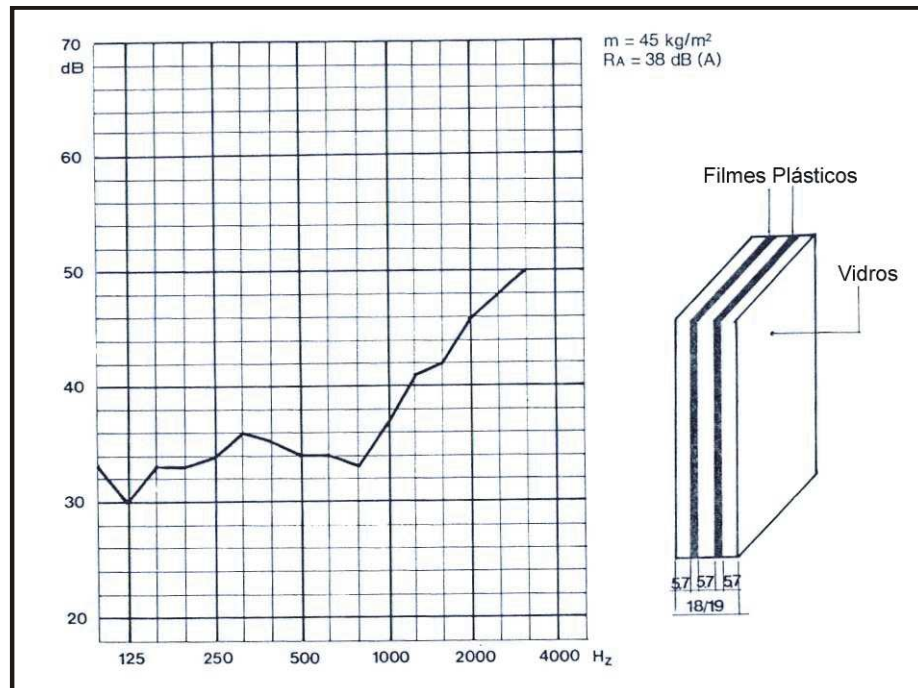


FIGURA 32: Isolamento de vidro laminado triplo; espessura total de 18/19 mm (PUJOLLE, 1978, p.520)

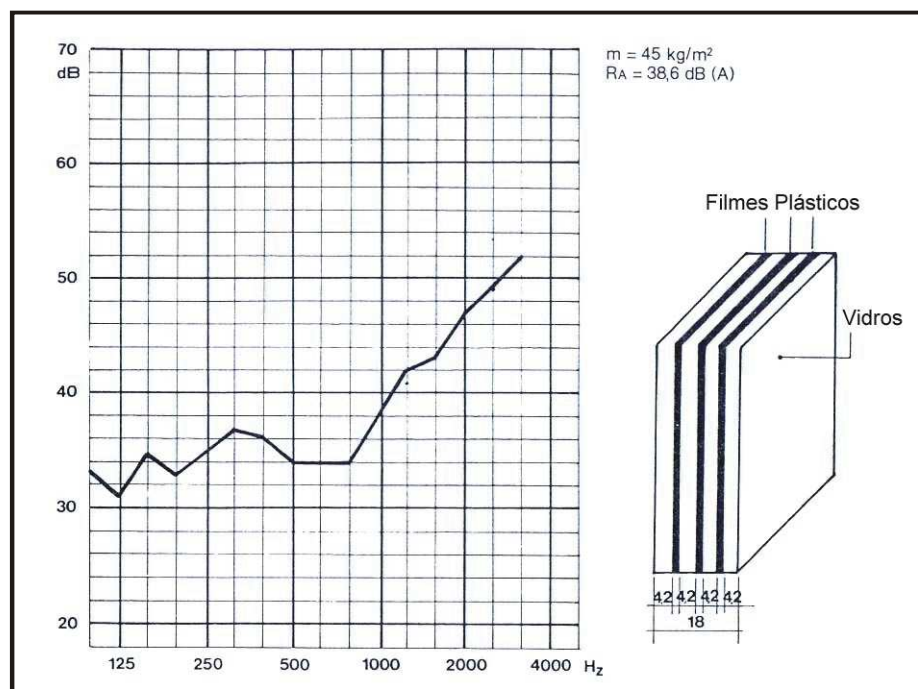


FIGURA 33: Isolamento de vidro laminado com 4 vidros; espessura total de 18 mm (PUJOLLE, 1978, p.519)

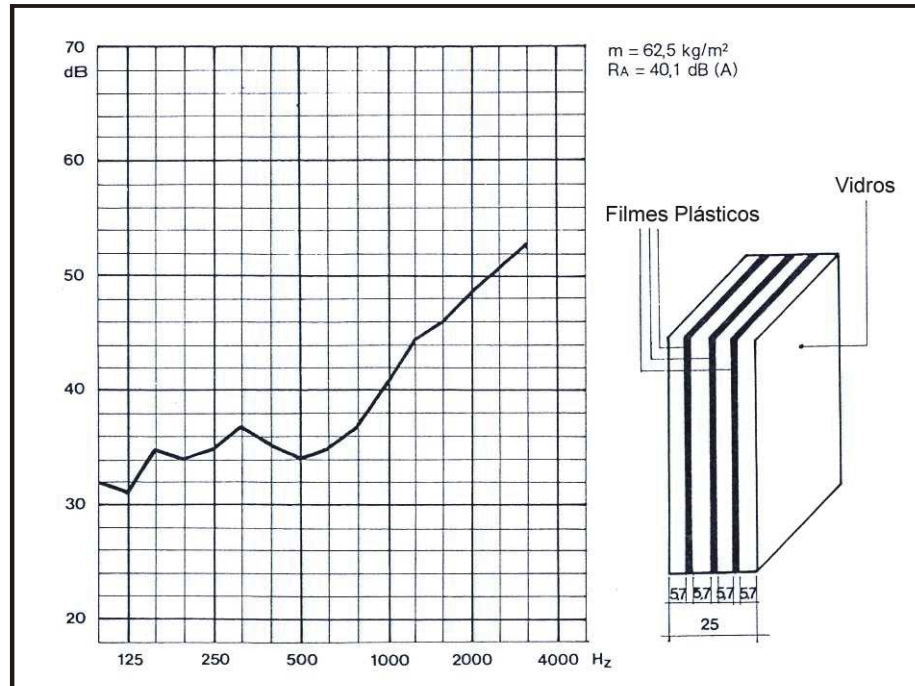


FIGURA 34: Isolamento de vidro laminado com 4 vidros; espessura total de 25 mm (PUJOLLE, 1978, p.518)

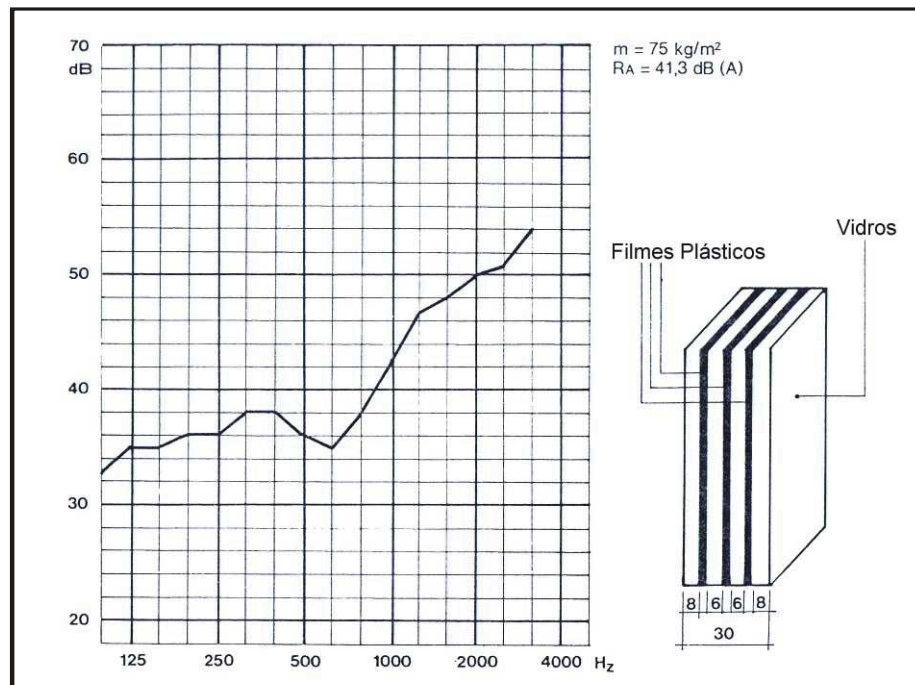


FIGURA 35: Isolamento de vidro laminado com 4 vidros; espessura total de 30 mm (PUJOLLE, 1978, p.518)

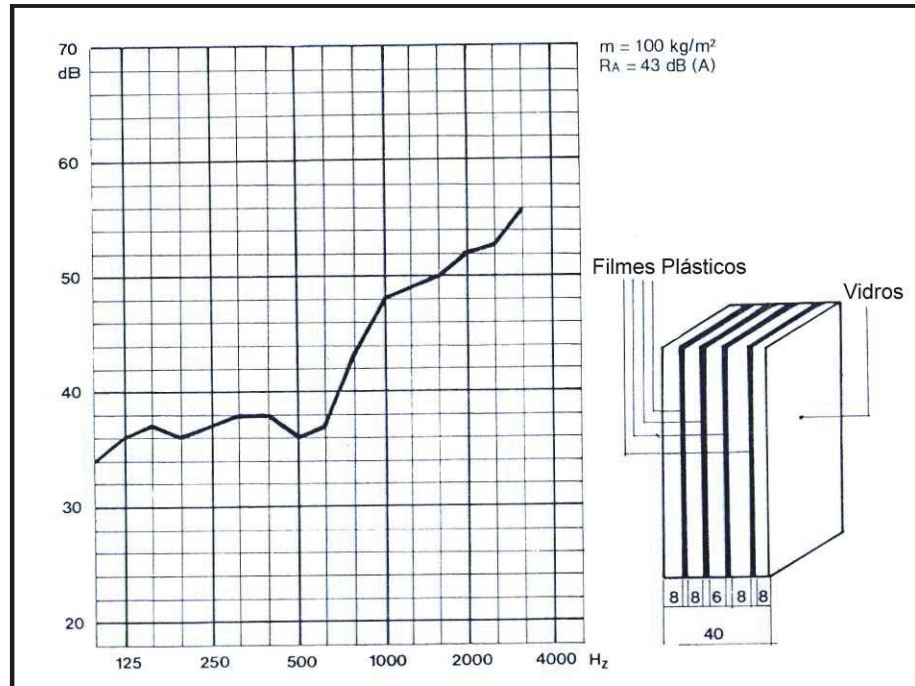


FIGURA 36: Isolamento de vidro laminado com 4 vidros; espessura total de 40 mm (PUJOLLE, 1978, p.517)

### 2.6.3 Vidro laminado especial acústico

Segundo o que apresenta a empresa SAINT-GOBAIN GLASS (2000), existem, atualmente, vidros laminados especiais com propriedades acústicas, compostos de dois ou mais vidros monolíticos colados entre si por um ou mais filmes de PVB acústico específico. Este filme especial de PVB garante uma melhora na performance de isolamento do vidro, principalmente em torno da frequência crítica, tanto em vidros simples como em vitrages duplas.

Em comparação a vidros de espessuras iguais, monolíticos ou laminados, o ganho médio de isolamento de um vidro especial acústico, é de 2 a 5 dB, sendo que pode chegar a 10 dB na zona de frequência crítica. A Tabela 07 apresenta algumas composições de vidros laminados especiais acústicos, com seu respectivo peso e índice de redução acústica  $R_w$ , segundo testes realizados no laboratório do Centro de Desenvolvimento Industrial da Saint-Gobain Glass, conforme ISO 717.

TABELA 07 – Vidro laminado especial acústico.

Produto	Espessura (mm)	Massa Superficial (Kg/m <sup>2</sup> )	Rw (dB)
(3 + 3 .1)*	6	15,5	36
(4 + 4 .1)*	8	20,5	37
(5 + 5 .1)*	10	25,5	38
(3 + 3 .2)*	7	16,0	36
(4 + 4 .2)*	9	21,0	37
(5 + 5 .2)*	11	26,0	38
6 + 4 .2)*	11	26,0	38
(6 + 6 .2)*	13	31,0	39
(4 + 4 .4)*	10	21,5	37

\* (espessura 1º vidro comum + espessura 2º vidro comum . nº de filmes de PVB entre os vidros)

Fonte: SAINT-GOBAIN GLASS, 2000, p. 552.

O gráfico a seguir é um comparativo de performance acústica entre diferentes tipos de vidros com a mesma espessura, ao longo de todo o espectro de frequências.

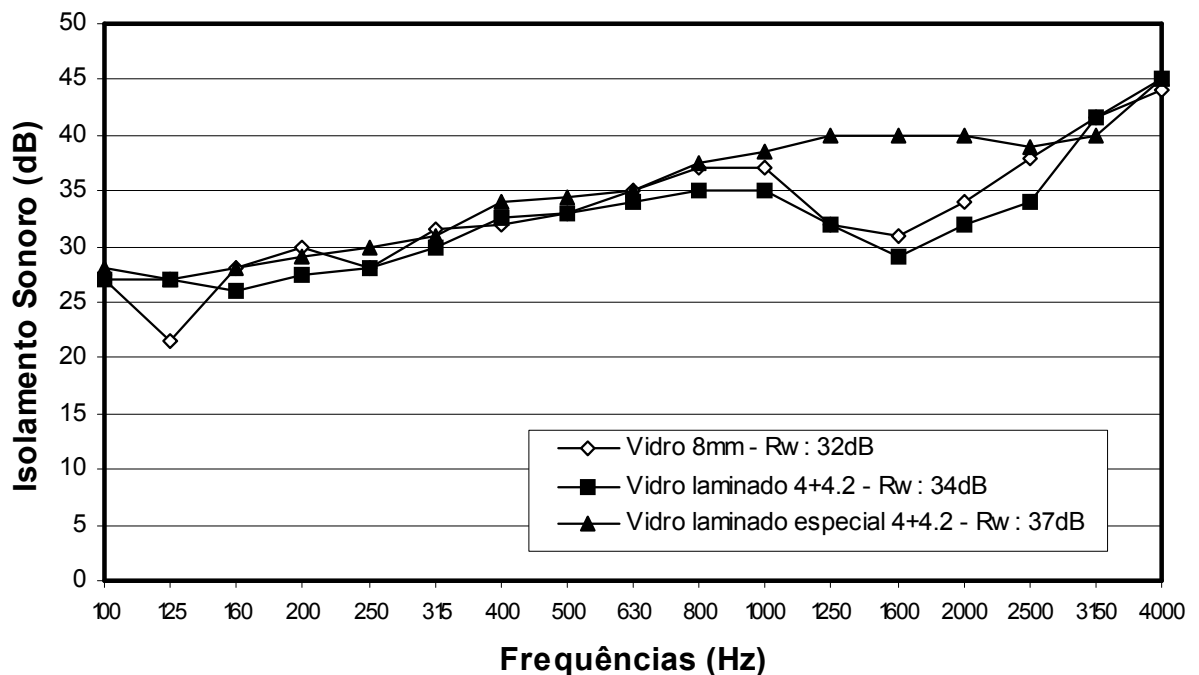


FIGURA 37: Isolamento de envidraçados com 8 mm (SAINT-GOBAIN GLASS, 2000, p.31)

#### 2.6.4 Vidro temperado

O vidro temperado é um vidro que foi alvo de um tratamento térmico de reforço, aumentando consideravelmente a sua resistência contra as tensões mecânicas (flexão, choques, etc.) e de origem térmica (diferenças de temperatura), sem alterar as propriedades espectrofotométricas do produto base.

A resistência aos choques de um vidro temperado aumenta aproximadamente seis vezes em relação ao vidro comum. Já a tensão de ruptura à flexão é da ordem de 120 MPa, contra 40 MPa de um vidro comum. Por essas características, são largamente utilizados como vidros de segurança, em portas, tampos de mesa, etc.

Quanto às características de isolamento acústico, não consta referências sobre possíveis melhorias em relação aos vidros monolíticos comuns.

#### 2.6.5 Vidros duplos

Segundo PUJOLLE (1978, p.247), para aumentar o isolamento acima de 30 dB(A), sem aumentar a massa, é interessante realizar a composição de dois vidros separados por uma camada de ar. A curva de isolamento dos painéis duplos muda em relação aos vidros simples, uma vez que há uma frequência de ressonância  $f_0$  do sistema massa-mola-massa e uma frequência crítica  $f_c$  para cada elemento da vitragem. A curva padrão representada na Figura 38 refere-se a uma vitragem dupla composta de vidros de 6 mm e 8 mm de espessura, separados por 13 mm de camada de ar.

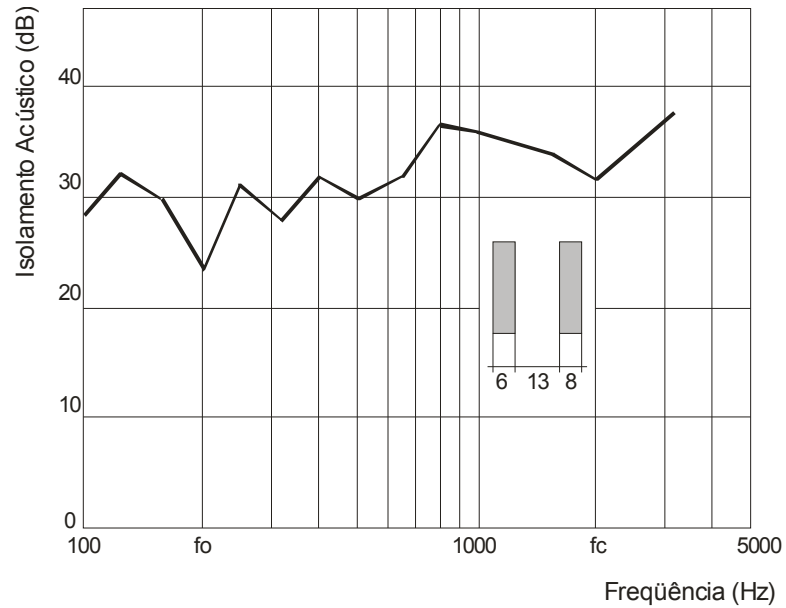


FIGURA 38: Curva padrão de isolamento de uma vitragem dupla (PUJOLLE, 1978, p.247, Adaptado)

A frequência de ressonância do sistema massa-mola-massa para vidros duplos é dada pela fórmula (PUJOLLE, 1978, p. 247 e 248):

$$f_0 = 1200 \sqrt{\frac{1}{d} \left( \frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} \right)} \quad (16)$$

Onde:

$d$  = espessura da camada de ar (mm)

$e_1, e_2$  = espessura dos vidros (mm)

Ou, se  $e_1 = e_2$  (as espessuras são iguais):

$$f_0 \cong \frac{1700}{\sqrt{d \times e}} \quad (17)$$

A Figura 39, a seguir, apresenta graficamente a variação de isolamento de uma vitragem dupla composta por vidros de 4 mm e 7 mm, em função do intervalo de ar que os separa.

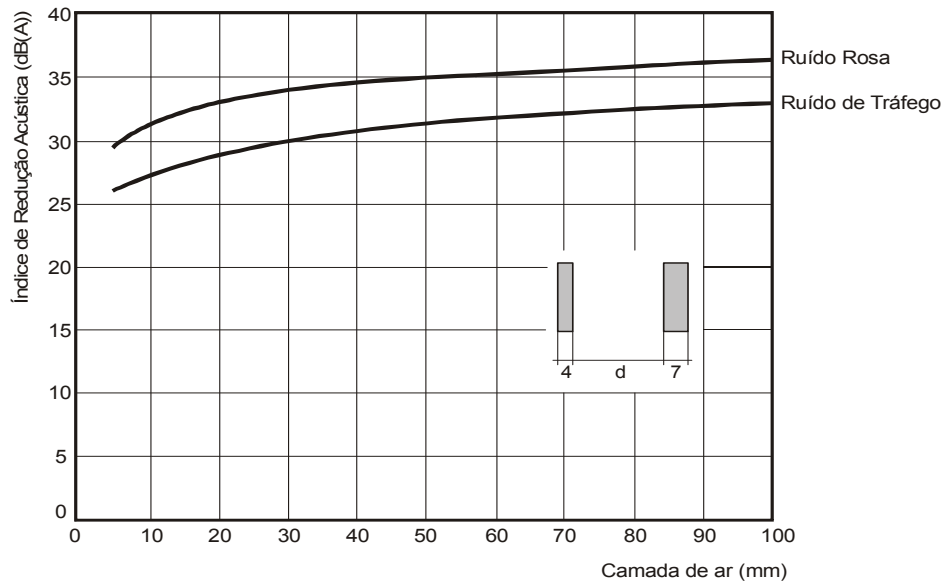


FIGURA 39: Variação do isolamento de uma vitragem dupla em função do intervalo de ar que separa os dois elementos (PUJOLLE, 1978, p.249, Adaptado)

Diversas informações podem ser extraídas desse estudo (PUJOLLE, 1978, p. 248):

- O isolamento acústico aumenta relativamente rápido com a espessura da lamina de ar, quando a mesma é pequena. Para um  $d=6$  mm, o isolamento é nitidamente inferior ao de uma vitragem simples de espessura equivalente. Já ao dobrar o intervalo de ar, há um aumento de 2 dB(A) para ruído rosa e de 1,5 dB(A) para ruído de tráfego.
- A partir de um intervalo de 40 mm, o aumento de isolamento acontece mais lentamente. Ao aumentarmos o afastamento para 100 mm, há um acréscimo de isolamento de 1,5 dB(A) para ruído rosa e de 2 dB(A) para ruído de tráfego.
- A diferença entre os dois tipos de isolamento (ruído rosa e ruído de tráfego) é de 1,5 dB(A) para vitragens simples. Essa diferença passa por um máximo de 4,2 dB(A) para vitragens duplas com intervalos de 10 mm a 20 mm, diminuindo para 3,1 dB(A) em 100 mm de afastamento. Isto se deve a posição da frequência de ressonância  $f_0$ , em torno de 200 Hz, onde o isolamento para ruído de tráfego é mais desfavorável.

Nos experimentos realizados por TADEU (2001, p.321), com vidros duplos de 4 mm e 8 mm de espessura, separados por 10 mm e 100 mm de camada de ar, confirma-se o melhor desempenho quando há maior afastamento entre os vidros. O autor salienta que a performance



da composição com 10 mm de camada de ar é inferior ao esperado para um vidro simples de massa igual a soma dos dois elementos constituintes do vidro duplo.

Outro caso relevante levantado por TADEU (2001, p.322) é a solução testada com dois vidros de mesma espessura, no caso de 4 mm, separados por 10 mm de ar. Nesta amostra, ocorre a coincidência das frequências críticas dos dois vidros, com uma queda muito acentuada de isolamento. Devido a isto, a redução acústica de um vidro simples de 4 mm ( $R_w = 29$  dB) é maior que o obtido neste tipo de composição ( $R_w = 28$  dB).

Ainda segundo os estudos de TADEU (2001, p.322), foram testados espaçamentos crescentes entre vidros de 4 mm e 8 mm. Constatou-se que os índices de redução acústica tiveram os menores valores quando a camada de ar ficou entre 10 mm e 30 mm, que são, curiosamente, os afastamentos mais utilizados em soluções com vidros duplos. Somente quando o espaçamento supera os 50 mm é que começam a existir ganhos significativos de isolamento. Isto se deve, como já mencionado anteriormente, ao aparecimento da frequência de ressonância  $f_0$  quando temos pequenos espaçamentos.

Os gráficos a seguir demonstram o desempenho acústico de diferentes composições de vidros duplos, ao longo de todo o espectro de frequências, segundo ensaios realizados por PUJOLLE (1978). Vale ressaltar que os valores são relativos a montagens em caixilhos fixos, com  $2,0$  m<sup>2</sup> de área e que o tratamento de dados utilizado foi o isolamento global em dB(A).

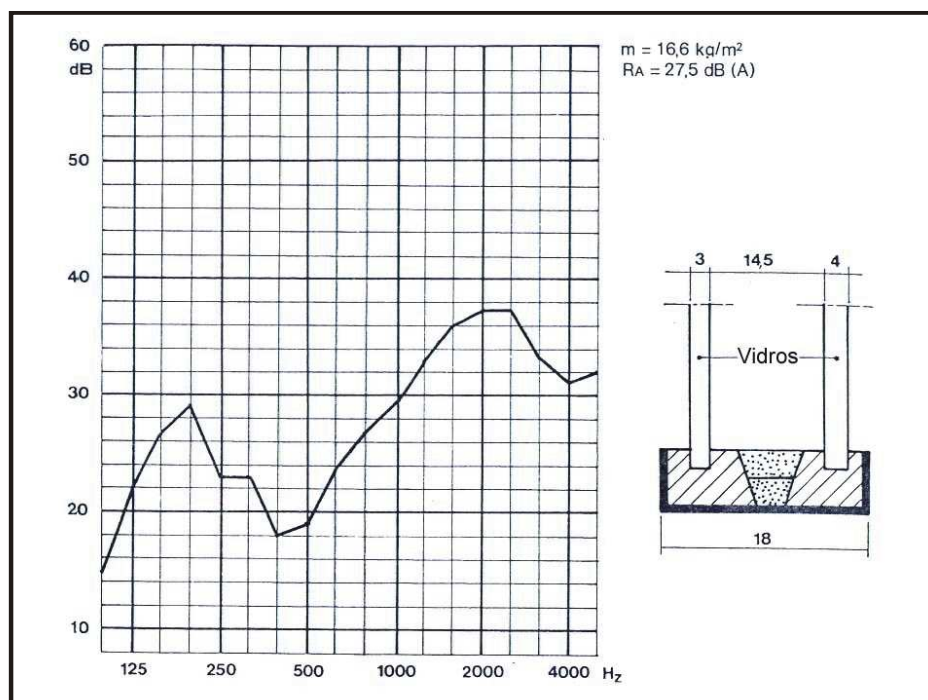


FIGURA 40: Isolamento de vitragem dupla (PUJOLLE, 1978, p.532)

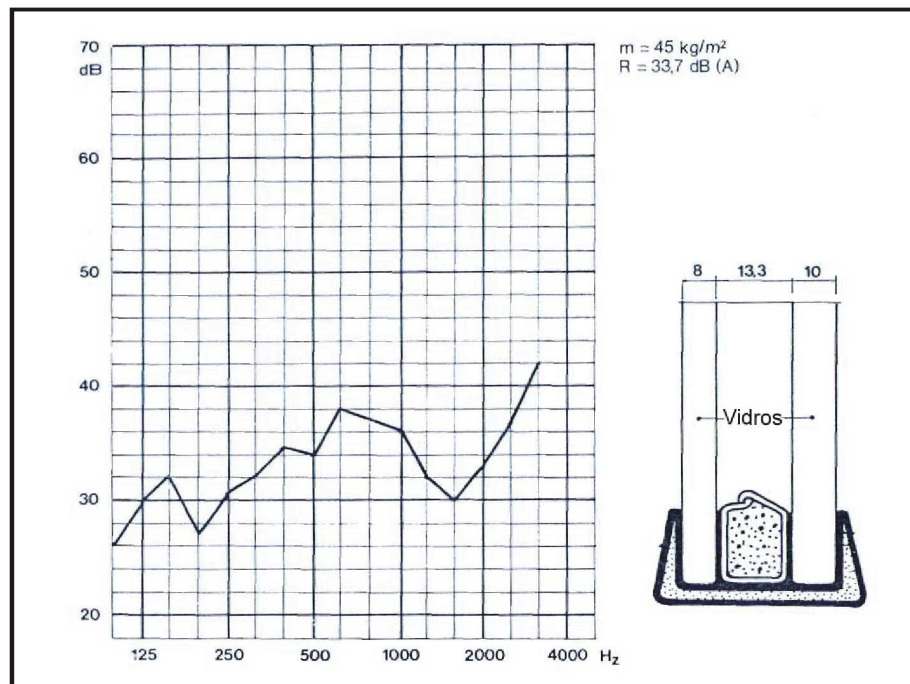


FIGURA 41: Isolamento de vitragem dupla (PUJOLLE, 1978, p.526)

Outros resultados referem-se aos vidros duplos fabricados pela Saint-Gobain Glass, segundo um processo que garante perfeita estanqueidade e altos níveis de performance. Este consiste em colocar entre os dois vidros uma camada de ar desidratado ou um gás que melhora o isolamento. Entre os vidros há um espaçador de alumínio no qual estão contidos agentes desidratantes. A união e estanqueidade são realizados com mastiques, segundo a Figura 44.

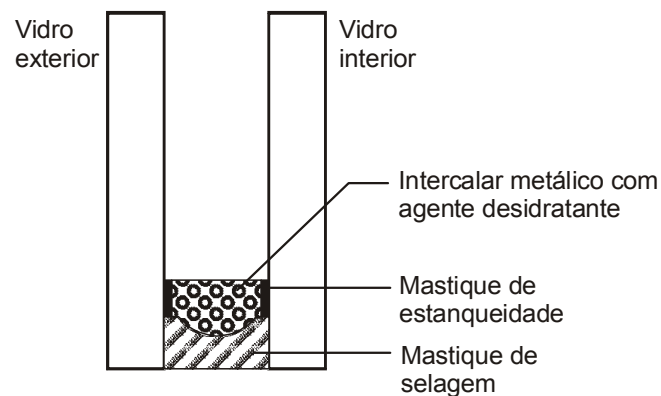


FIGURA 42 - Composição dos vidros duplos (SAINT-GOBAIN GLASS, 2000, p. 299).

A Tabela 08 apresenta algumas composições fabricadas de vidros duplos, utilizando vidros monolíticos comuns, com seu respectivo peso, espessura total e índice de redução acústica  $R_w$ , conforme ISO 717.

TABELA 08 – Vidros duplos.

<b>Produto</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Massa Superficial (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>R<sub>w</sub> (dB)</b>
4 (6) 4*	14	20,0	30
4 (8) 4*	16	20,0	30
4 (10) 4*	18	20,0	30
4 (12) 4*	20	20,0	30
4 (15/16) 4*	23/24	20,0	30
4 (15) 5*	24	22,5	33
5 (12) 5*	22	25,0	32
6 (12) 6*	24	30,0	33
6 (15/16) 6*	27/28	30,0	33
8 (12) 8*	28	40,0	34
8 (15/16) 8*	31/32	40,0	34

\* Espessura 1º vidro comum (espessura camada de ar) espessura 2º vidro comum.

Fonte: SAINT-GOBAIN GLASS, 2000, p. 572

Os gráficos das Figuras 43 e 44 demonstram o desempenho acústico de algumas dessas composições de vidros duplos, ao longo de todo o espectro de frequências. Vale ressaltar que todos os resultados apresentados foram de medições realizadas no laboratório do Centro de Desenvolvimento Industrial da Saint-Gobain Glass. Para ensaios realizados com as mesmas amostras em diversos laboratórios pode-se obter diferenças consideráveis, uma vez havendo divergência entre áreas de amostra, procedimentos de ensaio, etc.

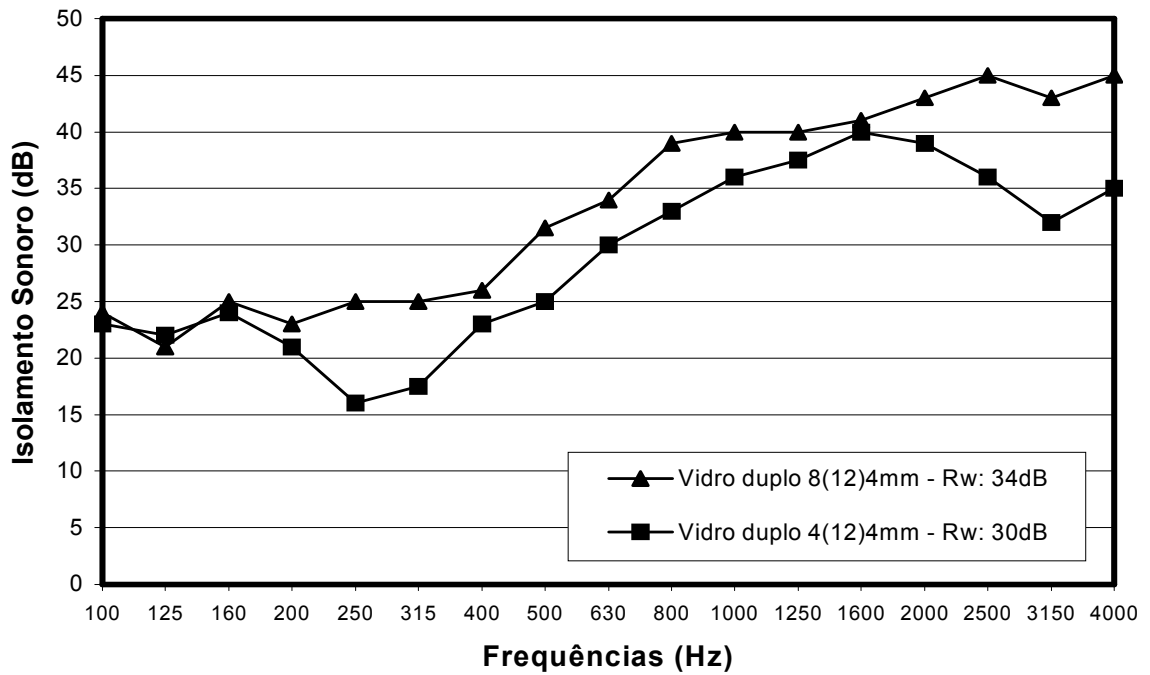


FIGURA 43: Isolamento de vidros duplos (SAINT-GOBAIN GLASS, 2000, p.31)

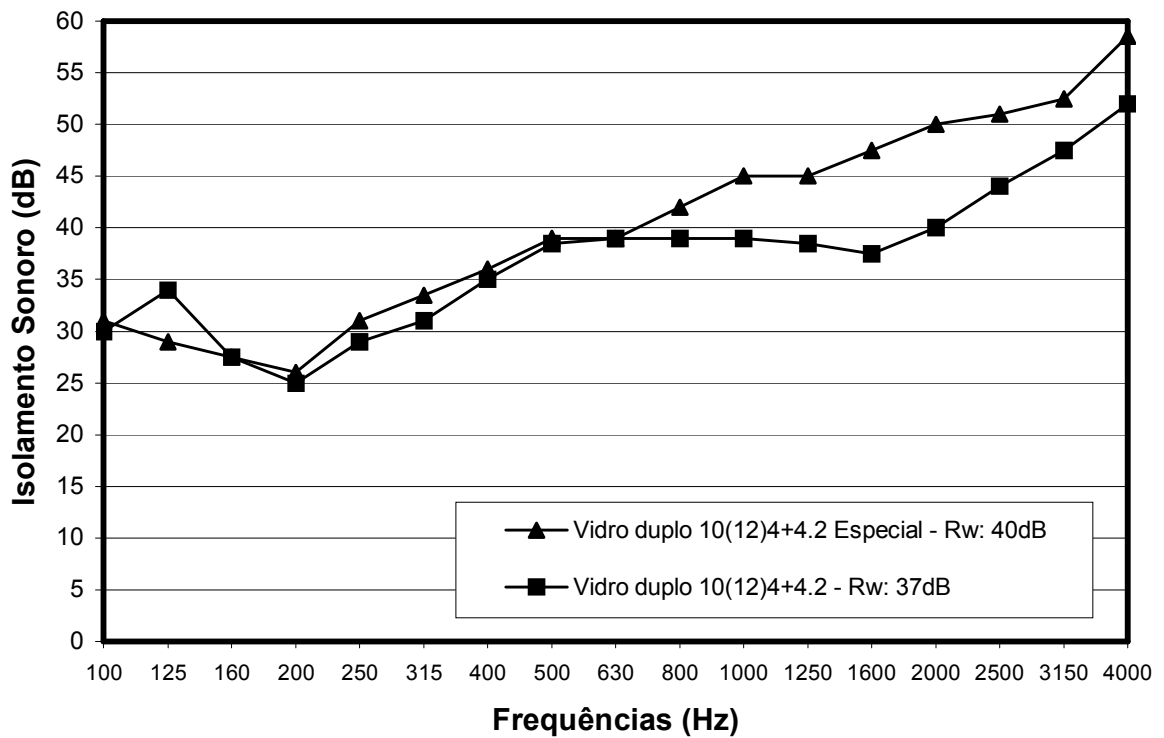


FIGURA 44: Isolamento de vidros duplos (SAINT-GOBAIN GLASS, 2000, p.105)

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a pesquisa baseou-se na realização de ensaios no Laboratório de Termo Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, de acordo com os procedimentos especificados pela Norma Internacional ISO 140/III e Projeto de Norma Brasileira 02:135.01-001.

#### 3.1 Materiais ensaiados

##### 3.1.1 Os vidros

Os vidros ensaiados foram os abaixo especificados, possuindo todos dimensão de 100 x 100 cm:

- Vidro monolítico comum, liso, transparente, de espessura 3 mm;
- Vidro monolítico comum, liso, transparente, de espessura 4 mm;
- Vidro monolítico comum, liso, transparente, de espessura 5 mm;
- Vidro monolítico comum, liso, transparente, de espessura 6 mm;
- Vidro monolítico comum, liso, transparente, de espessura 8 mm;
- Vidro temperado, liso, transparente, de espessura 6 mm;
- Vidro temperado, liso, transparente, de espessura 8 mm;

- Vidro laminado, liso, transparente, constituído de dois vidros comuns de 3 mm cada e um filme de butiral de polivinil, totalizando uma espessura de 6 mm;
- Vidro laminado, liso, transparente, constituído de dois vidros comuns de 4 mm cada e um filme de butiral de polivinil, totalizando uma espessura de 8 mm.

### **3.2 Equipamentos utilizados**

O Laboratório de Termo Acústica da UFSM possui uma série de equipamentos destinados à realização de diferentes ensaios acústicos. Para os ensaios de isolamento sonoro a ruído aéreo, são utilizados os seguintes equipamentos, conforme as especificações do fabricante (BRUEL & KJAER, 1989):

- Fonte sonora Tipo 4224;
- Microfone com boom rotativo Tipo 3923;
- Analisador acústico Tipo 4418;
- Calibrador Tipo 4230 (94 dB em 1.000 Hz, com desvio de  $\pm 3$  dB);
- Analisador climático.

### **3.3 Características do Laboratório de Termo Acústica da UFSM**

O Laboratório de Termo Acústica – LaTA, da UFSM, possui as câmaras reverberantes, de emissão e recepção, para ensaio de isolamento acústico a ruído aéreo, construídas em concreto armado, com paredes de 30 cm de espessura e com volumes de 60 e 67 m<sup>3</sup>, respectivamente, totalmente apoiadas sobre isoladores de neoprene. São construídas de forma a não apresentarem paralelismo entre nenhuma das faces, conforme Figura 45. Apresentam um pórtico de concreto de 55 cm de largura entre as salas, com um vão livre de 4,10 m de largura, por 3,20 m de altura, criando um vão de abertura de 13,12 m<sup>2</sup> para colocação da amostra a ser ensaiada. Além disso, possuem portas duplas, constituídas de chapa de aço de 12,7 mm de espessura, com 1,2 x 2,2 m de vão livre e vedação acústica com borracha em todo o seu contorno, para garantir perfeita estanqueidade.

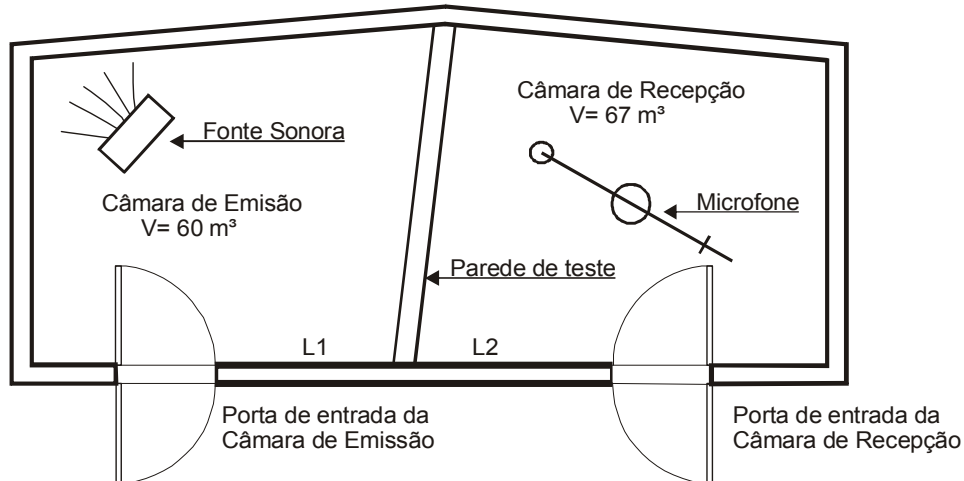


FIGURA 45: Câmaras reverberantes do LaTA para ensaio de isolamento sonoro.

Foi executado por SANTOS & MUTTI (1991), um trabalho de qualificação das câmaras reverberantes do Laboratório de Termo Acústica da UFSM, determinando a repetibilidade das medidas de isolamento sonora, seguindo as diretrizes definidas pela Norma Internacional ISO 140/II. Este trabalho apresentou resultados favoráveis, considerando aceitável a precisão das instalações e o procedimento de ensaio do laboratório, qualificando-o como operacional para prestação de serviços à comunidade científica e empresarial.

### 3.4 Considerações sobre a Norma Internacional ISO 140/III

A Norma Internacional ISO 140/III especifica um método laboratorial para medição do isolamento sonoro aéreo de componentes das edificações, como paredes, pisos, portas, janelas, fachadas e elementos de fachada. Os resultados obtidos podem ser usados para projetar elementos construtivos com propriedades acústicas apropriadas, comparar as propriedades de isolamento sonoro dos elementos de construção e classificar cada elemento de acordo com suas propriedades de isolamento sonoro.

A norma especifica recomendações gerais a serem seguidas para a realização dos ensaios e define que cada laboratório deverá determinar um procedimento de medição que a atenda.

Dentre as recomendações mais importantes, destacam-se as seguintes:

- a) Câmaras reverberantes: os volumes e formas das duas salas de ensaio não podem ser exatamente iguais. Os volumes das salas devem ser, no mínimo, iguais a 50 m<sup>3</sup> e uma diferença de, no mínimo, 10% entre as salas;
- b) Amostras de ensaio: as áreas de abertura para a realização dos ensaios em laboratório devem ser de aproximadamente 10 m<sup>2</sup> para paredes e entre 10 m<sup>2</sup> a 20 m<sup>2</sup> para pisos, sendo que o comprimento das bordas não deve ser inferior a 2,3 m, tanto para pisos como para paredes. Deve-se ter o cuidado de instalar a divisória de ensaio de modo mais similar possível com a construção real em obra (condições de vedação e juntas normais);
- c) Campo sonoro na sala emissora: o som gerado na sala emissora deve ser estacionário e apresentar espectro constante. Devem ser usados filtros com bandas de, pelo menos, 1/3 de oitava;
- d) Determinação da absorção equivalente: o termo de correção contendo a área de absorção equivalente deve ser obtido preferencialmente através do tempo de reverberação medido, conforme a norma ISO 354, usando a fórmula de Sabine.
- e) Precisão: é requerido que o procedimento de medição forneça repetibilidade satisfatória, de acordo com o método mostrado na norma ISO 140/II.

### 3.5 Ensaios laboratoriais realizados

Para a avaliação do isolamento sonoro de diferentes tipos e espessuras de vidros, em composições simples e formando vitragem dupla, objeto de estudo desta pesquisa, foi primeiramente construída uma parede de alvenaria dividindo as câmaras de emissão e recepção. Esta parede é constituída de blocos cerâmicos furados, rebocados dos dois lados, totalizando uma espessura de 20 cm. Segundo SILVA (2000, p.76), uma parede de vedação deste tipo atinge um  $R_w = 43$  dB. No centro da parede deixou-se uma abertura de aproximadamente 103 x 103 cm, onde foram afixados os caixilhos de alumínio que deram suporte à colocação dos diferentes vidros a serem ensaiados, conforme o que ilustra a Figura 46.





FIGURA 46: Parede de alvenaria e caixilho para colocação dos vidros testados.

A fixação e estanqueidade dos caixilhos foi realizada com silicone. Nos vidros foi utilizada uma das formas mais empregadas na construção civil: uso de espuma em fita autocolante no caixilho e mangueira transparente entre o vidro e a gola de vedação. Este sistema se mostrou eficiente e de rápida e fácil execução, aspectos relevantes para a realização dos ensaios. Mesmo assim, um teste comparativo foi realizado usando o silicone como forma de vedação dos vidros, obtendo-se resultados compatíveis com o método adotado.

Deste modo, primeiramente foram realizados os ensaios de isolamento sonoro de cada tipo e espessura de vidro individualmente.

A partir dos dados obtidos e do conhecimento do comportamento de cada amostra em todas as frequências medidas, foram realizados diversos ensaios com vitragens duplas. Esses arranjos duplos foram compostos de vidros de diferentes tipos ou espessuras, conforme situações consideradas mais favoráveis, relacionadas com aspectos econômicos ou de melhor performance. Cada composição dupla foi ensaiada com espaçamentos crescentes entre os vidros, que variaram de 20 mm a 150 mm, o que permitiu avaliar a influência da camada de ar entre os elementos. A Figura 47, a seguir, mostra a colocação das duas esquadrias para a realização destes ensaios.



FIGURA 47 – Ensaio de vitragem dupla.

### 3.5.1 Procedimentos gerais

O procedimento de medição segue as seguintes diretrizes gerais:

- Área de amostra: 13,12 m<sup>2</sup> para a parede divisória entre as salas de emissão e recepção, e 1,06 m<sup>2</sup> para a abertura onde serão colocados os caixilhos e vidros;
- Tipo de ruído: rosa, filtrado em bandas de 1/3 de oitava;
- Posição da fonte sonora: em dois cantos diferentes, opostos a amostra de ensaio;
- Distâncias mínimas: o afastamento do microfone deve ser de, no mínimo, 1,0 m da fonte sonora, da amostra e das superfícies da câmara;
- Número e posições do microfone: para cada amostra são feitas três medições em cada frequência e calculado a média aritmética. Será utilizado um microfone rotativo de raio de varredura igual a 1,20 m.
- Método adotado para determinar a absorção equivalente: pelo tempo de reverberação, de acordo com a Norma Internacional ISO 354. Área de absorção equivalente determinada com base em três leituras do tempo de reverberação em cada posição.

### 3.5.2 Execução dos ensaios

Para a execução dos ensaios com os materiais de amostra, foram realizadas as seguintes medições:

- Nível de pressão sonora: por meio da fonte sonora, o ruído é gerado na câmara de emissão, por faixas de frequência de terços de oitava, centradas nas frequências de 100 Hz a 4.000 Hz. O analisador acústico de sinais realiza duas medições do nível de pressão sonora: na câmara de emissão e na de recepção, registrando tais valores na memória;
- Ruído de fundo: o ruído de fundo é medido na câmara de recepção pelo analisador acústico de sinais e seu valor deve ficar, no mínimo, 15 dB abaixo do valor do nível de pressão sonora medido na câmara, em todas as frequências;
- Tempo de reverberação: o ensaio inclui a determinação dos tempos de reverberação na câmara de recepção, em cada frequência, por meio do analisador acústico de sinais, tendo em vista quantificar a absorção sonora nessa câmara.

Todos os valores são medidos em cada uma das faixas de frequências de terço de oitava consideradas. Com essas medições, o *Índice de Redução Acústica* (R) ou *Perda de Transmissão* (PT), é calculado pelo analisador acústico, de acordo com a expressão:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left( 6,15 \cdot \frac{S \cdot T}{V} \right) \quad (18)$$

Onde:

**L<sub>1</sub>** : NPS medido na câmara de emissão (dB)

**L<sub>2</sub>** : NPS medido na câmara de recepção (dB)

**S** : Área da amostra ensaiada (m<sup>2</sup>)

**T** : Tempo de reverberação medido na câmara de recepção (s)

**V** : Volume da câmara de recepção (m<sup>3</sup>)

### **3.6 Avaliação dos resultados**

A partir da realização de todos os ensaios, foi possível quantificar a capacidade de isolamento (em dB), em todas as frequências medidas, de cada vidro individualmente e de cada composição de vitragem dupla com diferentes espaçamentos.

Também foi realizado o tratamento destes dados com a finalidade de se obter valores únicos representativos do isolamento, conforme procedimentos descritos no item 2.4. Assim, foram quantificados o Isolamento Global em dB(A) e o Índice de Redução Acústica  $R_w$  em dB, de cada ensaio realizado.

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS

Neste capítulo serão exibidos, através de tabelas e gráficos, os resultados mais relevantes dos ensaios de isolamento acústico realizados com as amostras.

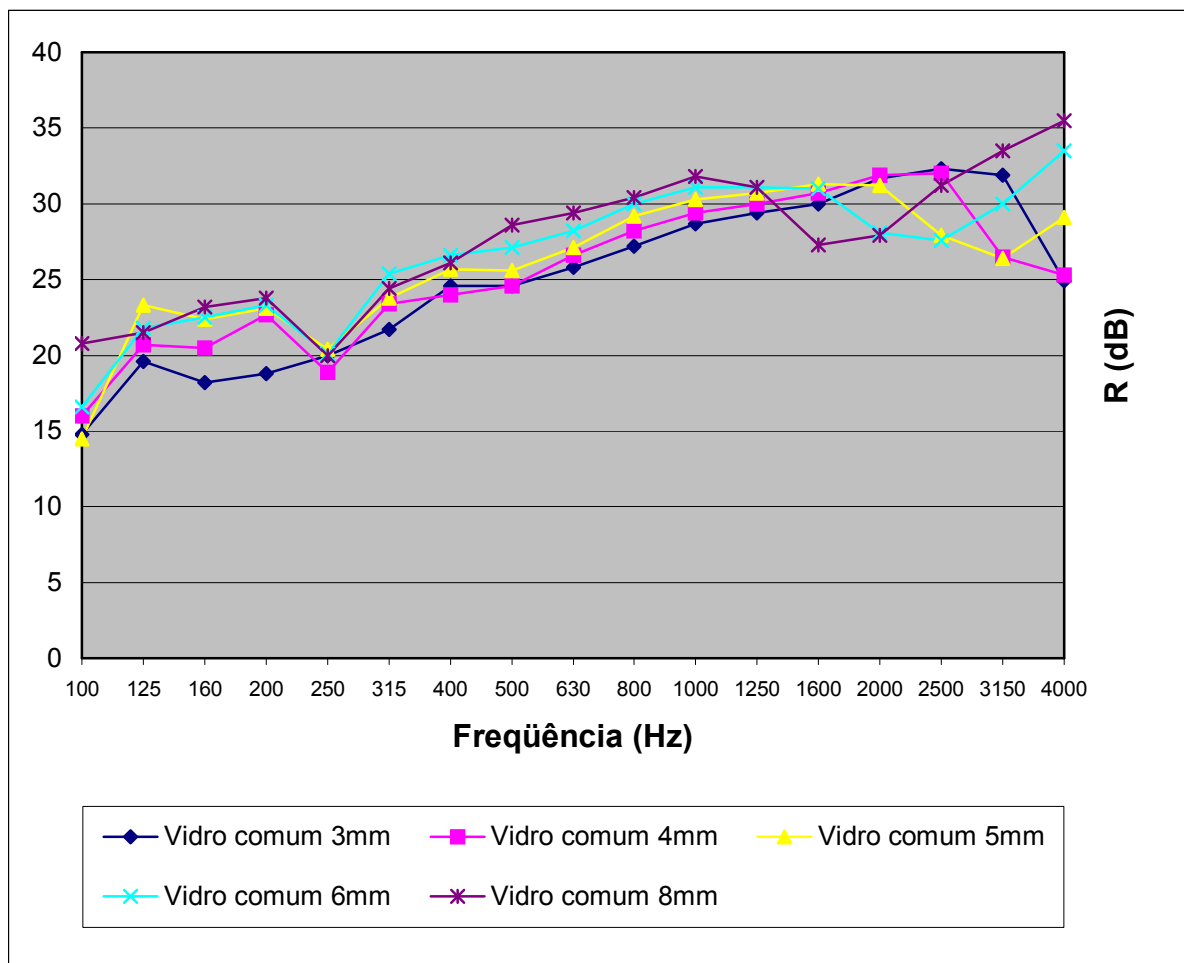
Foram agrupados os resultados dos vidros simples; vidros duplos com 20 mm; 50 mm; 100 mm e 150 mm de afastamento, informando-se os valores **R<sub>w</sub>** (dB) e **R** (dB(A)). No Anexo 1 são detalhados todos os ensaios realizados, com as características da amostra e os valores de R (dB) para cada frequência medida. No Anexo 2 são apresentadas imagens das câmaras e de alguns ensaios.

#### 4.1 Vidros simples

Os resultados dos ensaios realizados com os diferentes tipos e espessuras de vidros individualmente, que foram objeto de uma primeira análise deste trabalho, encontra-se na Tabela 09, que apresenta para cada ensaio os números únicos de avaliação do isolamento, em dB e dB(A). As Figuras 48, 49 e 50, a seguir, são gráficos com os resultados de R (dB) para todas as frequências medidas, de 100Hz a 4.000Hz. Estão agrupados, para uma melhor compreensão, os vidros monolíticos comuns e os diferentes tipos de vidros com 6 mm e com 8 mm de espessura.

TABELA 09 – Valores de  $R_w$  (dB) e  $R$  (dB(A)) para vidros simples.

Nº Ensaio	Material	Espessura (mm)	Massa (Kg/m <sup>2</sup> )	$R_w$ (dB)	$R$ (dB(A))
01	Vidro monolítico comum	3	7,5	28,0	27,2
02	Vidro monolítico comum	4	10,0	28,0	27,3
03	Vidro monolítico comum	5	12,5	28,0	27,9
04	Vidro monolítico comum	6	15,0	29,0	28,7
05	Vidro monolítico comum	8	20,0	29,0	29,1
06	Vidro temperado	6	15,0	29,0	28,4
07	Vidro temperado	8	20,0	29,0	28,6
08	Vidro laminado	6	15,5	31,0	30,3
09	Vidro laminado	8	20,5	31,0	30,9

FIGURA 48 – Valores de  $R$  (dB) para vidros monolíticos comuns.

Os valores obtidos para os vidros monolíticos comuns demonstram que os materiais seguem a lei da massa, ou seja, há um acréscimo de isolamento acústico à medida que aumenta a espessura e conseqüentemente a massa da amostra. Este aumento acontece em proporções pequenas, uma vez que estamos trabalhando com um material de espessura delgada. Assim, a cada 1 mm de acréscimo na espessura do vidro, podemos esperar uma média de 0,5 dB(A) de aumento global no isolamento. Utilizando-se o tratamento de dados proposto pela Norma Internacional ISO 717, sendo expressos valores sem casas decimais, esta pequena variação fica ainda menos visível, ocorrendo, assim, um agrupamento de amostras com resultados idênticos. É o caso das espessuras de 3 mm, 4 mm e 5 mm, com um  $R_w$  de 28,0 dB e das espessuras de 6 mm e 8 mm com um  $R_w$  de 29,0 dB.

A frequência crítica  $f_c$  dos vidros comuns, ou seja, a frequência em que há uma queda de isolamento e que está relacionada com as características do material, como massa, espessura e rigidez, acontece conforme o que foi apresentado na revisão de literatura, sendo que a queda é da ordem de 5 a 7 dB. Desta forma, ela ocorre nas mais altas frequências quanto menor for a espessura do vidro: acima de 4.000 Hz no vidro de 3mm; e aproximadamente em 4.000 Hz no vidro de 4 mm; 3.150 Hz no vidro de 5 mm; 2.500 Hz no vidro de 6 mm e 1.600 Hz no vidro de 8 mm.

Observa-se também outra queda de isolamento, que ocorre em 250 Hz, e que acredita-se ser resultado da composição da parede com a abertura para colocação dos vidros. Esta queda tenderá a minimizar-se e desaparecer, na medida em que são realizadas composições duplas e aumentam-se os afastamentos entre os vidros, resultados que serão vistos adiante. Estes tipos de ressonâncias aparecem nos trabalhos revistos na literatura e na curva de isolamento padrão proposta por PUJOLLE (1978) na Figura 38, p.60, não havendo, porém, explicações detalhadas sobre as causas do fenômeno.

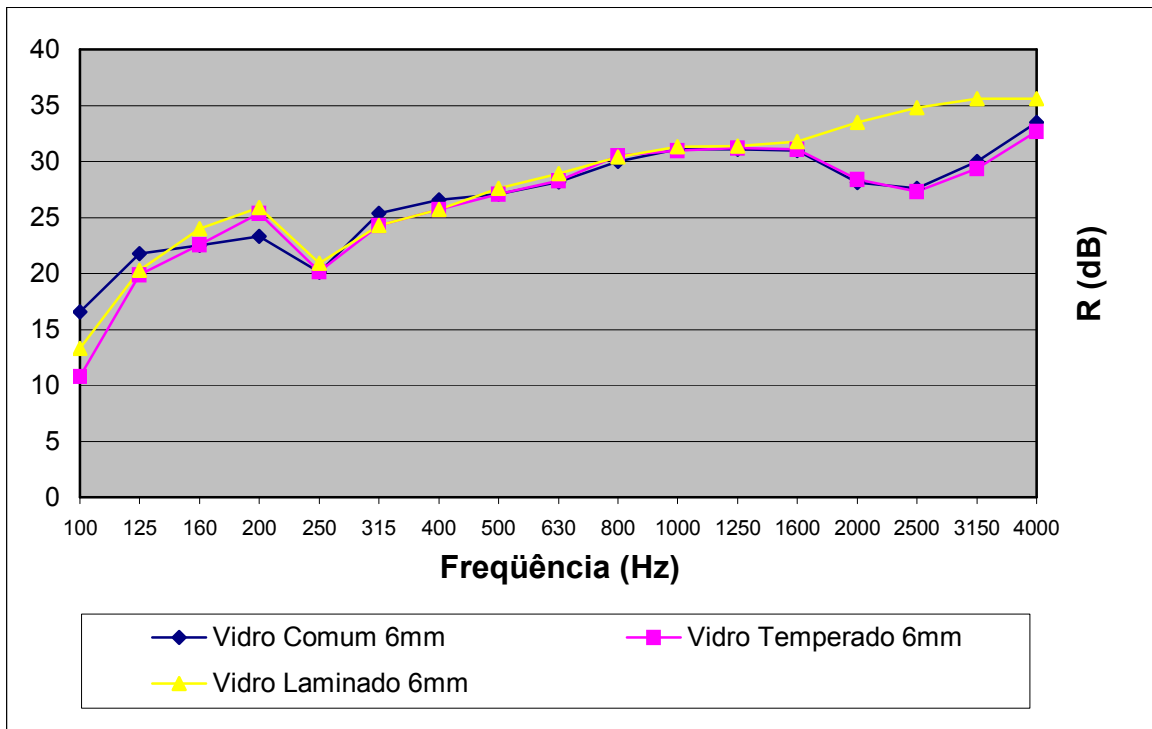


FIGURA 49 – Valores de R (dB) para diferentes tipos de vidros com 6mm de espessura.

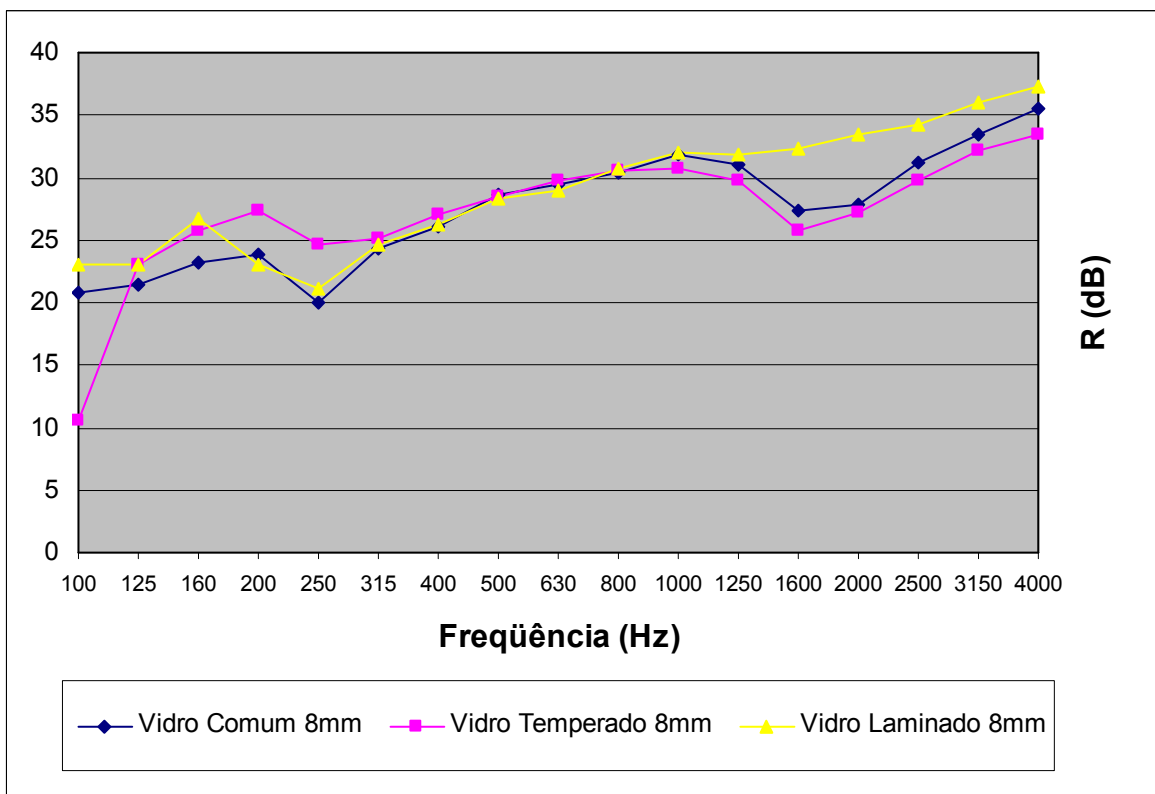


FIGURA 50 – Valores de R (dB) para diferentes tipos de vidros com 8mm de espessura.



As Figuras 49 e 50, apresentadas na página anterior, mostram um comparativo dos diferentes tipos de vidros ensaiados: comuns, temperados e laminados, de uma mesma espessura, no caso de 6 mm e 8 mm. Com base nos resultados, percebemos uma semelhança no comportamento dos vidros temperados em relação aos vidros comuns, sobretudo nas médias e altas frequências. Apesar da maior resistência dos vidros temperados, o comportamento acústico não varia significativamente, e chega a apresentar um isolamento global em dB(A) menor que os vidros comuns. Nas baixas frequências, no entanto, observam-se duas situações distintas: em 100 Hz o vidro temperado é inferior em isolamento; já nas frequências de 125 Hz até 250 Hz, há melhorias em relação ao vidro comum. Essas diferenças são mais acentuadas no caso dos vidros de 8 mm de espessura.

Por outro lado, destacam-se aqui os vidros laminados que, pela sua composição com um outro material, o PVB, apresentam o efeito da frequência crítica suprimido. Isto garante maior homogeneidade de isolamento em todas as frequências e um ganho geral de performance de 2 dB em relação aos outros tipos de vidro com mesma espessura.

#### 4.2 Vidros duplos com 20 mm de espaçamento

Os resultados dos ensaios realizados com vitragens duplas, com 20 mm de espaçamento entre os diferentes tipos ou espessuras de vidros, encontram-se a seguir. A Tabela 10 apresenta para cada ensaio os números únicos de avaliação do isolamento, em dB e dB(A). A Figura 51 representa graficamente os resultados de R (dB) para todos os ensaios realizados em todas as frequências medidas, de 100 Hz a 4.000 Hz. Já nas Figuras 52, 53 e 54 apresentam-se os mesmos resultados só que divididos em grupos para uma melhor compreensão.

TABELA 10 – Valores de  $R_w$  (dB) e  $R$  (dB(A)) para vidros duplos com 20 mm de espaçamento.

<b>Nº Ensaio</b>	<b>Material</b>	<b>Soma espessuras (mm)</b>	<b><math>R_w</math> (dB)</b>	<b><math>R</math> (dB(A))</b>
10	Vidro comum 8 mm + Esp. 20 mm + Vidro comum 4 mm	12	31,0	30,6
11	Vidro comum 8 mm + Esp. 20 mm + Vidro comum 6 mm	14	32,0	30,5

12	Vidro comum 6 mm + Esp. 20 mm + Vidro laminado 6 mm	12	31,0	30,7
13	Vidro comum 6 mm + Esp. 20 mm + Vidro laminado 8 mm	14	32,0	31,0
14	Vidro comum 8 mm + Esp. 20 mm + Vidro laminado 8 mm	16	33,0	32,1
15	Vidro temperado 6 mm + Esp. 20 mm + Vidro laminado 8 mm	14	32,0	31,4
16	Vidro temperado 8 mm + Esp. 20 mm + Vidro laminado 6 mm	14	32,0	31,2
17	Vidro laminado 6 mm + Esp. 20 mm + Vidro laminado 8 mm	14	31,0	30,5

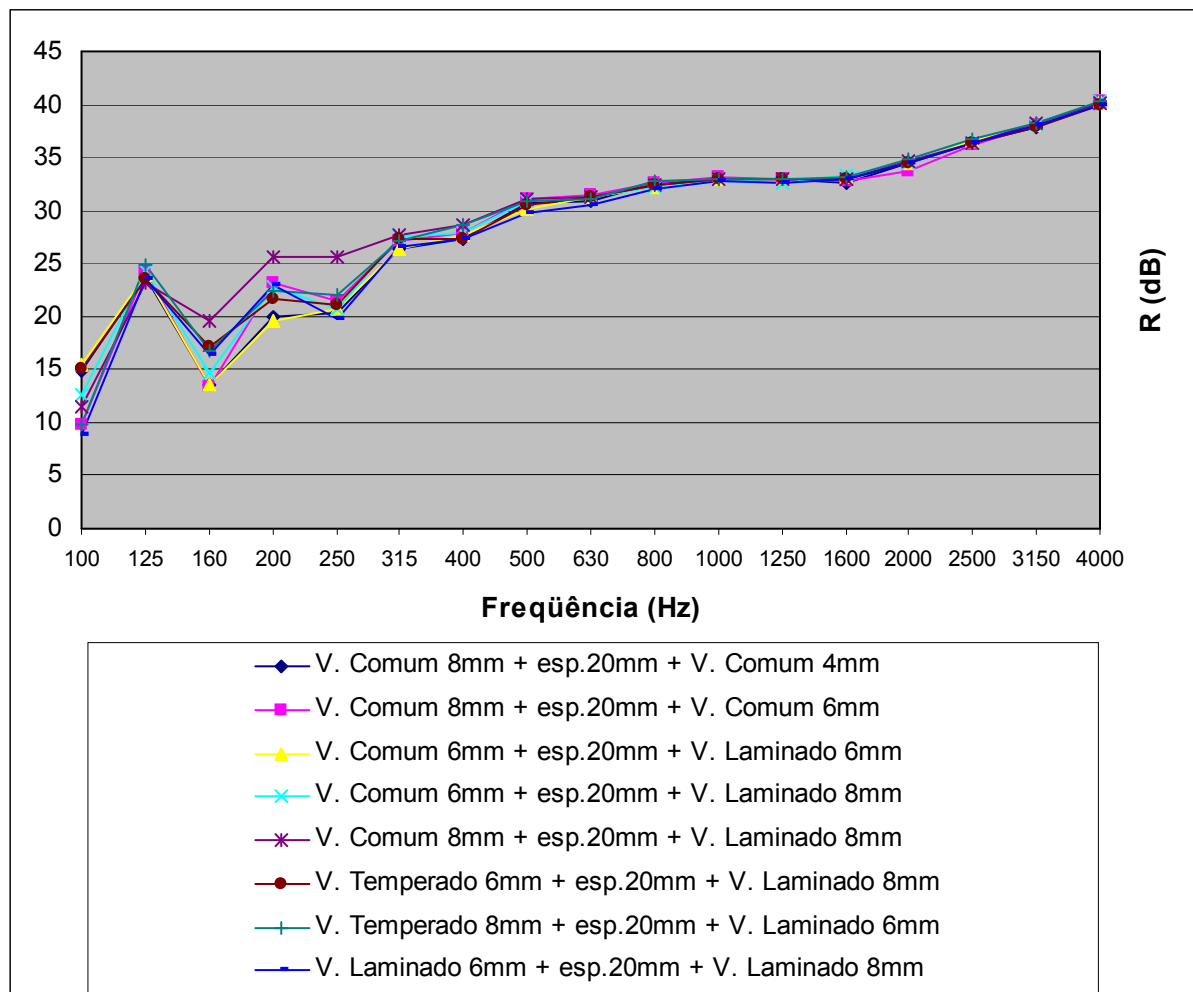


FIGURA 51 – Valores de R (dB) para vidros duplos com 20 mm de espaçamento.

Os resultados das composições de vitragem dupla com 20 mm de camada de ar entre os elementos, demonstram que o comportamento segue os parâmetros revistos na bibliografia.

Nota-se que os diferentes tipos de vidros adotados nas composições possuem um comportamento semelhante e valores de isolamento muito próximos, sobretudo nas altas freqüências. Há uma melhoria de resposta nas baixas freqüências, quando utilizamos dois vidros de maior espessura, como é o caso do ensaio com vidro comum de 8 mm e vidro laminado de 8 mm.

A freqüência crítica  $f_c$  característica de cada material, que já constatamos nos vidros simples, fica evidentemente suprimida quando realizamos uma composição dupla assimétrica, ou seja, utilizando-se dois vidros de diferentes tipos ou espessuras, como é o caso das combinações ensaiadas. Isto garante um aumento constante de isolamento após 315 Hz, sem quedas nas altas freqüências.

O que ocorre nesta situação é a existência de uma freqüência de ressonância  $f_0$  do sistema vidro – camada de ar – vidro, ou seja, da própria vitragem dupla, gerando uma queda acentuada de isolamento em aproximadamente 160 Hz para todas as composições ensaiadas. Esta freqüência acontece conforme equação apresentada por PUJOLLE (1978), que foi revisto no item 2.6.5.

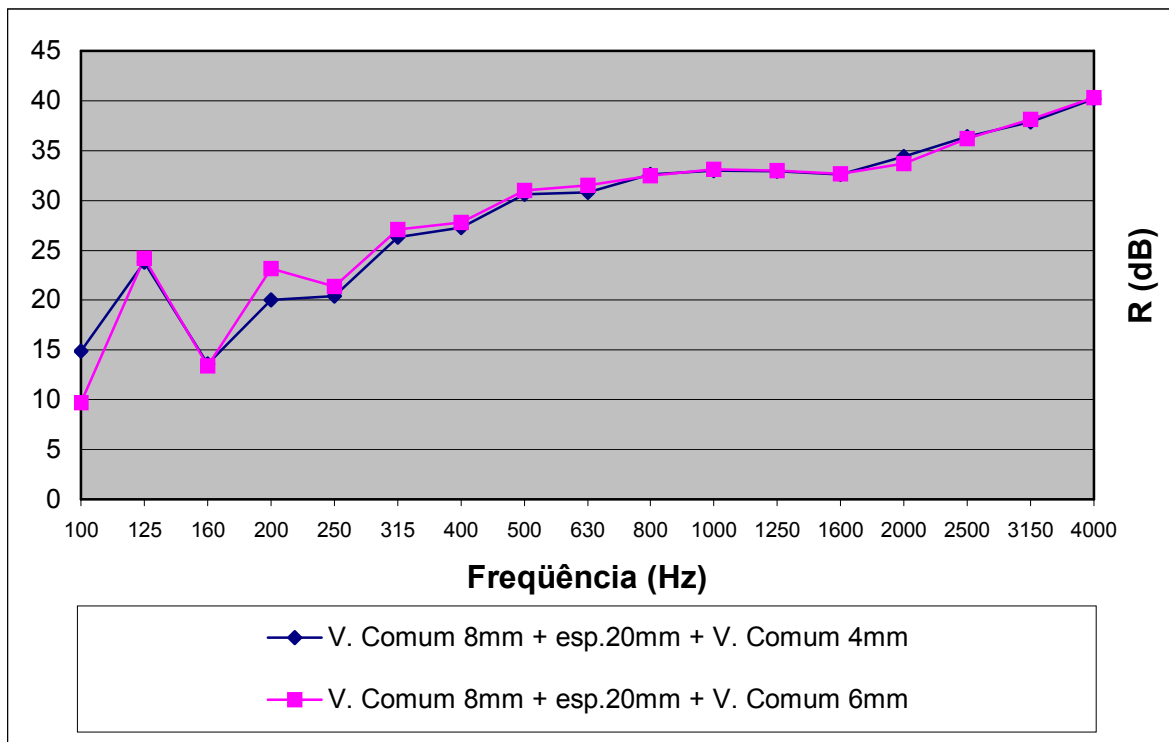


FIGURA 52 – Valores de R (dB) para combinações somente com vidros comuns.

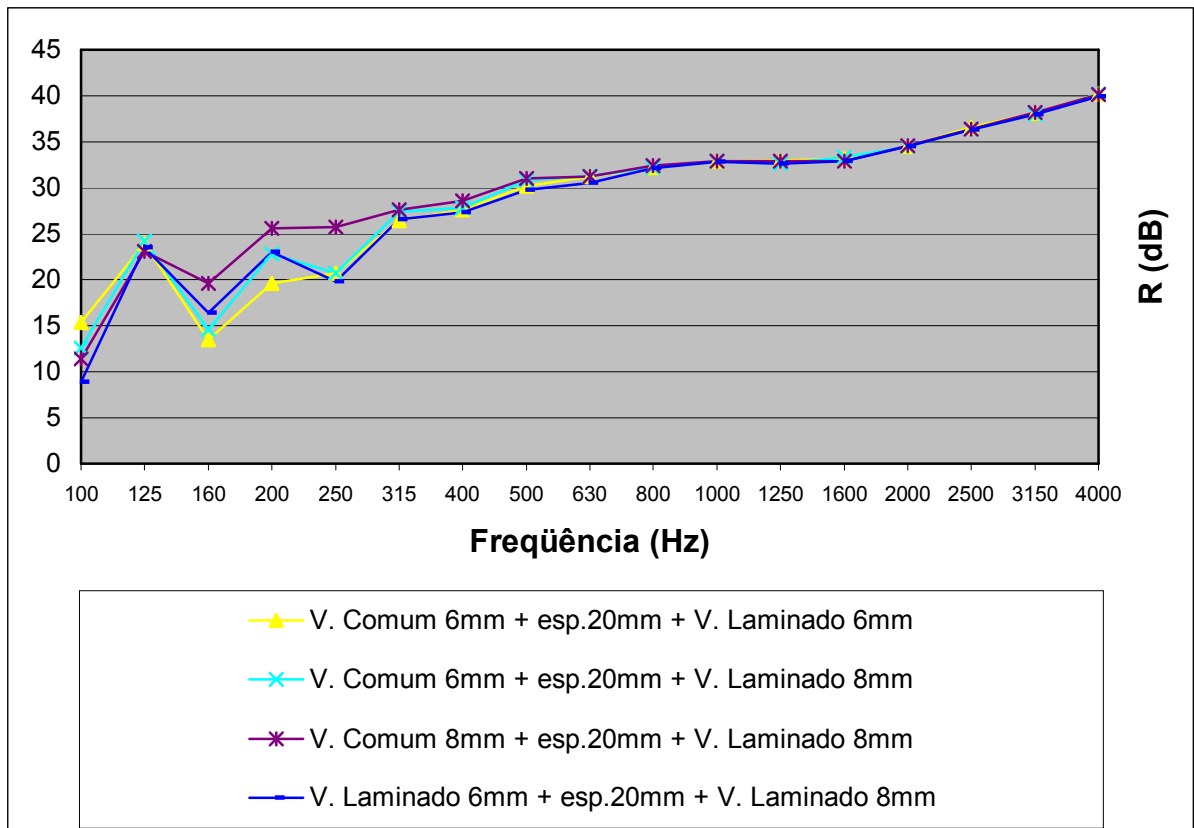


FIGURA 53 – Valores de R (dB) para combinações com vidros comuns + laminados e somente com vidros laminados.

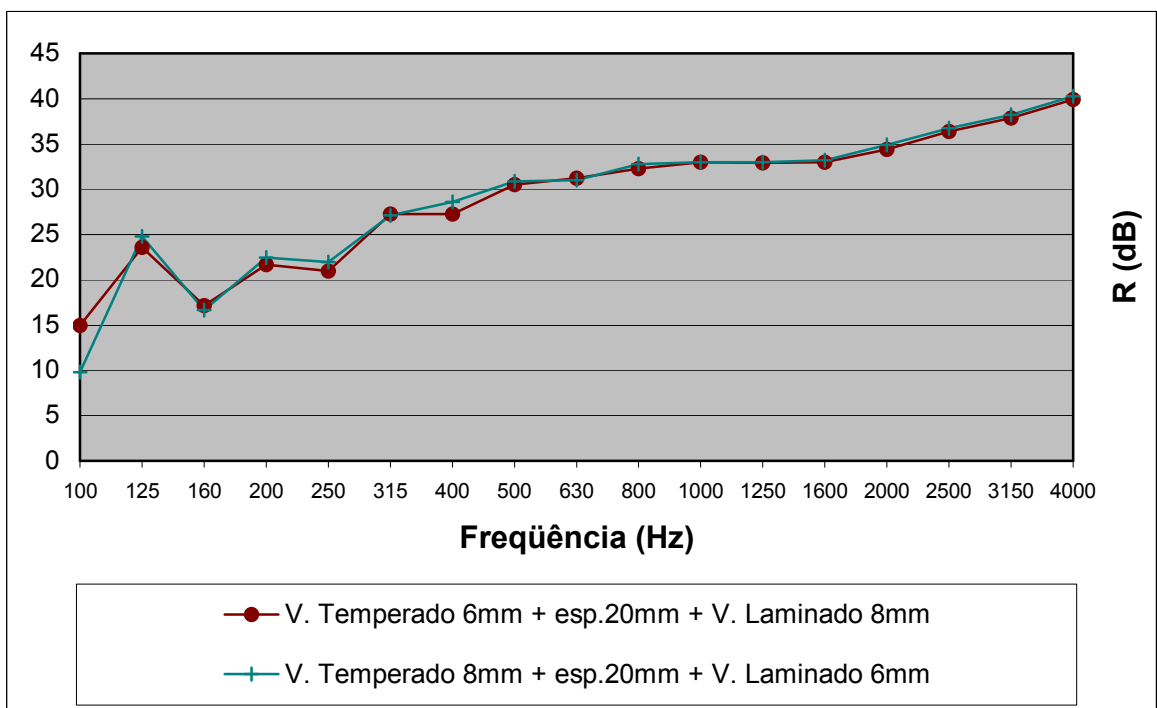


FIGURA 54 – Valores de R (dB) para combinações com vidros temperados + laminados.

Esta alta perda de isolamento em torno da frequência de ressonância faz com que o sistema não obtenha a melhoria global que seria esperada para vidros duplos. O Índice de Redução Acústica  $R_w$  das composições ensaiadas ficou entre 31 dB e 33 dB. Estes valores estão bem abaixo dos revistos na bibliografia para vidros simples da mesma espessura que a soma dos dois utilizados. Por exemplo, para um vidro simples de 12 mm, a SAINT-GOBAIN GLASS (2000) obteve um  $R_w = 34$  dB (revisado na Tabela 05, p.48) e PUJOLLE (1978), um isolamento de 33,2 dB(A) (revisado na Figura 26, p.51). No caso do vidro duplo ensaiado com 8 mm e 4 mm, a redução acústica chegou somente a 31 dB. Além disso, já vimos que a concentração de energia de um ruído de tráfego é maior nas baixas frequências (abaixo de 250 Hz), justamente onde há deficiência de isolamento devido à frequência de ressonância.

Em relação aos vidros laminados, que apresentam melhor desempenho quando utilizados individualmente, pode-se constatar que não repetem sua performance nas composições de vitragem dupla. Isto acontece porque o ganho de isolamento dos vidros laminados é devido à inexistência da frequência crítica, o que já ocorre naturalmente quando realizamos uma combinação de dois elementos com frequências críticas diferentes.

#### 4.3 Vidros duplos com 50 mm de espaçamento

Os resultados dos ensaios realizados com vitragens duplas, com 50 mm de espaçamento entre os diferentes tipos ou espessuras de vidros, encontram-se a seguir. A Tabela 11 apresenta para cada ensaio os números únicos de avaliação do isolamento, em dB e dB(A). A Figura 55 representa graficamente os resultados de R (dB) para todas as frequências medidas, de 100 Hz a 4.000 Hz. Já nas Figuras 56, 57 e 58 apresentam-se os mesmos resultados só que divididos em grupos para uma melhor compreensão.

TABELA 11 – Valores de  $R_w$  (dB) e R (dB(A)) para vidros duplos com 50 mm de espaçamento.

Nº Ensaio	Material	Soma espessuras (mm)	$R_w$ (dB)	R (dB(A))
18	Vidro comum 8 mm + Esp. 50 mm + Vidro comum 4 mm	12	33,0	33,2
19	Vidro comum 8 mm + Esp. 50 mm + Vidro comum 6 mm	14	33,0	33,2

20	Vidro comum 6 mm + Esp. 50 mm + Vidro laminado 6 mm	12	33,0	33,1
21	Vidro comum 6 mm + Esp. 50 mm + Vidro laminado 8 mm	14	33,0	33,1
22	Vidro comum 8 mm + Esp. 50 mm + Vidro laminado 8 mm	16	34,0	33,4
23	Vidro temperado 6 mm + Esp. 50 mm + Vidro laminado 8 mm	14	33,0	33,2
24	Vidro temperado 8 mm + Esp. 50 mm + Vidro laminado 6 mm	14	33,0	33,1
25	Vidro laminado 6 mm + Esp. 50 mm + Vidro laminado 8 mm	14	33,0	32,4

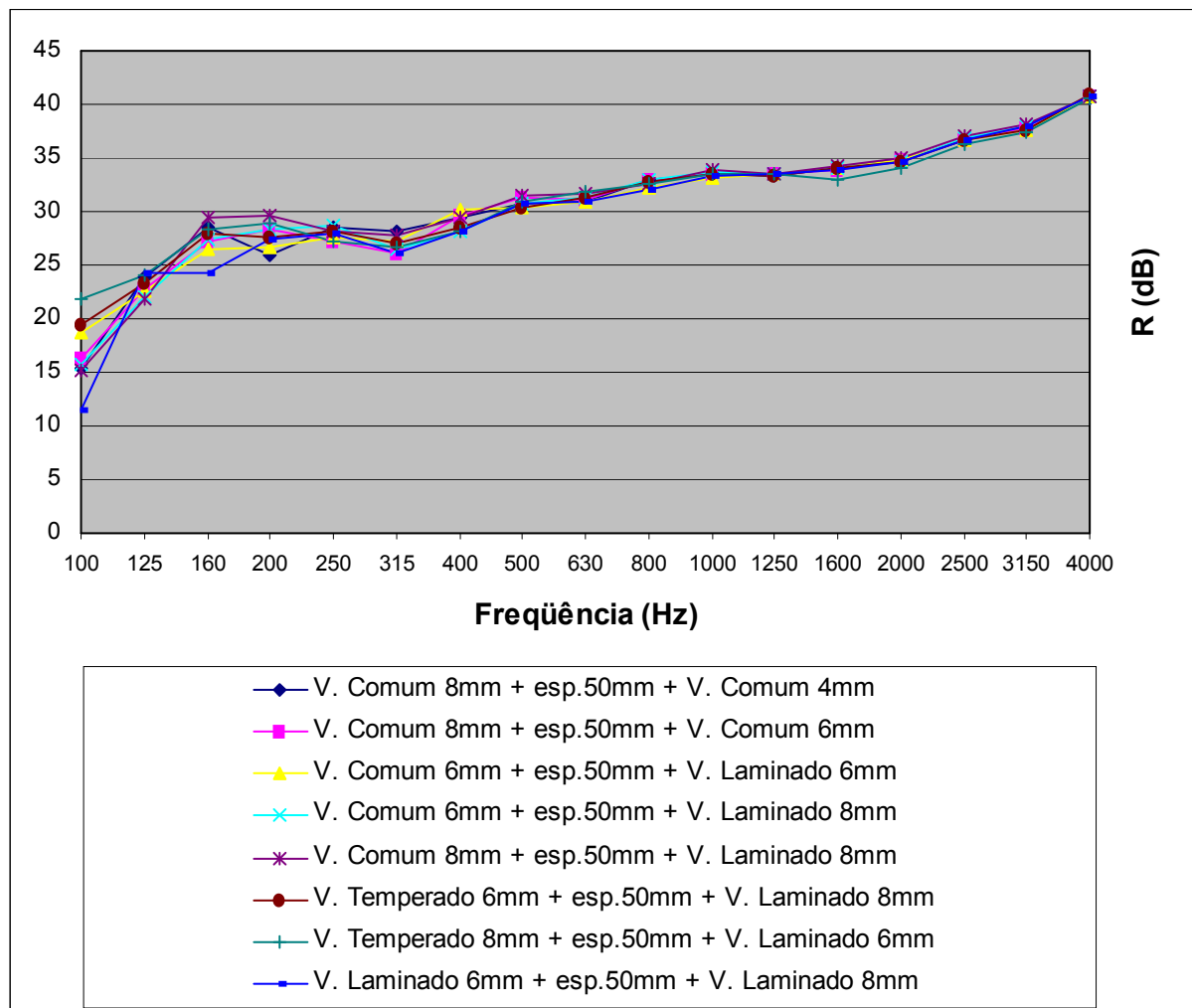


FIGURA 55 – Valores de R (dB) para vidros duplos com 50 mm de espaçamento.

Em relação aos ensaios realizados com as mesmas combinações anteriores de vidros duplos, porém agora com afastamento de 50 mm entre eles, pode-se confirmar a proximidade dos resultados de isolamento, independente dos materiais agrupados. Para a maioria das composições, o  $R_w$  ficou em 33 dB, sofrendo o acréscimo de 1 dB somente no ensaio com dois vidros de 8 mm de espessura.

O que se difere claramente neste grupo de ensaios é o não aparecimento da frequência de ressonância da vitragem dupla. Com o afastamento das amostras, o  $f_0$ , conseqüentemente, desloca-se para frequências mais baixas (aproximadamente 100 Hz), não influenciando nos resultados. Este é o aspecto que garante um ganho de isolamento médio de 1 a 2 dB em relação às mesmas composições com menor afastamento. TADEU (2001) e PUJOLLE (1978) já haviam constatado essa melhoria de performance das vitragens duplas somente quando os afastamentos superam os 50 mm (revisto no item 2.6.5).

Da mesma forma, a queda de isolamento em 250 Hz, que ocorria nos vidros simples devido à composição com a parede de alvenaria, fica praticamente suprimida quando o afastamento é de 50 mm ou mais.

Assim, obtemos resultados que coincidem com a função da vitragem dupla: suprimir as frequências onde há queda de isolamento (crítica e de ressonância) e garantir uma maior homogeneidade de isolamento em todo o espectro de frequências.

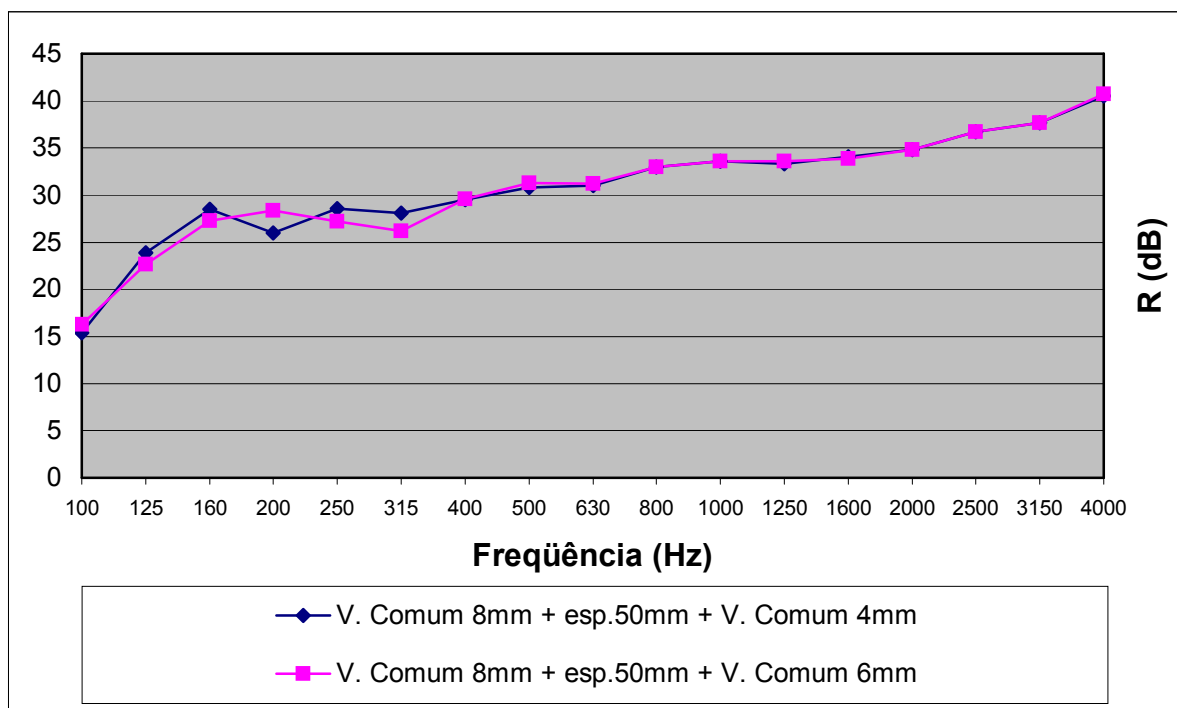


FIGURA 56 – Valores de R (dB) para combinações somente com vidros comuns.

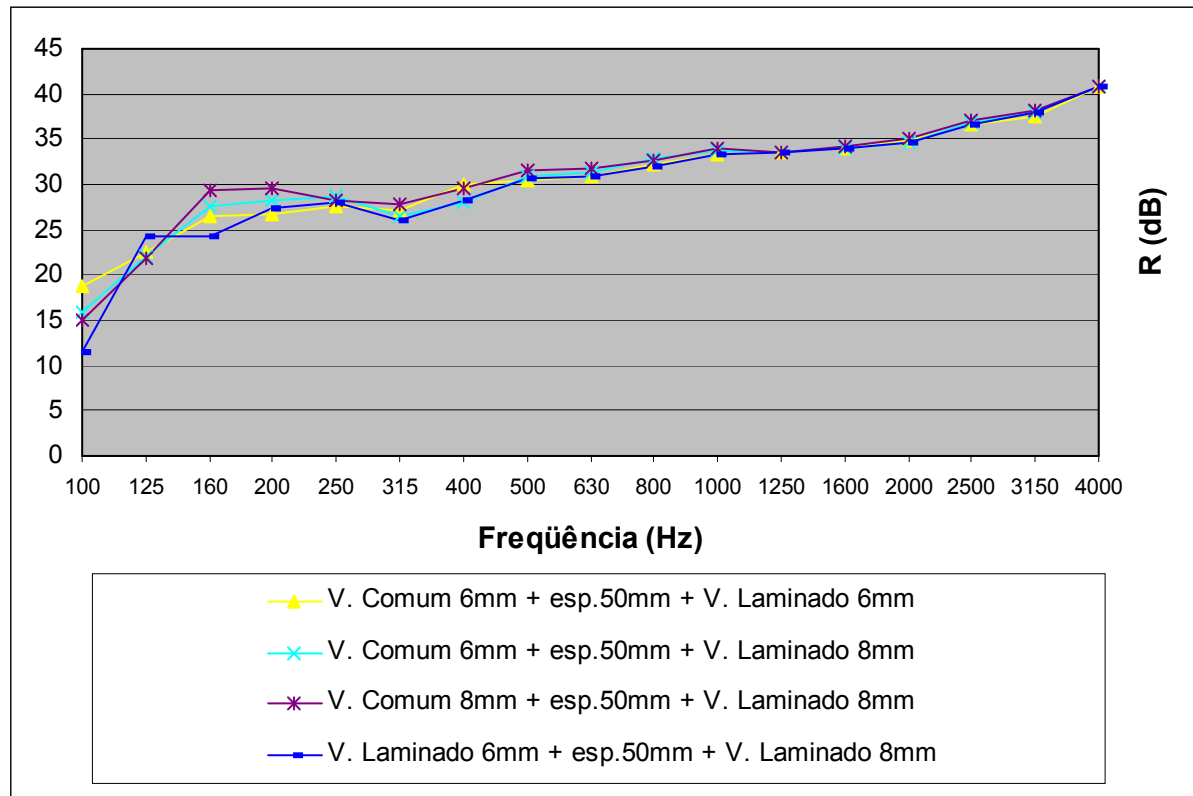


FIGURA 57 – Valores de R (dB) para combinações com vidros comuns + laminados e somente com vidros laminados.

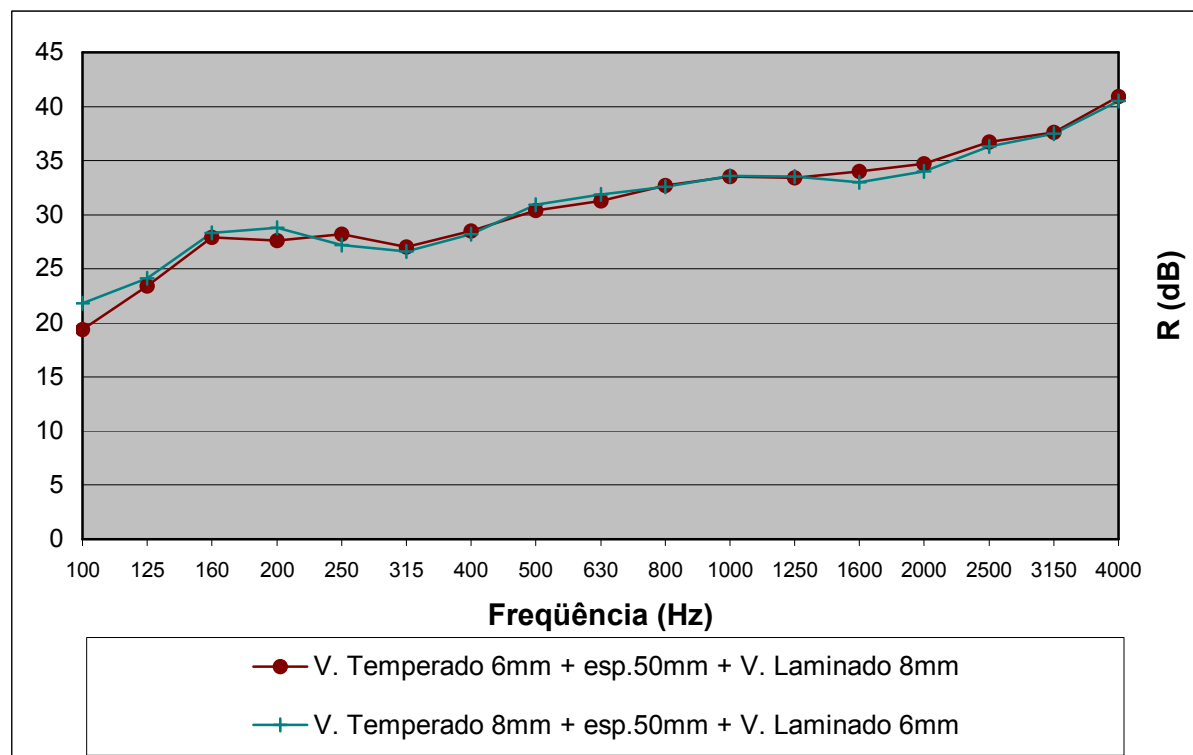


FIGURA 58 – Valores de R (dB) para combinações com vidros temperados + laminados.



#### 4.4 Vidros duplos com 100 mm de espaçamento

Os resultados dos ensaios realizados com vitragens duplas, com 100 mm de espaçamento entre os diferentes tipos ou espessuras de vidros, encontram-se a seguir. A Tabela 12 apresenta para cada ensaio os números únicos de avaliação do isolamento, em dB e dB(A). A Figura 59 representa graficamente os resultados de R (dB) para todas as frequências medidas, de 100 Hz a 4.000 Hz. Já nas Figuras 60, 61 e 62 apresentam-se os mesmos resultados só que divididos em grupos para uma melhor compreensão.

TABELA 12 – Valores de  $R_w$  (dB) e R (dB(A)) para vidros duplos com 100 mm de espaçamento.

<b>Nº Ensaio</b>	<b>Material</b>	<b>Soma espessuras (mm)</b>	<b><math>R_w</math> (dB)</b>	<b>R (dB(A))</b>
26	Vidro comum 8 mm + Esp. 100 mm + Vidro comum 4 mm	12	33,0	32,6
27	Vidro comum 8 mm + Esp. 100 mm + Vidro comum 6 mm	14	33,0	32,6
28	Vidro comum 6 mm + Esp. 100 mm + Vidro laminado 6 mm	12	33,0	32,6
29	Vidro comum 6 mm + Esp. 100 mm + Vidro laminado 8 mm	14	33,0	32,4
30	Vidro comum 8 mm + Esp. 100 mm + Vidro laminado 8 mm	16	33,0	32,8
31	Vidro temperado 6 mm + Esp. 100 mm + Vidro laminado 8mm	14	33,0	32,8
32	Vidro temperado 8mm + Esp. 100mm + Vidro laminado 6 mm	14	33,0	32,9
33	Vidro laminado 6 mm + Esp. 100 mm + Vidro laminado 8 mm	14	33,0	33,2

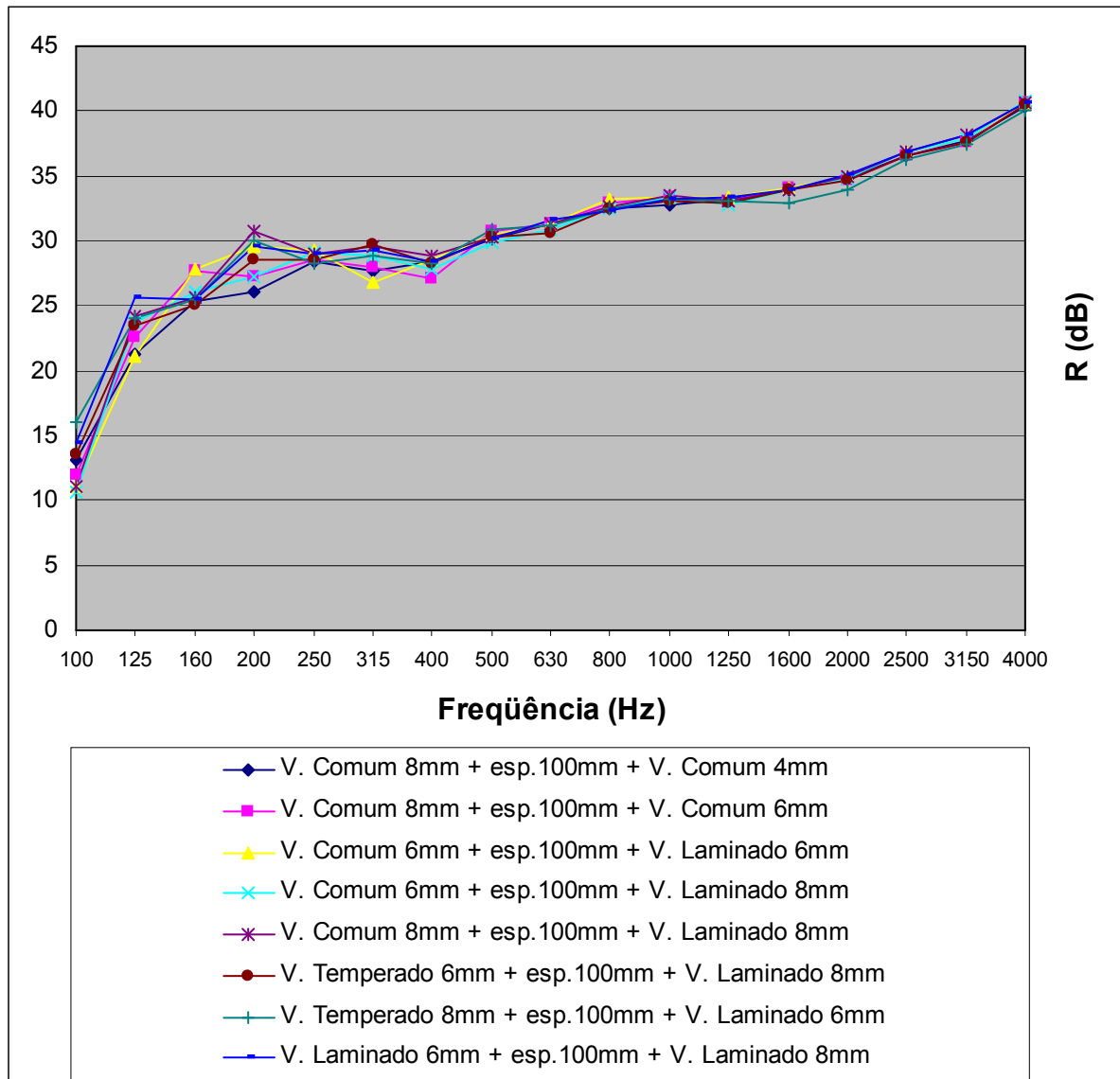


FIGURA 59 – Valores de R (dB) para vidros duplos com 100mm de espaçamento.

As mesmas combinações de vidros duplos, ensaiados agora com 100mm de afastamento entre eles, possuem resultados muito próximos dos obtidos no grupo anterior (com 50mm de afastamento). O  $R_w$  de todas as composições ficou em 33 dB. Para os resultados tratados em dB(A), observa-se pequenas diferenças em relação ao grupo anterior, o que se atribui a variações aceitáveis de repetibilidade dos testes, ou seja, dos valores obtidos na prática. Isto geralmente ocorre nas baixas frequências, que são as mais difíceis de obter precisão.

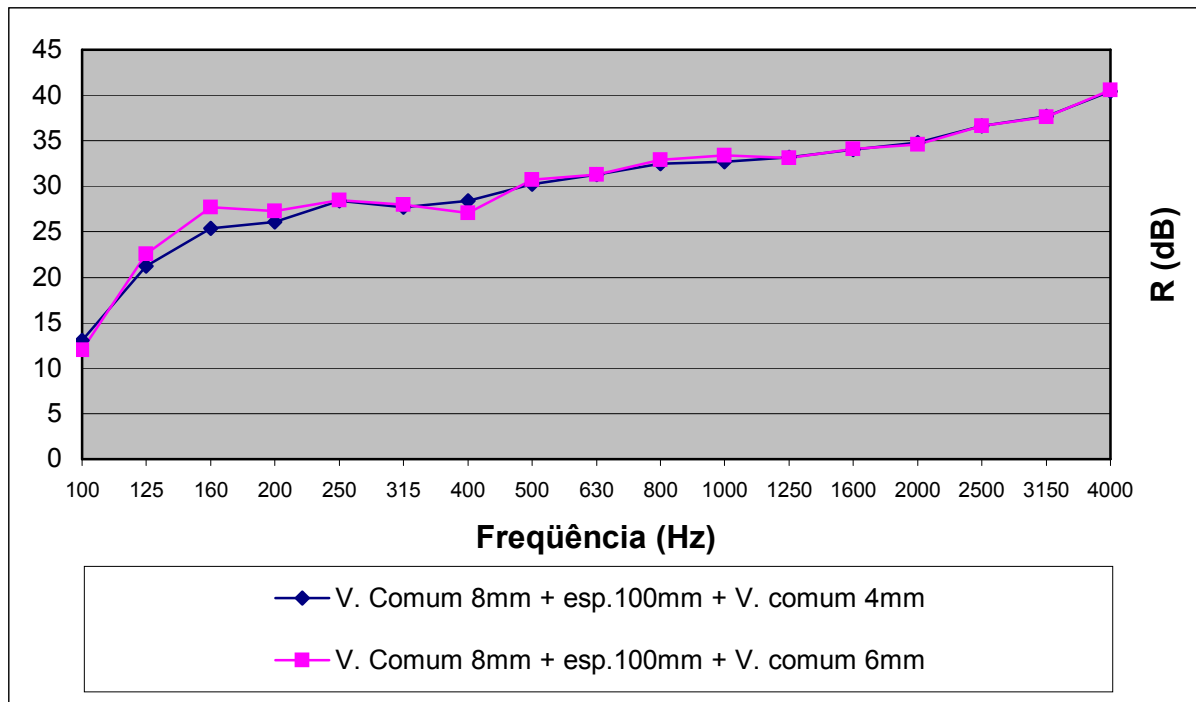


FIGURA 60 – Valores de R (dB) para combinações somente com vidros comuns.

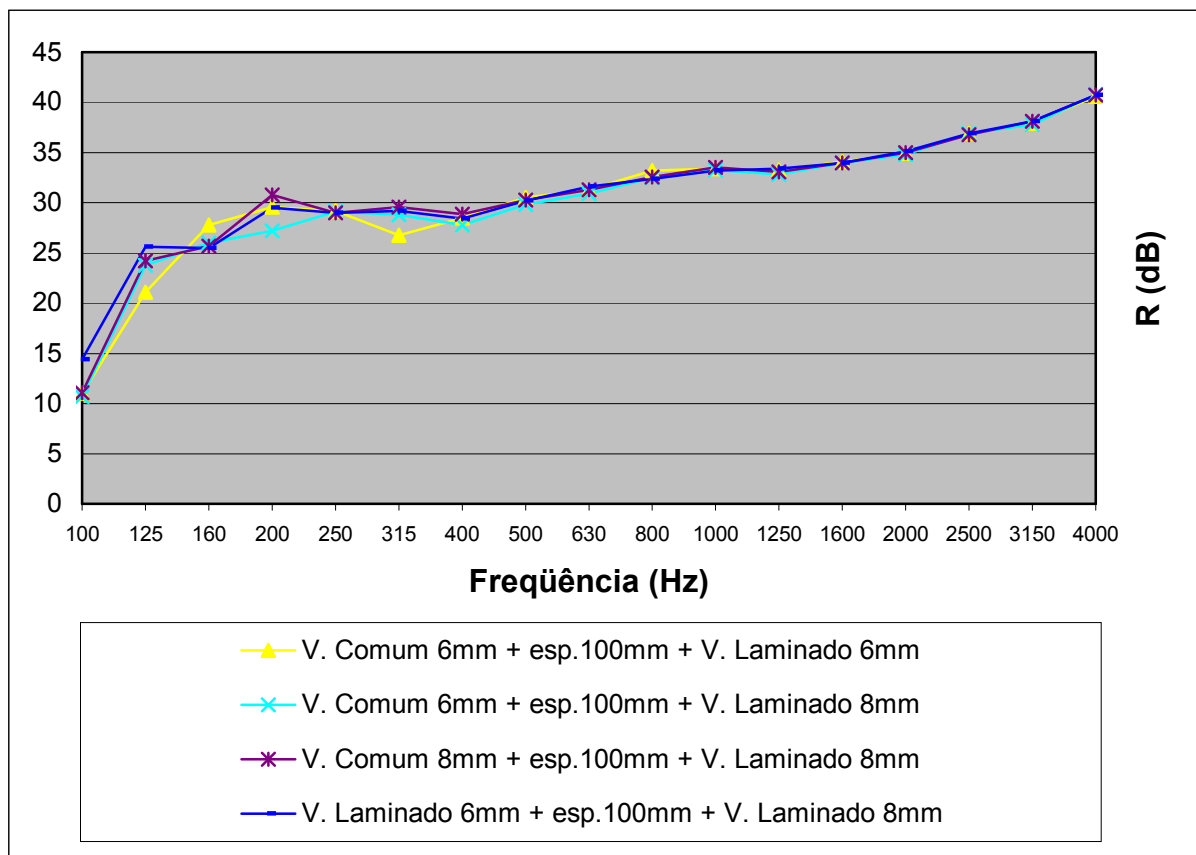


FIGURA 61 – Valores de R (dB) para combinações com vidros comuns + laminados e somente com vidros laminados.

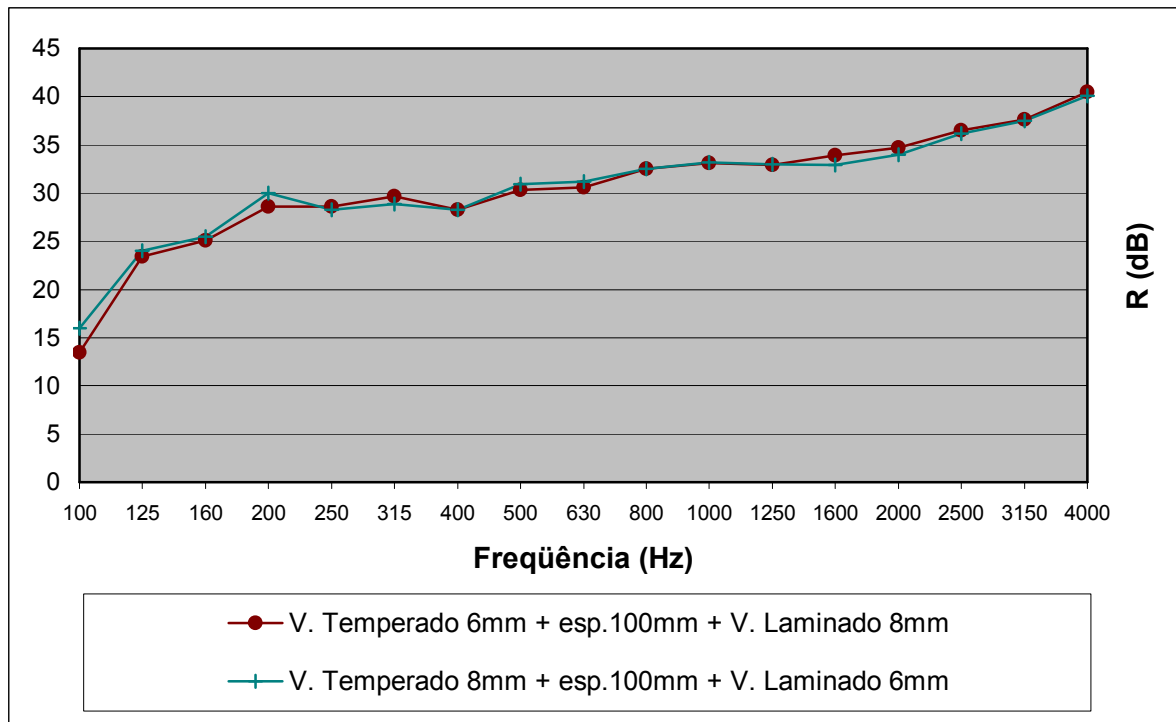


FIGURA 62 – Valores de R (dB) para combinações com vidros temperados + laminados.

#### 4.5 Vidros duplos com 150 mm de espaçamento

Os resultados dos ensaios realizados com vitrages duplas, com 150 mm de espaçamento entre os diferentes tipos ou espessuras de vidros, encontram-se a seguir. A Tabela 13 apresenta para cada ensaio os números únicos de avaliação do isolamento, em dB e dB(A). A Figura 63 representa graficamente os resultados de R (dB) para todas as freqüências medidas, de 100 Hz a 4.000 Hz. Já nas Figuras 64, 65 e 66 apresentam-se os mesmos resultados só que divididos em grupos para uma melhor compreensão.

TABELA 13 – Valores de  $R_w$  (dB) e R (dB(A)) para vidros duplos com 150 mm de espaçamento.

Nº Ensaio	Material	Soma espessuras (mm)	$R_w$ (dB)	R (dB(A))
34	Vidro comum 8 mm + Esp. 150 mm + Vidro comum 4 mm	12	34,0	33,8
35	Vidro comum 8 mm + Esp. 150 mm + Vidro comum 6 mm	14	34,0	33,7

36	Vidro comum 6 mm + Esp. 150 mm + Vidro laminado 6 mm	12	33,0	33,5
37	Vidro comum 6 mm + Esp. 150 mm + Vidro laminado 8 mm	14	34,0	33,7
38	Vidro comum 8 mm + Esp. 150 mm + Vidro laminado 8 mm	16	34,0	33,8
39	Vidro temperado 6 mm + Esp. 150 mm + Vidro laminado 8 mm	14	34,0	33,5
40	Vidro temperado 8 mm + Esp. 150 mm + Vidro laminado 6 mm	14	34,0	33,7
41	Vidro laminado 6 mm + Esp. 150 mm + Vidro laminado 8 mm	14	33,0	33,4

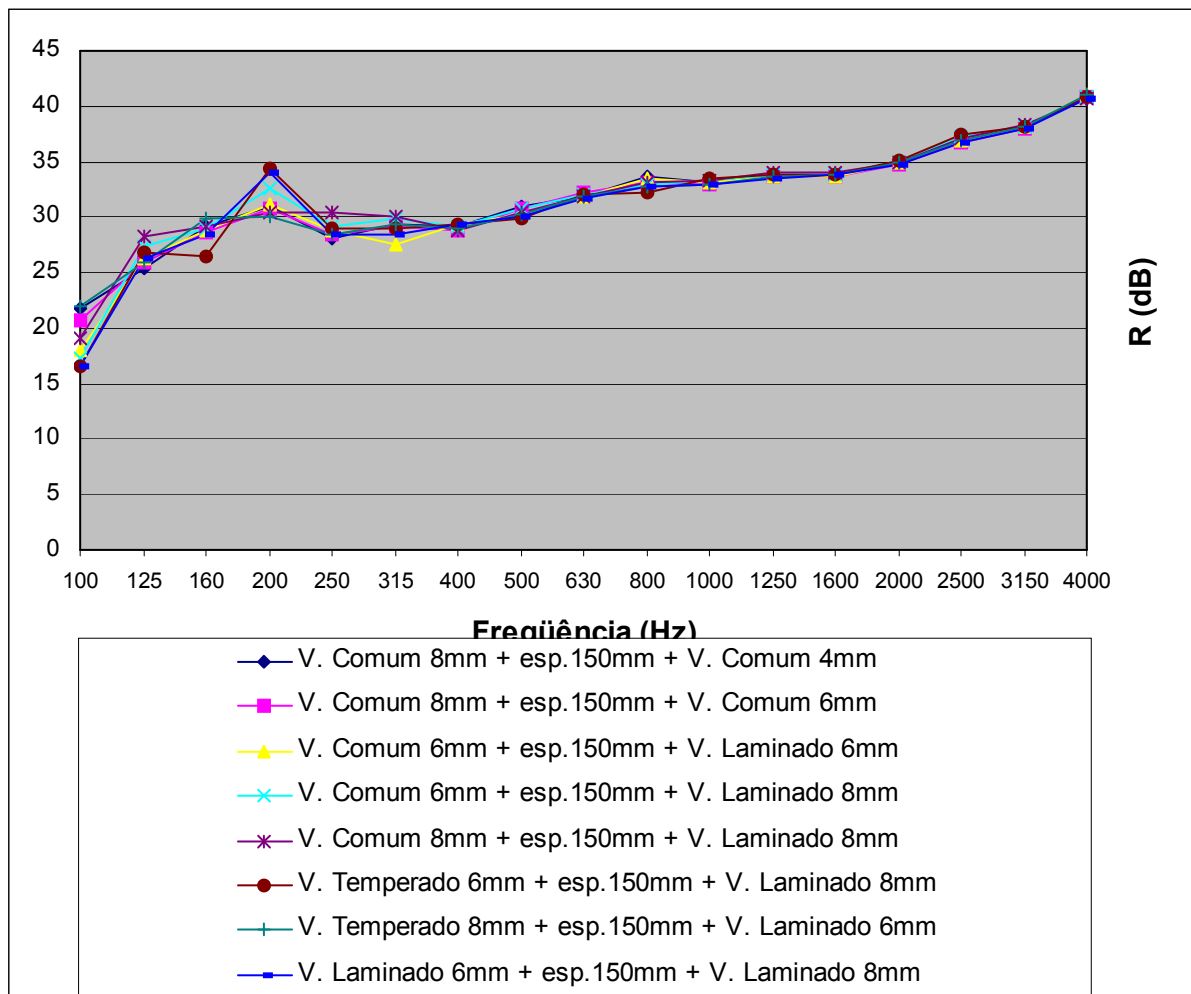


FIGURA 63 – Valores de R (dB) para vidros duplos com 150 mm de espaçamento.

Quando afastamos ainda mais as amostras, como é o caso deste grupo de ensaios, onde há 150 mm de camada de ar, confirma-se o que foi revisto na literatura especificamente sobre vidros duplos: a partir de um determinado espaçamento, há um pequeno acréscimo de isolamento para um aumento considerável da camada de ar. Foi necessário aumentar 100 mm o afastamento, para que resultasse uma média de apenas 0,5 dB(A) de isolamento, como pode ser observado nas Tabelas 11 e 13.

No entanto, observa-se uma melhoria de desempenho nas baixas frequências, até 200 Hz, onde inclusive há um pico de isolamento que não ocorreu anteriormente.

Nos demais aspectos analisados, a composição com 150 mm de afastamento manteve comportamento semelhante ao dos grupos de ensaios anteriores: inexistência da frequência de ressonância e homogeneidade de isolamento ao longo de todo o espectro.

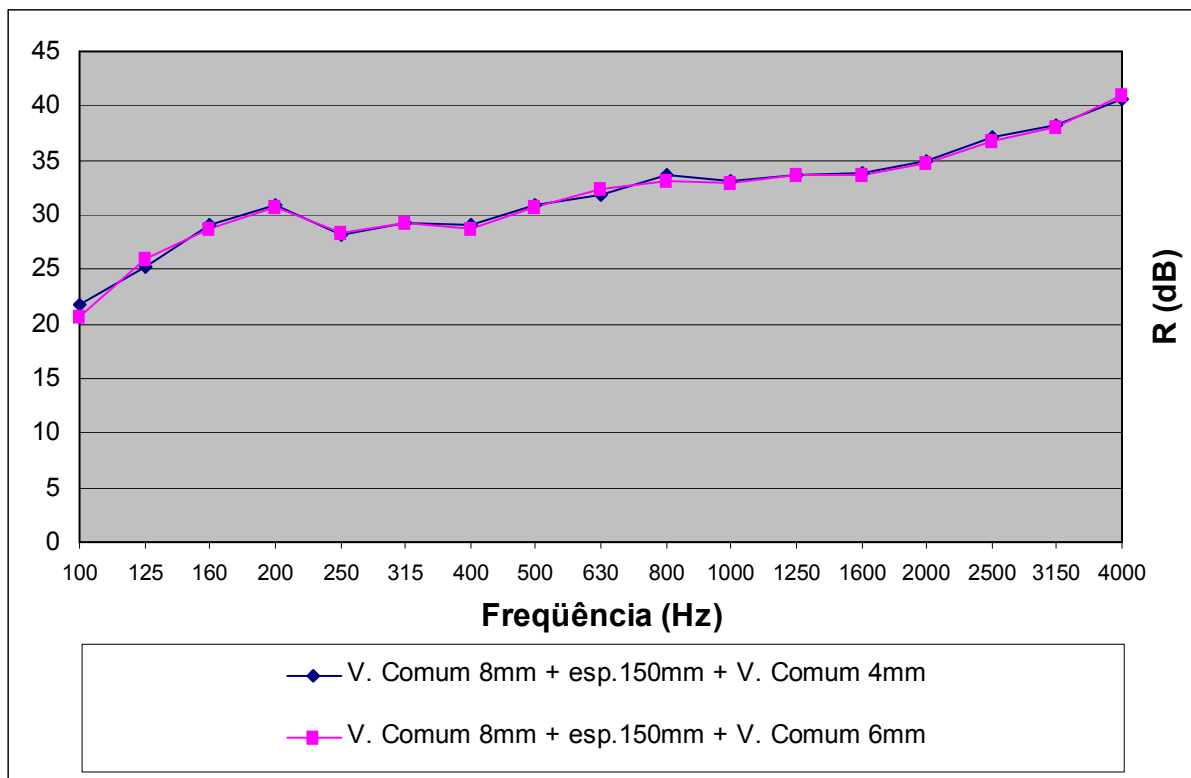


FIGURA 64 – Valores de R (dB) para combinações somente com vidros comuns.

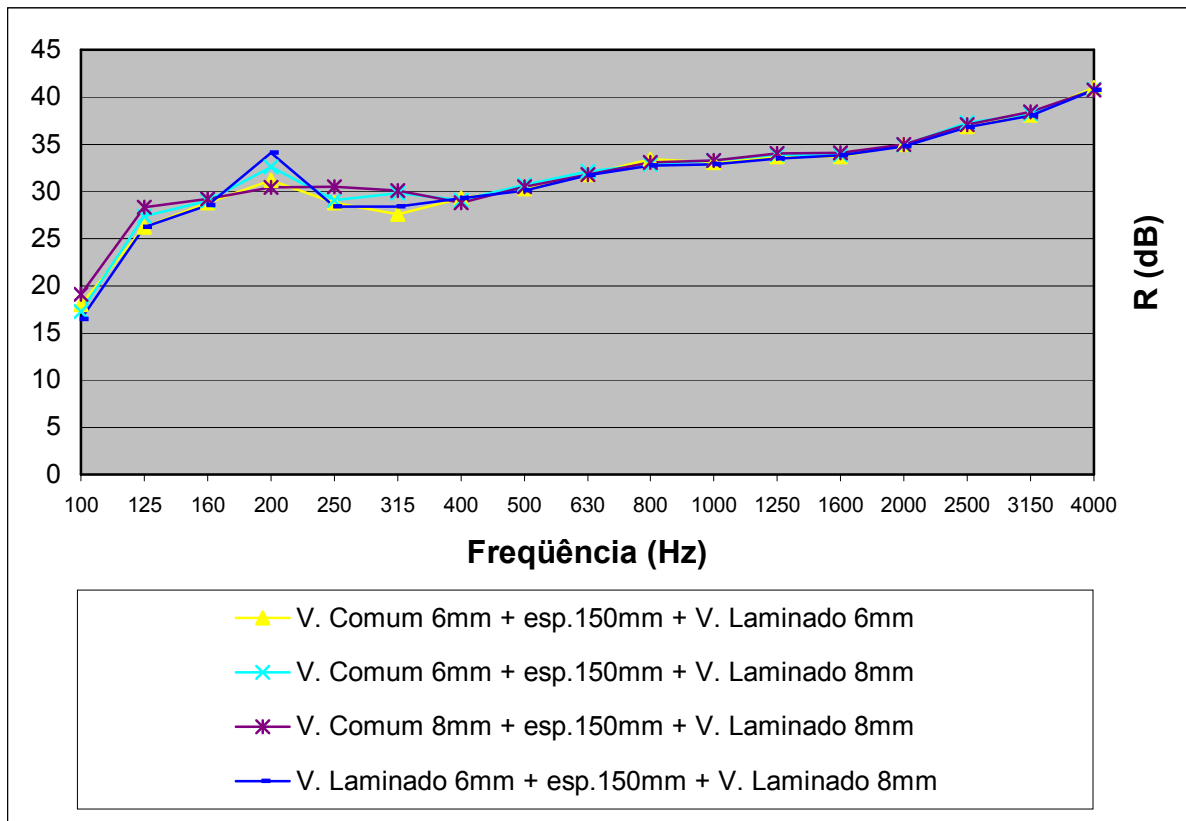


FIGURA 65 – Valores de R (dB) para combinações com vidros comuns + laminados e somente com vidros laminados.

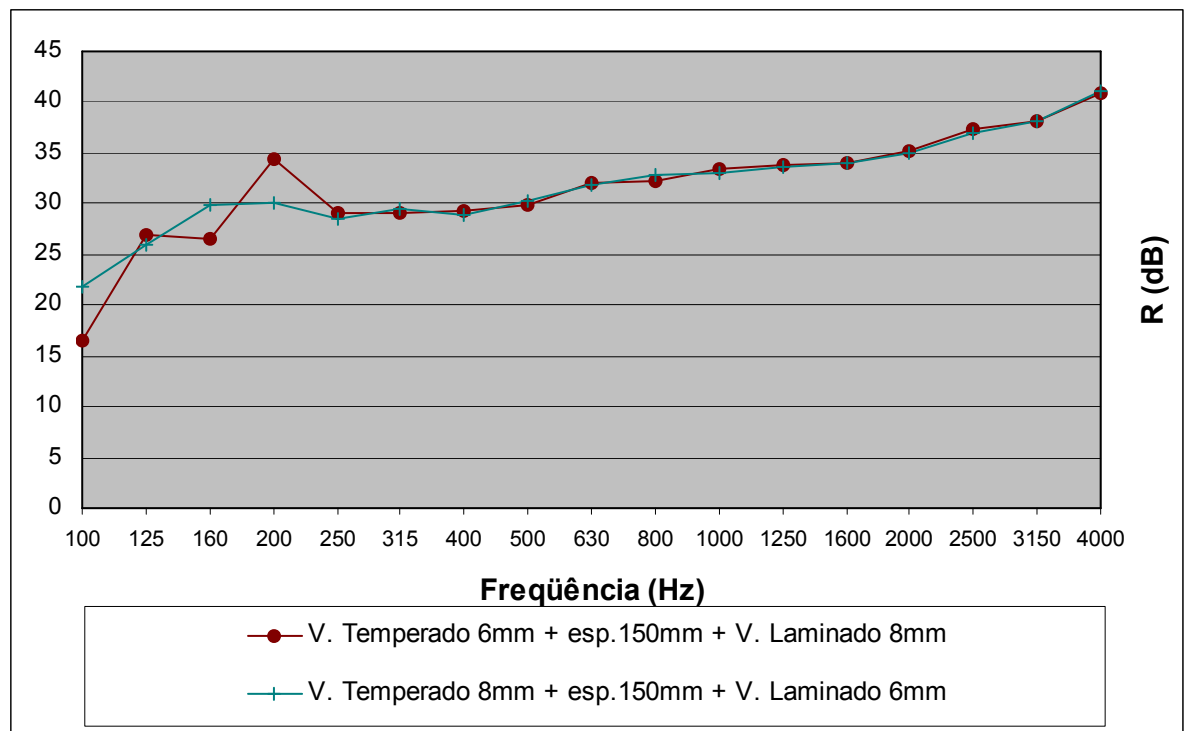


FIGURA 66 – Valores de R (dB) para combinações com vidros temperados + laminados.

#### 4.6 Influência do afastamento entre os vidros

Para um melhor entendimento sobre o comportamento acústico dos vidros quando utilizados individualmente ou formando vitragem dupla, agrupou-se em um gráfico comparativo três ensaios realizados: vidro comum de 8 mm; composição dupla de vidros comuns de 4 e 8 mm com 20 mm de afastamento; composição dupla de vidros comuns de 4 e 8 mm com 150 mm de afastamento, conforme Figura 67.

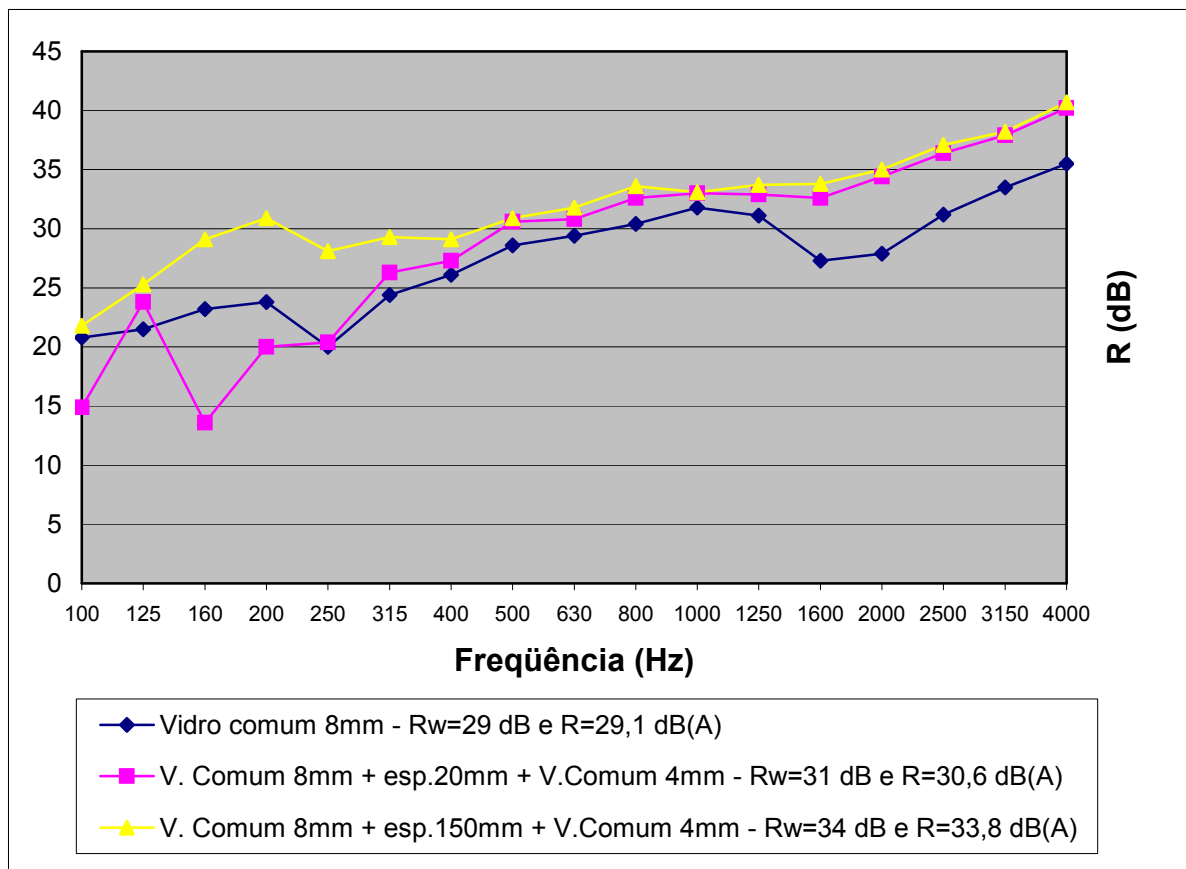


FIGURA 67 – Valores de R (dB) para três ensaios analisados comparativamente.

Com base nos dados que já foram apresentados e analisados, e considerando o exposto no gráfico acima, pode-se perceber que a utilização de uma vitragem dupla como solução acústica de fechamentos envidraçados só demonstra resultados compensatórios quando o afastamento entre os vidros é o suficiente para deslocar a frequência de ressonância  $f_0$  para valores muito baixos e, portanto, pouco audíveis (abaixo de 100 Hz).



Utilizando um vidro simples de 8 mm já alcançam-se valores de isolamento superiores para as baixas frequências, em comparação com a composição com 20 mm de afastamento entre os vidros. Isto ocorre pela existência da frequência de ressonância  $f_0$  em 160 Hz nestas composições, como já foi mencionado, atingindo praticamente uma queda de 10 dB de isolamento.

Este aspecto fica mais evidente quando comparamos um vidro simples de espessura equivalente à soma dos dois elementos da vitragem dupla. O gráfico a seguir apresenta uma comparação entre a composição dupla que está sendo estudada, e um vidro simples de 12 mm, conforme ensaio realizado por PUJOLLE (1978) e revisto na Figura 26, p.51.

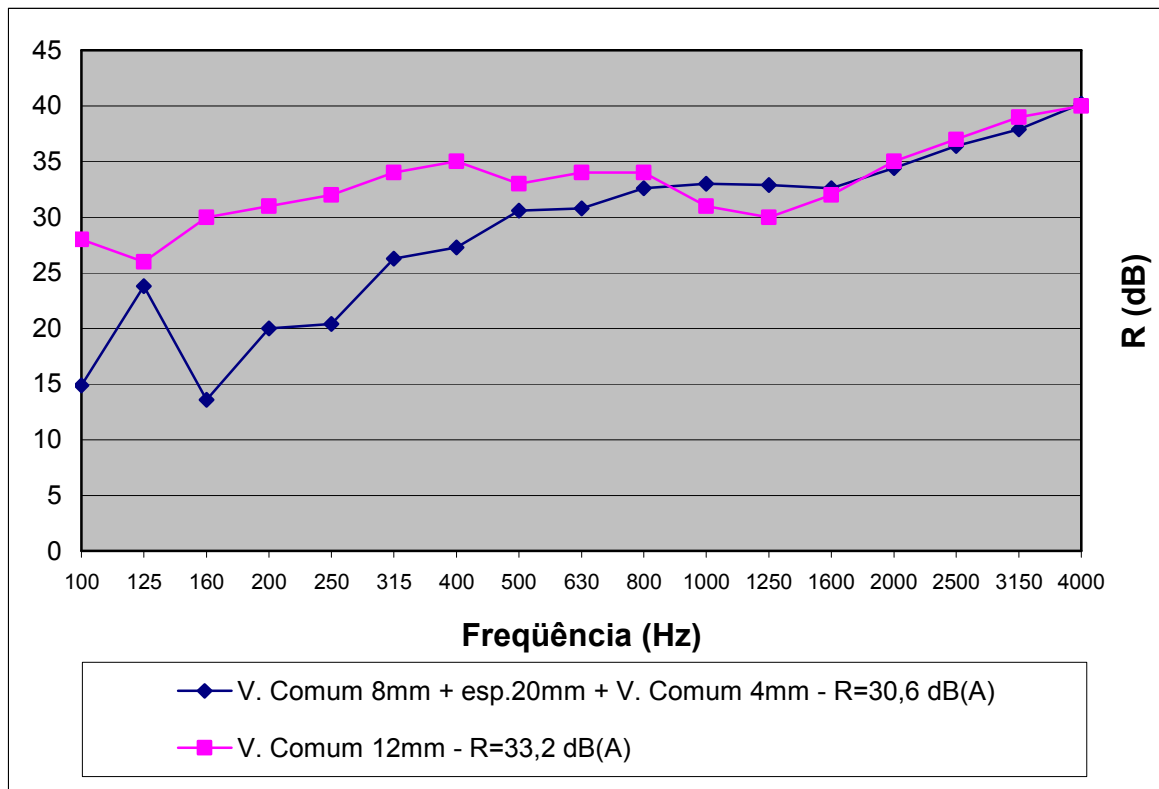


FIGURA 68 – Valores de R (dB) para vitragem simples e dupla de espessura equivalente.

Pode-se constatar um ganho marcante de isolamento do vidro simples, sobretudo nas baixas e médias frequências. De um modo global, a vitragem dupla com espaçamento de 20 mm obteve um isolamento de 30,6 dB(A), bem abaixo do equivalente a um vidro simples de 12 mm, que, conforme o revisto na literatura, fica em torno de 33,2 dB(A). Vale lembrar que, na escala decibel, uma diferença de 3 dB equivale ao dobro de capacidade de isolamento.

É importante ainda salientar que o ruído emitido nos ensaios é do tipo rosa e, como afirma PUJOLLE (1978), pode-se esperar uma diferença desfavorável de até 4,2 dB(A) para vidros duplos quando tratamos de ruído de tráfego. Isto porque a maior concentração de energia do ruído de tráfego se encontra nas baixas frequências, onde justamente está posicionada a frequência de ressonância deste tipo de vitragem dupla.

Quando afastamos mais os vidros entre si, a  $f_0$  desloca-se para frequências muito baixas, garantindo um isolamento superior e mais homogêneo ao longo de todo o espectro, sendo que a diferença quanto ao ruído de tráfego também diminui. Deste modo temos um vidro duplo com performances superiores reais quanto ao isolamento acústico, como é o caso das composições com afastamento acima de 50 mm.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados obtidos com os ensaios de isolamento acústico de diferentes tipos, espessuras e composições de vidros, chegou-se a algumas conclusões, as quais são apresentadas a seguir.

O comportamento dos vidros quando testados individualmente segue a lei da massa, ou seja, há um acréscimo no isolamento à medida que a espessura e conseqüentemente a massa da amostra aumentam. Por tratar-se de um material de espessuras delgadas, este incremento ocorre em proporções pequenas, variando em torno de 0,5 dB(A) para cada 1 mm de acréscimo na espessura dos vidros monolíticos comuns ou temperados.

Apesar das propriedades mecânicas diferenciadas, o vidro temperado apresenta uma curva de isolamento acústico com resultados muito próximos dos obtidos com os vidros monolíticos comuns, ocorrendo algumas variações apenas nas baixas freqüências.

A freqüência crítica  $f_c$  desses dois tipos de vidros, ou seja, onde há uma quebra no isolamento do material, ocorrem nas mais altas freqüências quanto menor for a espessura da amostra. Assim, nos vidros testados, varia de 1.600 Hz para 8 mm, até acima de 4.000 Hz para 3 mm, sendo da ordem de aproximadamente 5 a 7 dB de queda.

Os vidros laminados, por outro lado, apresentam um ganho significativo de isolamento quando utilizados individualmente. Isto se deve a sua composição com um outro material, o filme de butiral de polivinil (PVB), que garante a suavização do efeito da freqüência crítica. Há então, uma maior homogeneidade de isolamento em todas as freqüências e um ganho geral de performance de 2 dB em relação aos outros tipos de vidro com mesma espessura.

As composições de vitragem dupla realizadas com os vidros demonstraram o ganho de isolamento acústico que se pode esperar nestes casos. Com a variação crescente do afastamento entre as amostras, a influência da camada de ar foi estudada, sendo constatado:

Quando se realiza uma combinação com espaçamentos pequenos entre os vidros, ocorre o fenômeno da ressonância do sistema massa-mola-massa, com uma queda muito acentuada de isolamento nesta frequência característica.

Assim, na maioria das vezes, um vidro simples, mesmo que de menor espessura, garante um desempenho melhor nas baixas frequências. Se compararmos um vidro duplo com pouco afastamento e um vidro simples de massa equivalente à soma dos dois elementos, a performance do vidro simples é nitidamente superior, sobretudo nas baixas e médias frequências. O isolamento global nesses casos fica próximo de 3 dB(A) de ganho, o que, na escala decibel, equivale ao dobro de isolamento.

Nos ensaios realizados, nota-se que as composições com 20 mm de afastamento, possuem a frequência de ressonância  $f_0$  em 160 Hz. Quando a camada de ar entre os vidros aumenta, a frequência de ressonância tende a se posicionar em frequências inferiores a 100 Hz, que são pouco audíveis ao ouvido humano e não influenciam nos resultados. É o que ocorre nos casos testados com 50, 100 e 150 mm de espaçamento. A partir desse ponto há um ganho significativo de isolamento nas vitragens duplas.

Desta forma, quando o espaçamento aumenta de 20 mm para 50 mm, as mesmas combinações apresentam uma melhora de isolamento de 1 a 2 dB. Nos próximos afastamentos testados, de 100 e 150 mm, este aumento ocorre de forma mais lenta.

Com base nisto, pode-se verificar, em relação ao afastamento entre os vidros duplos, que o isolamento acústico aumenta relativamente rápido com a espessura da lamina de ar, quando a mesma é pequena. Porém, a partir de um determinado espaçamento, quando deslocamos a  $f_0$  para abaixo de 100 Hz, a proporção de crescimento é menor. Nos casos testados, foi necessário aumentar 100 mm de camada de ar, para que resultasse uma média de apenas 0,5 dB(A) de ganho de isolamento.

Então, conclui-se por fim que a utilização de um vidro duplo só demonstra resultados compensatórios quando não há o aparecimento da frequência de ressonância do sistema. Assim, muitas vezes é preferível a utilização de um vidro simples de maior espessura, mas que garanta um melhor isolamento nas baixas frequências, onde há a maior concentração de energia do ruído de tráfego, ou seja, do ruído mais presente em nossas cidades e que atinge de modo mais intenso as edificações.

Em relação aos vidros laminados, que apresentam melhor desempenho quando utilizados individualmente, pode-se constatar que não repetem sua performance nas composições de vitragem dupla. Isto acontece porque o ganho de isolamento dos vidros laminados é devido à inexistência da frequência crítica, o que já ocorre naturalmente quando realizamos uma combinação de dois elementos com frequências críticas diferentes.

Assim, observa-se uma proximidade de comportamento quanto ao isolamento acústico, independente dos tipos de vidro que estão sendo agrupados. Os melhores desempenhos estão relacionados muito mais a soma das espessuras dos dois elementos, ou seja, maior massa, maior isolamento.

Outro aspecto relevante de ser mencionado em relação aos estudos acústicos com vidros é o tratamento de dados utilizado. Ao adotar-se o índice de redução acústica geral ( $R_w$ ), proposto pela Norma Internacional ISO 717, verifica-se um agrupamento de resultados idênticos em várias das amostras ensaiadas. Isto se deve à espessura delgada do material, dificultando uma análise mais detalhada. Já ao trabalhar-se com o isolamento global em  $dB(A)$ , essas variações, mesmo que pequenas, aparecem nos resultados e há a possibilidade de uma classificação crescente de performance.

Também as questões relacionadas com a metodologia de execução dos ensaios devem ser salientadas. Os dados levantados na revisão bibliográfica sobre testes realizados com vidros não especificam todos os aspectos envolvidos, sendo previsíveis diferenças de valores em relação ao estudo realizado. Uma maior padronização em relação à área da amostra ensaiada; sistemas de fixação e estanqueidade; utilização ou não de ar desidratado ou gases especiais entre os vidros, etc. permitiria dados mais precisos.

Ainda sobre a metodologia dos ensaios, levanta-se a questão relacionada com o tipo de ruído a ser emitido em laboratório, segundo procedimentos da Norma Internacional ISO 140/III, o chamado ruído rosa, o qual não reflete as condições reais de exposição das nossas edificações no dia-a-dia. Seria importante uma normalização em relação ao ruído de tráfego, a fim de proporcionar uma análise mais precisa sobre o comportamento dos materiais frente à realidade dos centros urbanos.

Com os dados pesquisados sobre vidros e com os resultados obtidos a partir de ensaios laboratoriais normalizados, atingem-se os objetivos deste trabalho de investigar o comportamento quanto ao isolamento acústico de diferentes tipos, espessuras e composições de vidros utilizados na construção civil. Estes resultados são subsídios fundamentais para a correta especificação deste material por parte dos profissionais envolvidos.

Conclui-se, por fim, que é perfeitamente viável a utilização do vidro, do ponto de vista acústico, para os mais variados fins em uma obra arquitetônica. Espera-se, assim, despertar o interesse de arquitetos, engenheiros e fabricantes no que diz respeito à importância das questões acústicas em seus projetos, especialmente quanto à utilização do vidro, um material atraente, valorizado, de grande potencial estético e indispensável como elemento que garante luz e comunicação, que são necessidades básicas do ser humano.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

- Realizar testes com o uso de diferentes elastômeros para a fixação dos caixilhos e vidros;
- Utilizar materiais absorventes acústicos na periferia dos caixilhos entre os vidros duplos;
- Realizar testes com vidros laminados de múltiplas camadas e com vidros laminados especiais acústicos, a fim de verificar ganhos de performance.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acústica – Medição de isolamento sonoro em construções e elementos construtivos – medição em laboratório de isolamento sonoro aéreo de elementos de construção**: Projeto de norma 02:135.01-001. Rio de Janeiro, 1997.

BRÜEL & KJAER. **Master catalogue – Eletronic instruments**. Denmark: K. Larsen & Son A/S, 1989.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT CSTB. **Acoustique, sciences du batiment**. Reef – volume II. França: CSTB, 1982.

DOELLE, L. L. **Environmental acoustics**. New York: McGraw-Hill Inc, 1972.

GERGES, S. N. Y. **Ruído fundamentos e controle**. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 1992.

GOMEZ, G. O. **Acústica aplicada a la construcción: el ruído**. Santiago de Cuba: Ediciones ISPJAM, 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements**: ISO 140.

\_\_\_\_\_. **Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room**: ISO 354, 1985.

\_\_\_\_. **Rating of sound insulation in buildings and building elements**: ISO 717, 1996.

JOBIM, M.S.S. **Métodos de avaliação do nível de satisfação dos clientes de imóveis residenciais**. Porto Alegre: UFRGS, 1997. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

MÉNDEZ, A., STORNINI, A. J., SALAZAR, E. B. et al. **Acustica arquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1994.

PUJOLLE, J. **La pratique de l'isolation acoustique des batiments**. Paris: Editions du Moniteur, 1978.

RECCHIA, C.A. **Estudo do desempenho acústico dos elementos construtivos que compõem a fachada**. Santa Maria: UFSM, 2001. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

SAINT-GOBAIN GLASS. **Manual do vidro**. 2000.

SANCHIDRIAN, C.D. **Condiciones acusticas en la edificación: diseño y realidade**. In: I Congresso Iberoamericano de Acústica, I Simposio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do MERCOSUR, 18º Encontro da SOBRAC, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 83-92.

SANCHO, V.M., SENCHERMES, A.G. **Curso de acústica em arquitetura**. Madrid: COAM, 1982.

SANTOS, J.L.P., MUTTI, C.N. **Qualificação do laboratório de isolamento acústica da UFSM de acordo com a norma ISO 140**. Revista Acústica e Vibrações – SOBRAC, v. 09, junho, 1991.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica & condicionamento de ar**. Belo Horizonte: EDTAL, 1997.



SILVA, D.T. **Estudo da isolação sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas.** Santa Maria: UFSM, 2000. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

TADEU, J.B. & MATEUS, D.M.R. **Sound transmission through single, double and triple glazing. Experimental evaluation.** Applied Acoustics, 62, p.307-325, 2001.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acústica – Medição da absorção sonora em câmaras reverberantes – Método de ensaio**: Projeto nº 02:135:01-002. Rio de Janeiro, 1999.

\_\_\_\_. **Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade: procedimento**: NBR 10151. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_. **Níveis de ruído para conforto acústico - procedimento**: NBR 10152. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_. **Acústica em edificações - terminologia**: NBR 10830. Rio de Janeiro, 1989.

BERANEK, L. L. **Noise and vibration control**. New York: McGraw-Hill, 1971.

BRONDANI, S. A. **Pisos flutuantes: análise da performance acústica para ruídos de impacto**. Santa Maria: UFSM, 1999. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

DE MARCO, C. S. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982.

PAIXÃO, D.X. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. Florianópolis: UFSC, 2002. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

KIM, Y.T., KIM, H.C., JUNG, S.S., JHO, M.J. & SUH, S.J. **Dependence of coincidence frequency in double-glazed window on glass thickness and interpane cavity.** Applied Acoustics, 63, p.927-936, 2002.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997.

NEPOMUCENO, L. de A. **Elementos de acústica física e psicoacústica.** São Paulo: Edgard Blücher, 1994.

PAZ, G. S. **Estudo da redução do “NPS” através da introdução de absorventes acústicos em ambiente com fachada exposta à poluição sonora externa.** Santa Maria: UFSM, 2003. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

PICADA, G. S. **Potencial das sobras de porongos da fabricação de cuias como absorventes sonoros.** Santa Maria, 2002. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

SANTOS, J.C.P. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar.** São Paulo: USP, 2002. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, Campus São Carlos, 2002.

SANTOS, J.P. **Acústica aplicada às edificações.** Santa Maria: UFSM, Notas de aula. 1998.

REVISTA ACÚSTICA E VIBRAÇÕES. Florianópolis: SOBRAC.

REVISTA PROJETO & DESIGN. São Paulo: Arco – Mensal.

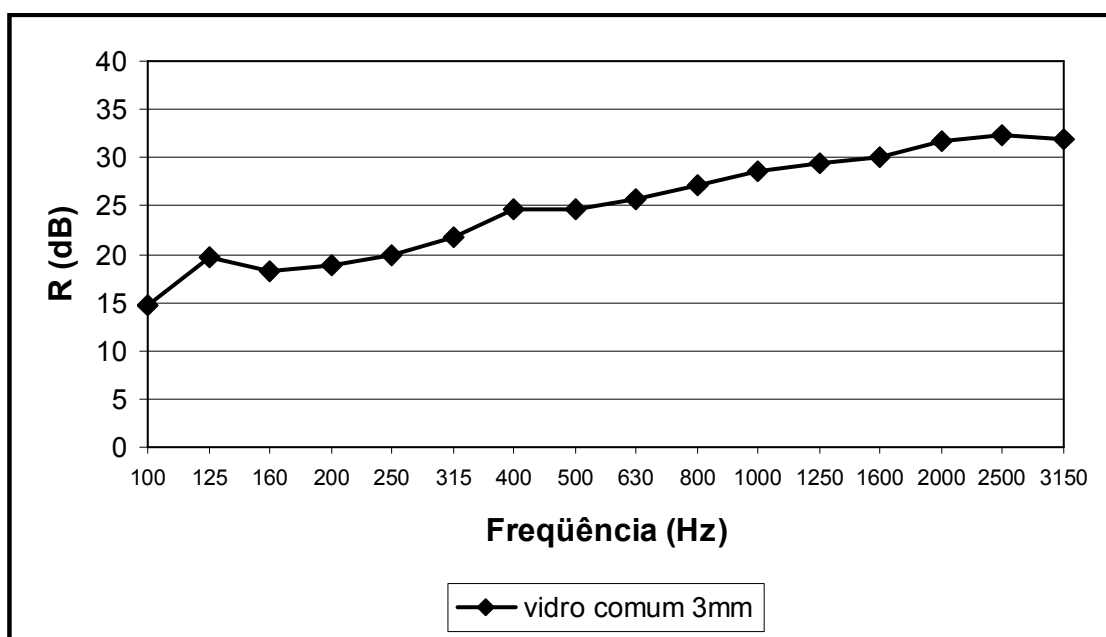
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses – MDT.** Santa Maria: UFSM, 2005.

## ANEXO I – Descrição dos ensaios realizados

### Ensaio nº 01

**Produto ensaiado:** Vidro monolítico comum de 3 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 3 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Frequência	R do vidro
100	14,8
125	19,6
160	18,2
200	18,8
250	20,0
315	21,7
400	24,6
500	24,6
630	25,8
800	27,2
1000	28,7
1250	29,4
1600	30,0
2000	31,7
2500	32,3
3150	31,9

**R<sub>w</sub> (dB) = 28,0**

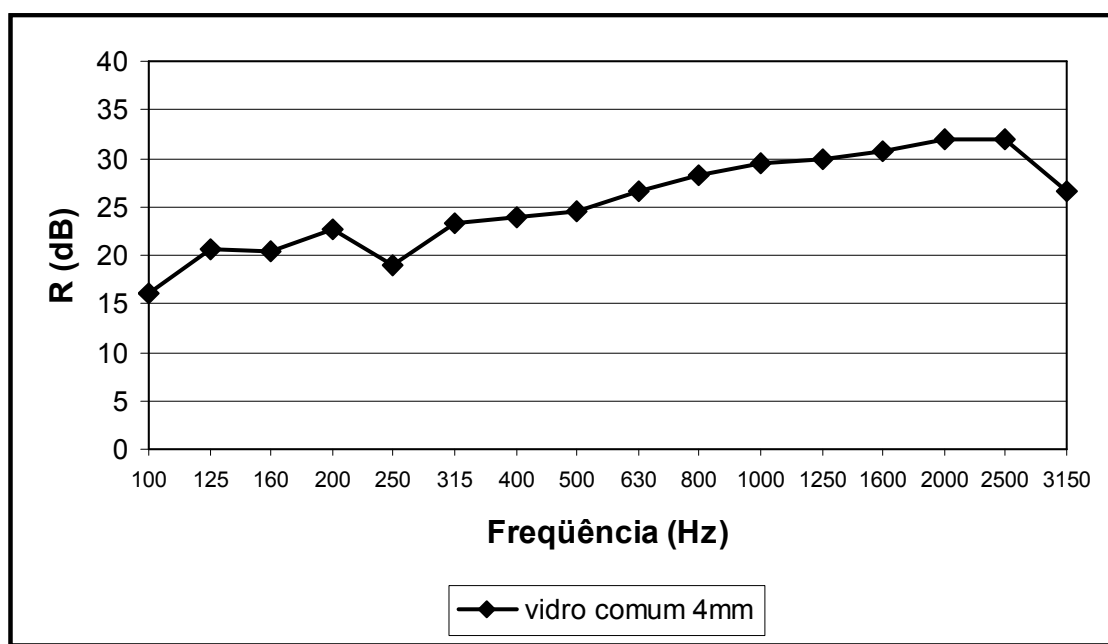
**R (dB(A)) = 27,2**

**F<sub>c</sub> = acima 4.000 Hz**

**Ensaio nº 02**

**Produto ensaiado:** Vidro monolítico comum de 4 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 4 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Frequência	R do vidro
100	16,0
125	20,7
160	20,5
200	22,7
250	18,9
315	23,4
400	24,0
500	24,6
630	26,6
800	28,2
1000	29,4
1250	30,0
1600	30,7
2000	31,9
2500	32,0
3150	26,5

$$R_w \text{ (dB)} = 28,0$$

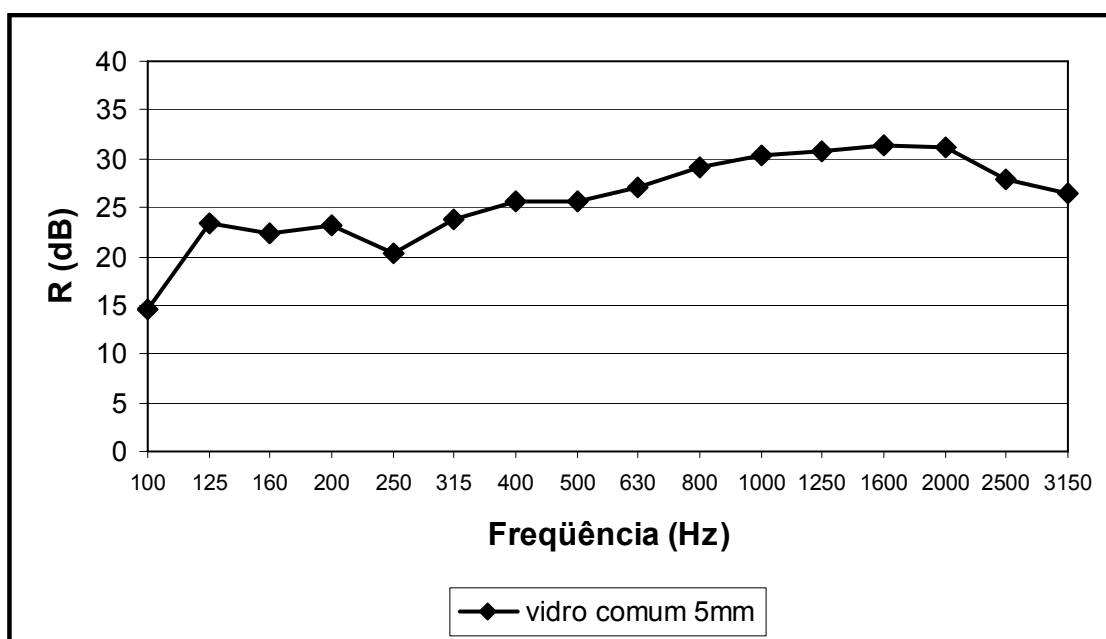
$$R \text{ (dB(A))} = 27,3$$

$$F_c = 4.000 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 03**

**Produto ensaiado:** Vidro monolítico comum de 5 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 5 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Freqüência	R do vidro
100	14,5
125	23,3
160	22,4
200	23,1
250	20,4
315	23,8
400	25,7
500	25,6
630	27,1
800	29,2
1000	30,3
1250	30,7
1600	31,3
2000	31,2
2500	27,9
3150	26,4

$$R_w \text{ (dB)} = 28,0$$

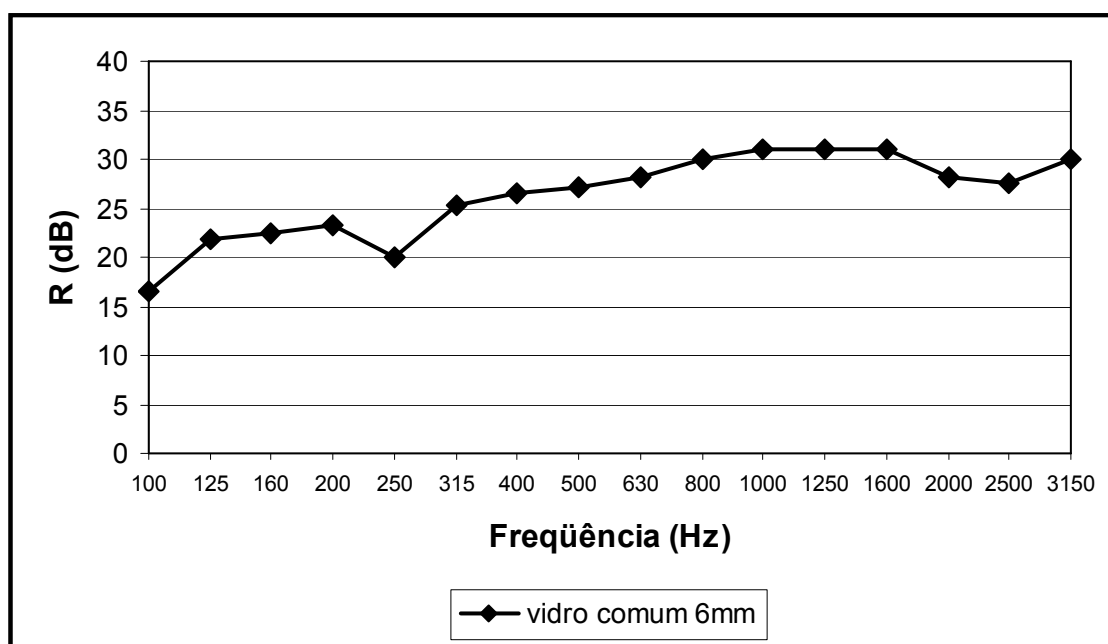
$$R \text{ (dB(A))} = 27,9$$

$$F_c = 3.150 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 04**

**Produto ensaiado:** Vidro monolítico comum de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Frequência	R do vidro
100	16,6
125	21,8
160	22,5
200	23,3
250	20,1
315	25,4
400	26,6
500	27,1
630	28,2
800	30,0
1000	31,1
1250	31,1
1600	31,0
2000	28,1
2500	27,6
3150	30,0

$$R_w \text{ (dB)} = 29,0$$

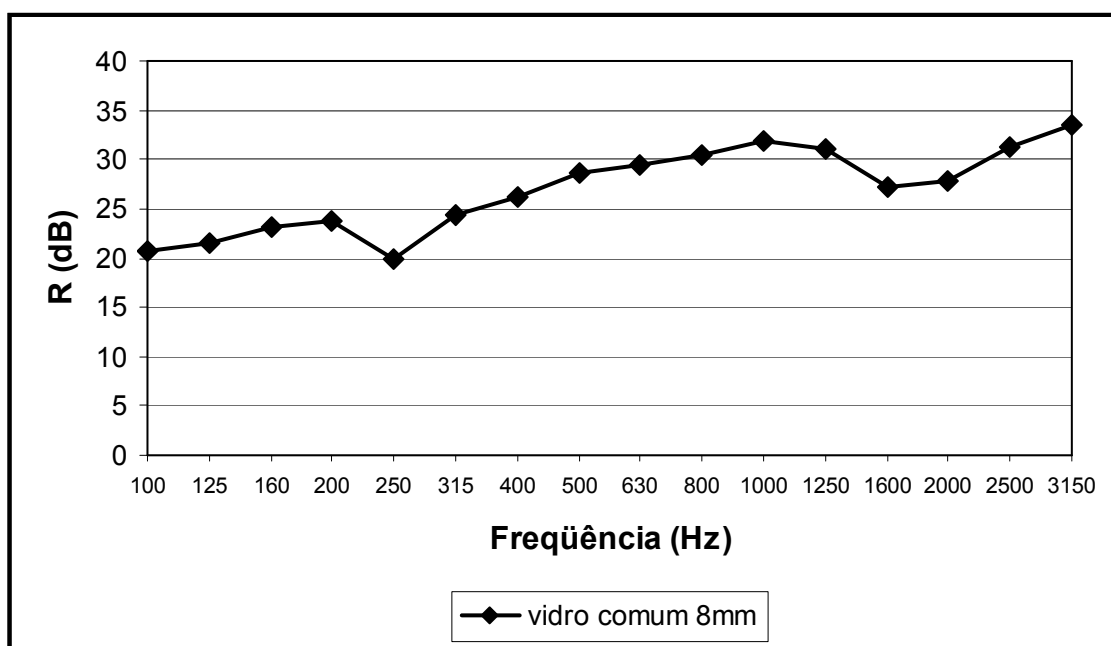
$$R \text{ (dB(A))} = 28,7$$

$$F_c = 2.500 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 05**

**Produto ensaiado:** Vidro monolítico comum de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Freqüência	R do vidro
100	20,8
125	21,5
160	23,2
200	23,8
250	20,0
315	24,4
400	26,1
500	28,6
630	29,4
800	30,4
1000	31,8
1250	31,1
1600	27,3
2000	27,9
2500	31,2
3150	33,5

$$R_w \text{ (dB)} = 29,0$$

$$R \text{ (dB(A))} = 29,1$$

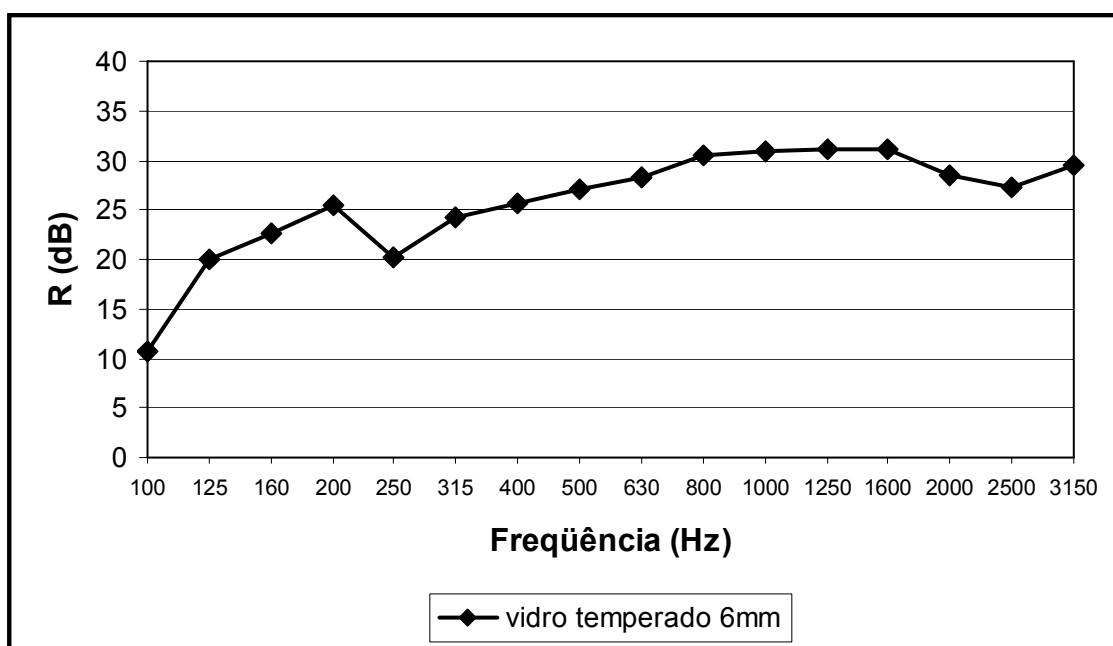
$$F_c = 1.600 \text{ Hz}$$



**Ensaio nº 06**

**Produto ensaiado:** Vidro temperado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Frequência	R do vidro
100	10,8
125	19,9
160	22,6
200	25,4
250	20,2
315	24,3
400	25,7
500	27,1
630	28,3
800	30,5
1000	31,0
1250	31,2
1600	31,1
2000	28,4
2500	27,3
3150	29,4

$$R_w \text{ (dB)} = 29,0$$

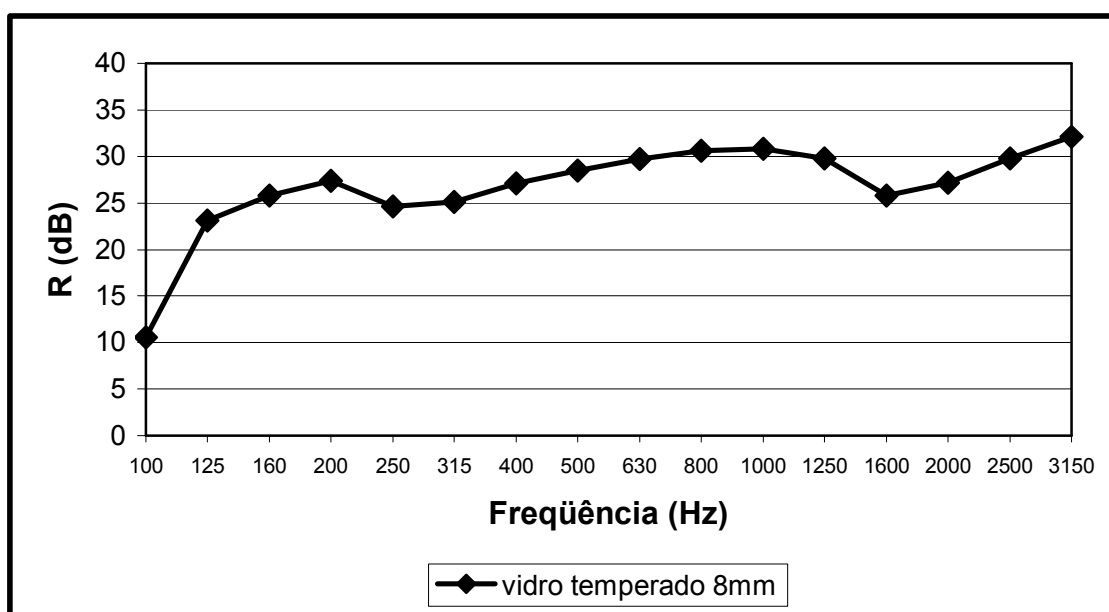
$$R \text{ (dB(A))} = 28,4$$

$$F_c = 2.500 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 07**

**Produto ensaiado:** Vidro temperado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Freqüência	R do vidro
100	10,6
125	23,1
160	25,8
200	27,4
250	24,6
315	25,1
400	27,1
500	28,5
630	29,7
800	30,6
1000	30,8
1250	29,8
1600	25,8
2000	27,2
2500	29,8
3150	32,1

$$R_w \text{ (dB)} = 29,0$$

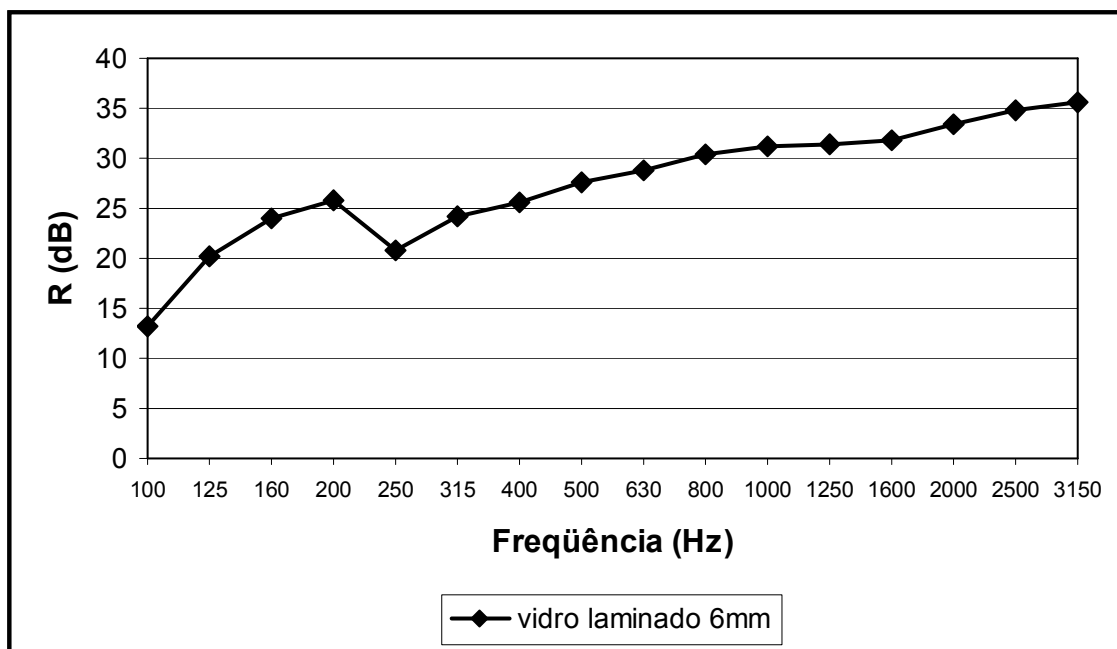
$$R \text{ (dB(A))} = 28,6$$

$$F_c = 1.600 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 08**

**Produto ensaiado:** Vidro laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro laminado de 6 mm de espessura (vidro comum 3 mm + filme PVB + vidro comum 3 mm), com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Freqüência	R do vidro
100	13,3
125	20,3
160	24,0
200	25,9
250	20,9
315	24,3
400	25,7
500	27,6
630	28,9
800	30,4
1000	31,3
1250	31,4
1600	31,8
2000	33,5
2500	34,8
3150	35,6

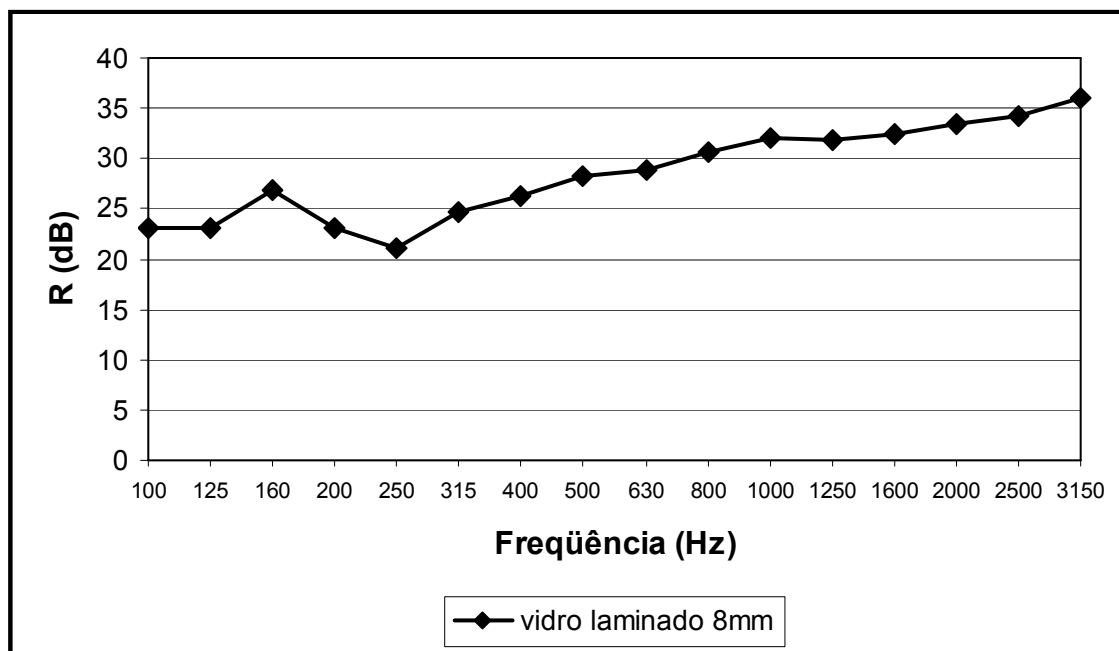
**R<sub>w</sub> (dB) = 31,0**

**R (dB(A)) = 30,3**

**Ensaio n° 09**

**Produto ensaiado:** Vidro laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro laminado de 8 mm de espessura (vidro comum 4 mm + filme PVB + vidro comum 4 mm), com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixado em quadro de alumínio.



Freqüência	R do vidro
100	23,0
125	23,0
160	26,8
200	23,0
250	21,1
315	24,6
400	26,2
500	28,3
630	28,9
800	30,7
1000	32,0
1250	31,8
1600	32,4
2000	33,5
2500	34,3
3150	36,0

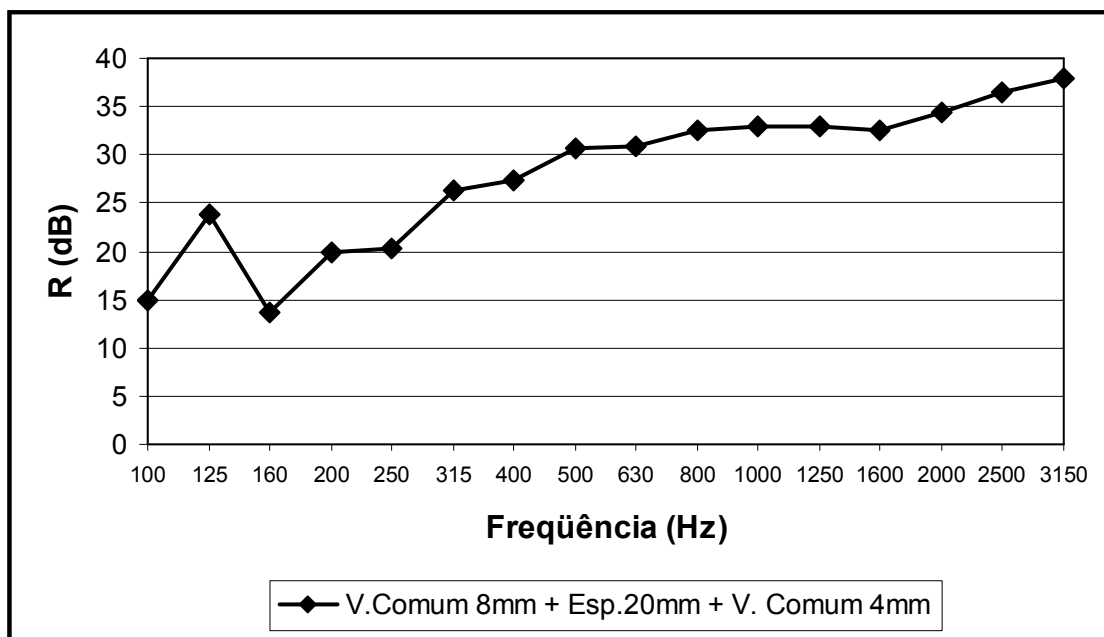
**R<sub>w</sub> (dB) = 31,0**

**R (dB(A)) = 30,9**

**Ensaio nº 10**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo - monolítico comum de 8 mm e 4 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro monolítico comum de 4 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 20 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	14,9
125	23,8
160	13,6
200	20,0
250	20,4
315	26,3
400	27,3
500	30,6
630	30,8
800	32,6
1000	33,0
1250	32,9
1600	32,6
2000	34,4
2500	36,4
3150	37,9

$$R_w \text{ (dB)} = 31,0$$

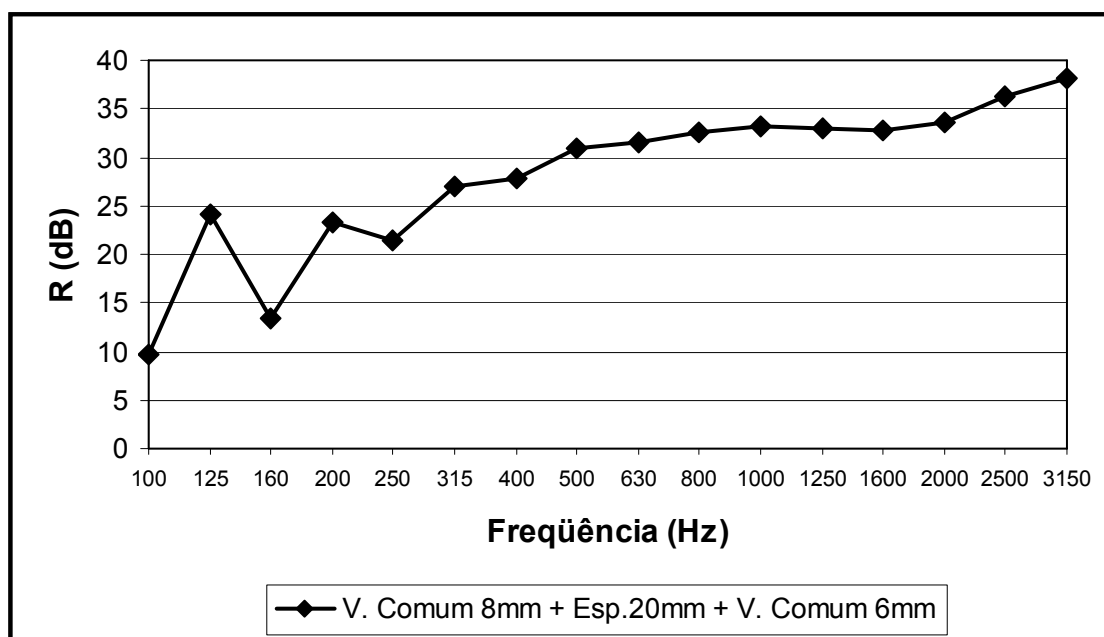
$$R \text{ (dB(A))} = 30,6$$

$$F_o = 160 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 11**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo - monolítico comum de 8 mm e 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro monolítico comum de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 20 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	9,7
125	24,2
160	13,4
200	23,2
250	21,4
315	27,1
400	27,8
500	31,0
630	31,5
800	32,5
1000	33,1
1250	33,0
1600	32,7
2000	33,7
2500	36,2
3150	38,1

$$R_w \text{ (dB)} = 32,0$$

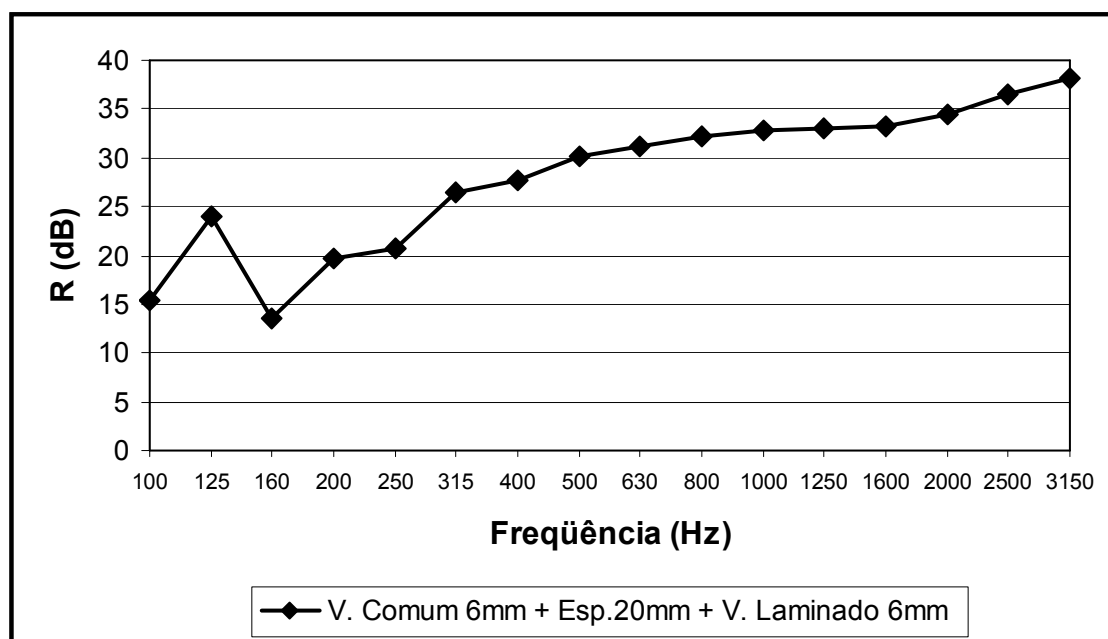
$$R \text{ (dB(A))} = 30,5$$

$$F_o = 160 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 12**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo - monolítico comum de 6 mm e laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura + vidro laminado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 20 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	15,4
125	23,9
160	13,5
200	19,6
250	20,7
315	26,4
400	27,6
500	30,2
630	31,2
800	32,2
1000	32,9
1250	33,0
1600	33,2
2000	34,5
2500	36,6
3150	38,1

$$R_w \text{ (dB)} = 31,0$$

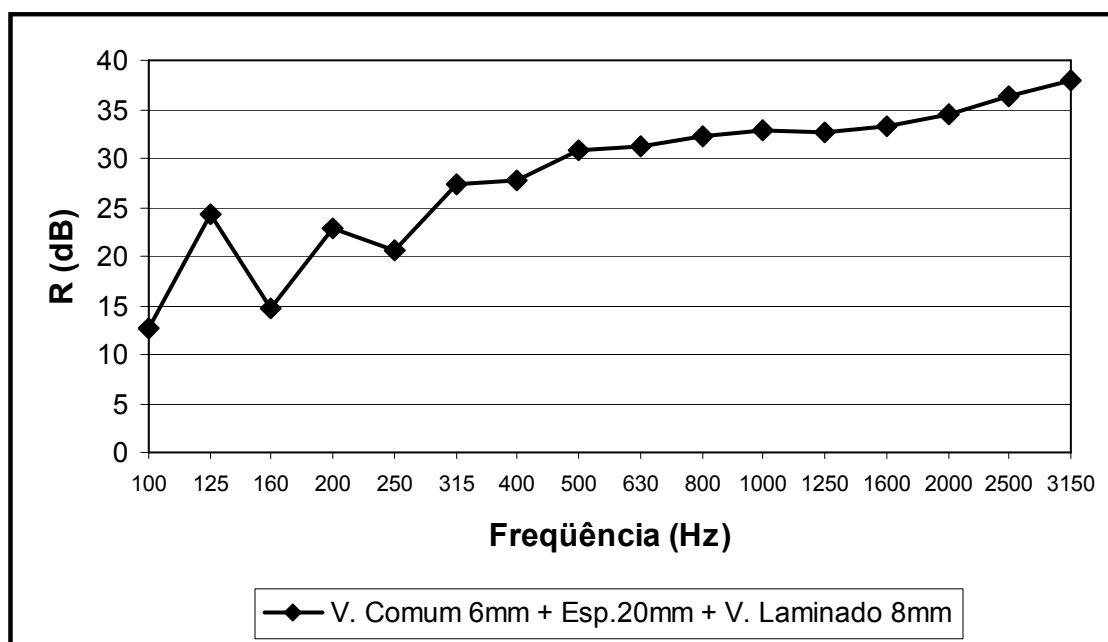
$$R \text{ (dB(A))} = 30,7$$

$$F_o = 160 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 13**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo - monolítico comum de 6 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 20 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	12,6
125	24,2
160	14,6
200	22,8
250	20,7
315	27,4
400	27,8
500	30,8
630	31,3
800	32,2
1000	32,9
1250	32,6
1600	33,3
2000	34,5
2500	36,4
3150	38,0

$$R_w \text{ (dB)} = 32,0$$

$$R \text{ (dB(A))} = 31,0$$

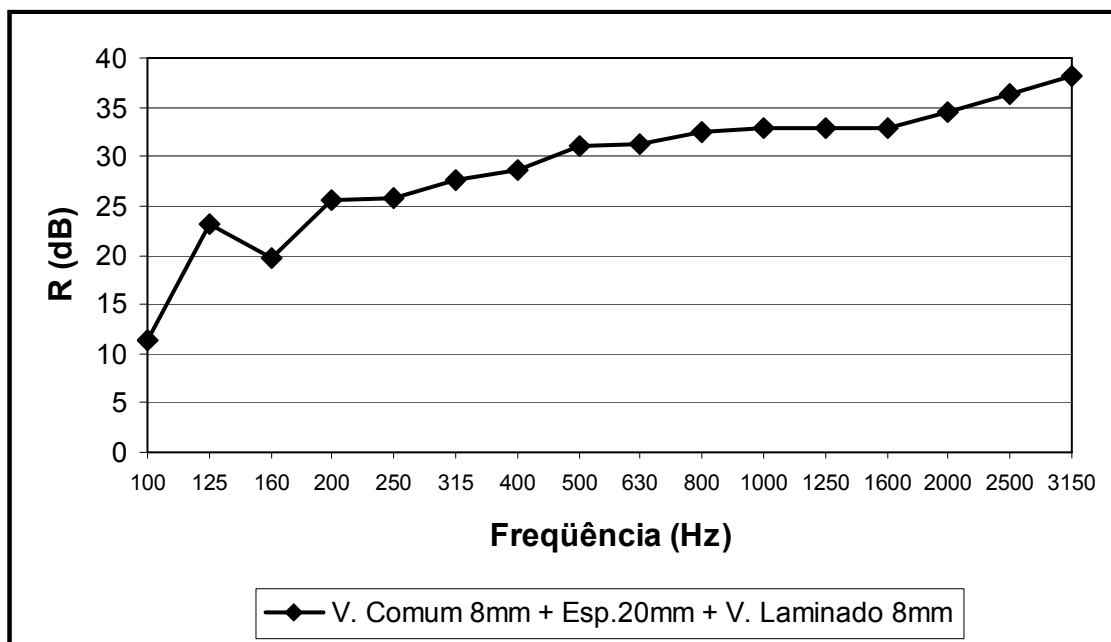
$$F_o = 160 \text{ Hz}$$



**Ensaio nº 14**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo - monolítico comum de 8 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 20 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	11,4
125	23,1
160	19,6
200	25,6
250	25,7
315	27,6
400	28,6
500	31,0
630	31,2
800	32,4
1000	32,9
1250	32,9
1600	32,9
2000	34,6
2500	36,4
3150	38,2

**R<sub>w</sub> (dB) = 33,0**

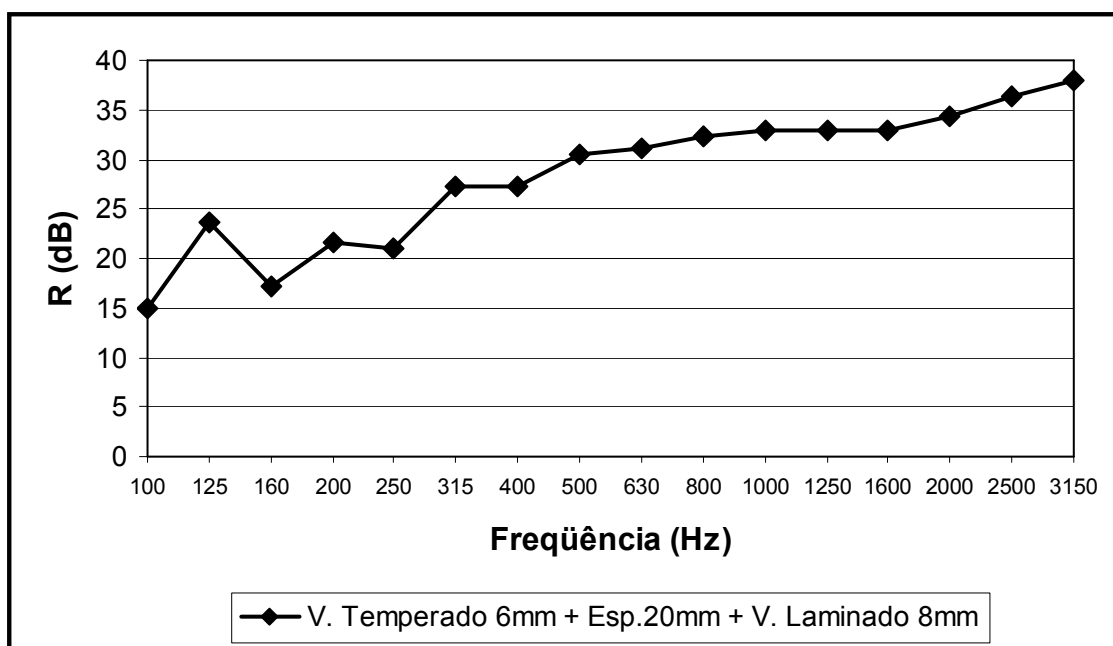
**R (dB(A)) = 32,1**

**F<sub>o</sub> = 160 Hz**

**Ensaio nº 15**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo - temperado de 6 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 20 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	15,0
125	23,6
160	17,2
200	21,7
250	21,0
315	27,3
400	27,3
500	30,5
630	31,2
800	32,3
1000	33,0
1250	32,9
1600	33,0
2000	34,4
2500	36,4
3150	37,9

$$R_w \text{ (dB)} = 32,0$$

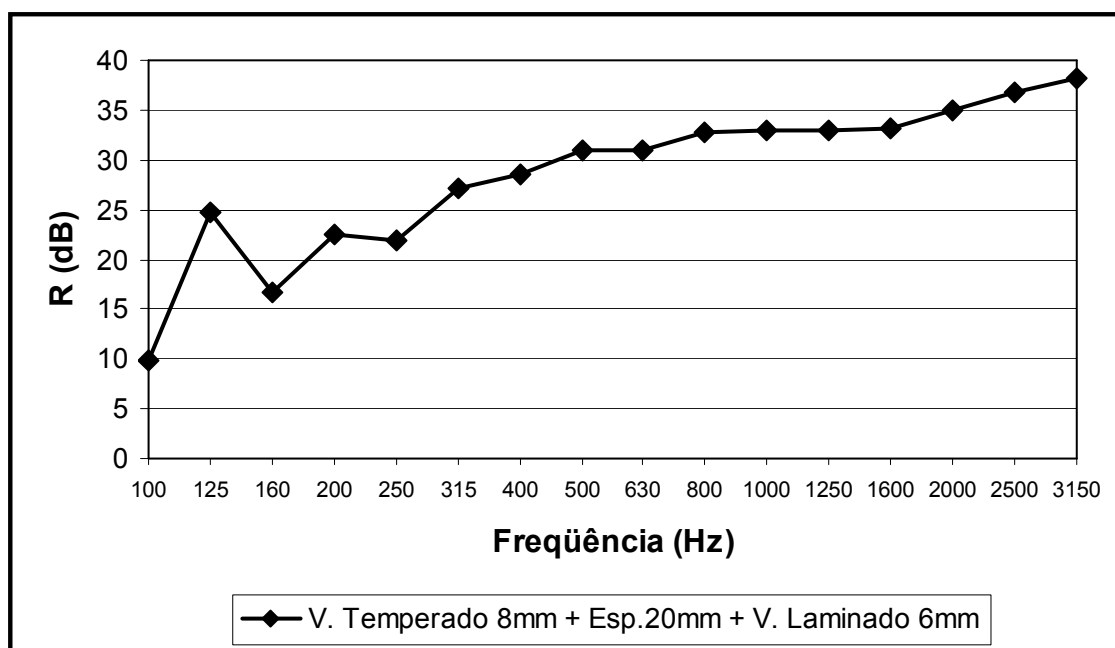
$$R \text{ (dB(A))} = 31,4$$

$$F_o = 160 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 16**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo - temperado de 8 mm e laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 8 mm de espessura + vidro laminado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 20 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	9,8
125	24,8
160	16,7
200	22,5
250	22,0
315	27,1
400	28,6
500	30,9
630	31,0
800	32,8
1000	33,0
1250	33,0
1600	33,2
2000	34,9
2500	36,7
3150	38,2

$$R_w \text{ (dB)} = 32,0$$

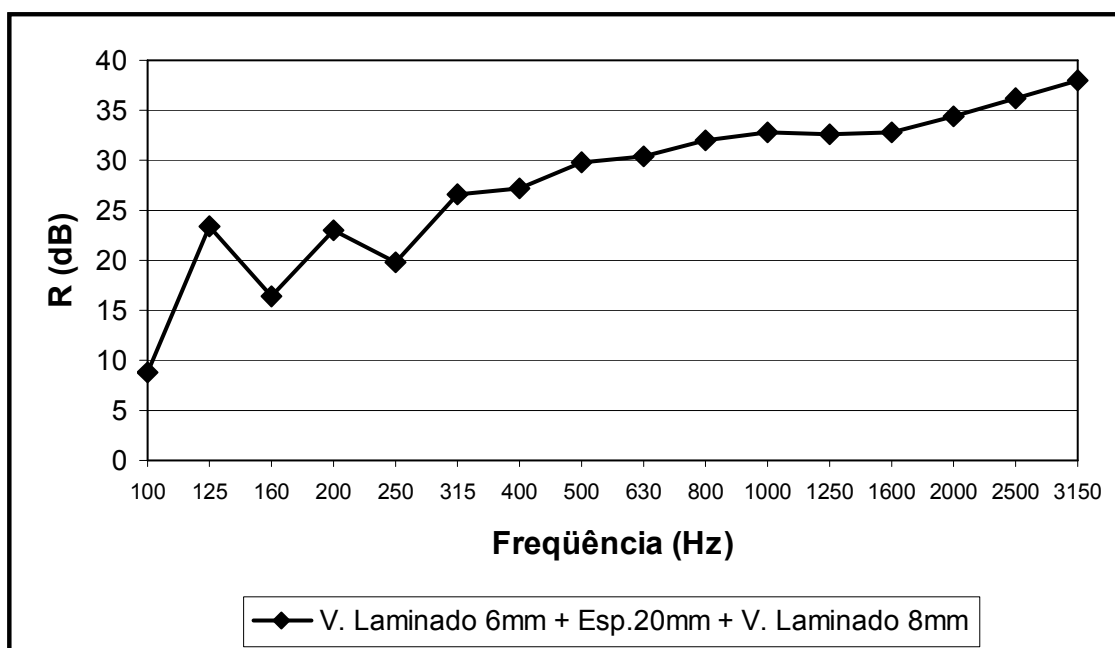
$$R \text{ (dB(A))} = 31,2$$

$$F_o = 160 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 17**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo - laminado de 6 mm.e 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro laminado de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 20 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	8,9
125	23,5
160	16,4
200	23,0
250	19,8
315	26,6
400	27,3
500	29,8
630	30,5
800	32,1
1000	32,8
1250	32,6
1600	32,9
2000	34,5
2500	36,3
3150	38,0

$$R_w \text{ (dB)} = 31,0$$

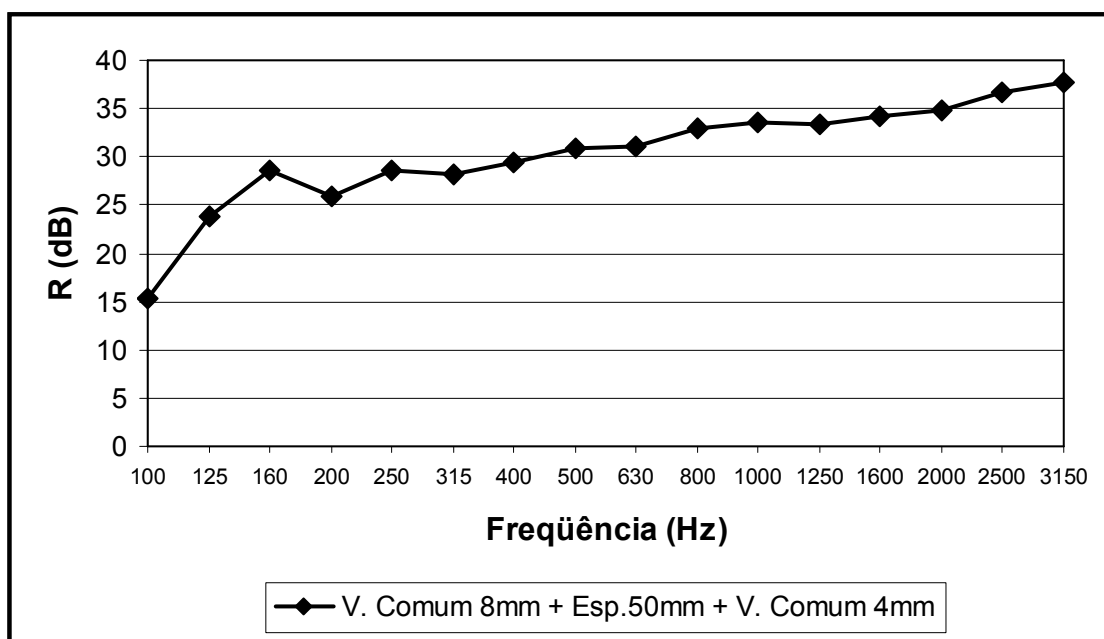
$$R \text{ (dB(A))} = 30,5$$

$$F_o = 160 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 18**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e 4 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro monolítico comum de 4 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 50 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	15,4
125	23,9
160	28,5
200	26,0
250	28,6
315	28,1
400	29,5
500	30,8
630	31,0
800	33,0
1000	33,6
1250	33,3
1600	34,1
2000	34,8
2500	36,7
3150	37,7

**R<sub>w</sub> (dB) = 33,0**

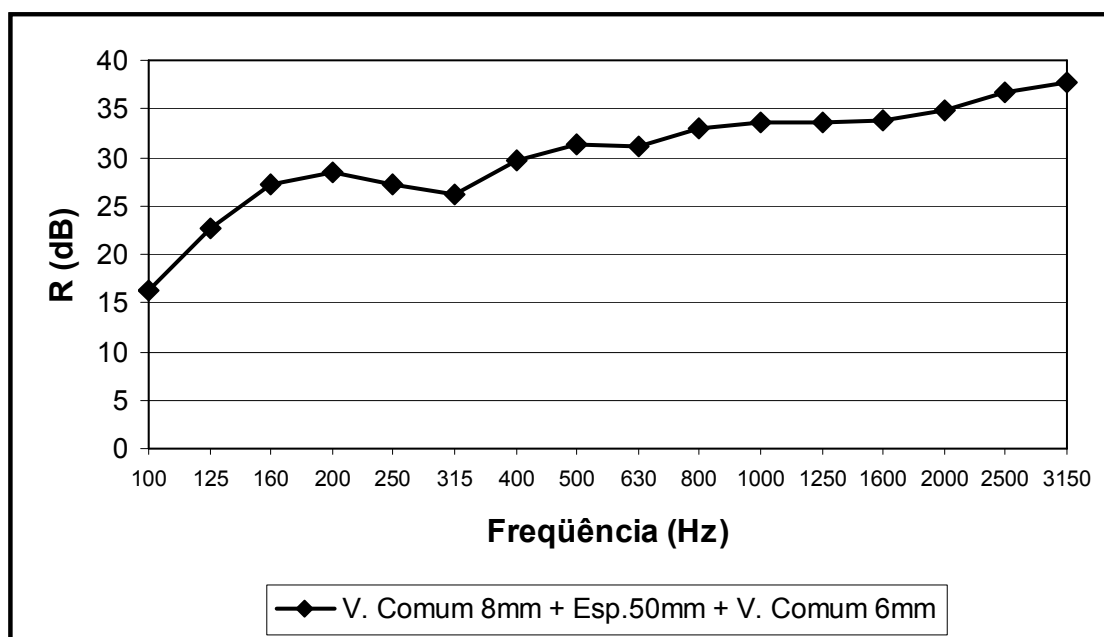
**R (dB(A)) = 33,2**

**F<sub>0</sub> = < 100 Hz**

**Ensaio nº 19**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro monolítico comum de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 50 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	16,3
125	22,7
160	27,3
200	28,4
250	27,2
315	26,2
400	29,6
500	31,3
630	31,2
800	33,0
1000	33,6
1250	33,6
1600	33,9
2000	34,8
2500	36,7
3150	37,7

**R<sub>w</sub> (dB) = 33,0**

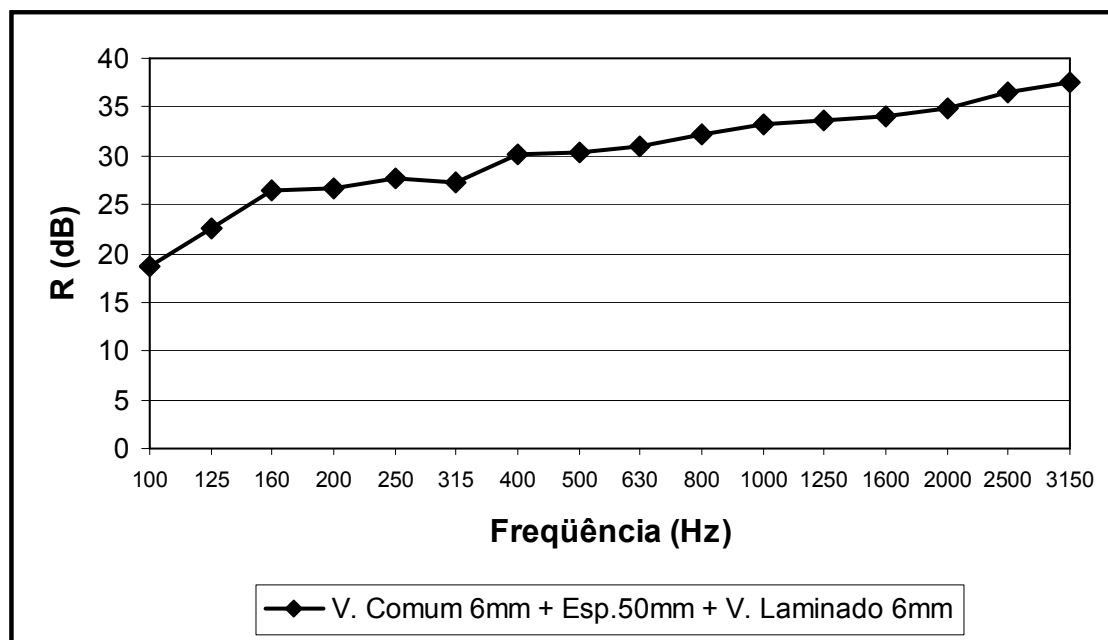
**R (dB(A)) = 33,2**

**F<sub>0</sub> = < 100 Hz**

**Ensaio nº 20**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 6 mm e laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura + vidro laminado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 50 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	18,7
125	22,6
160	26,4
200	26,7
250	27,6
315	27,2
400	30,1
500	30,4
630	30,9
800	32,3
1000	33,2
1250	33,6
1600	34,0
2000	34,8
2500	36,6
3150	37,6

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

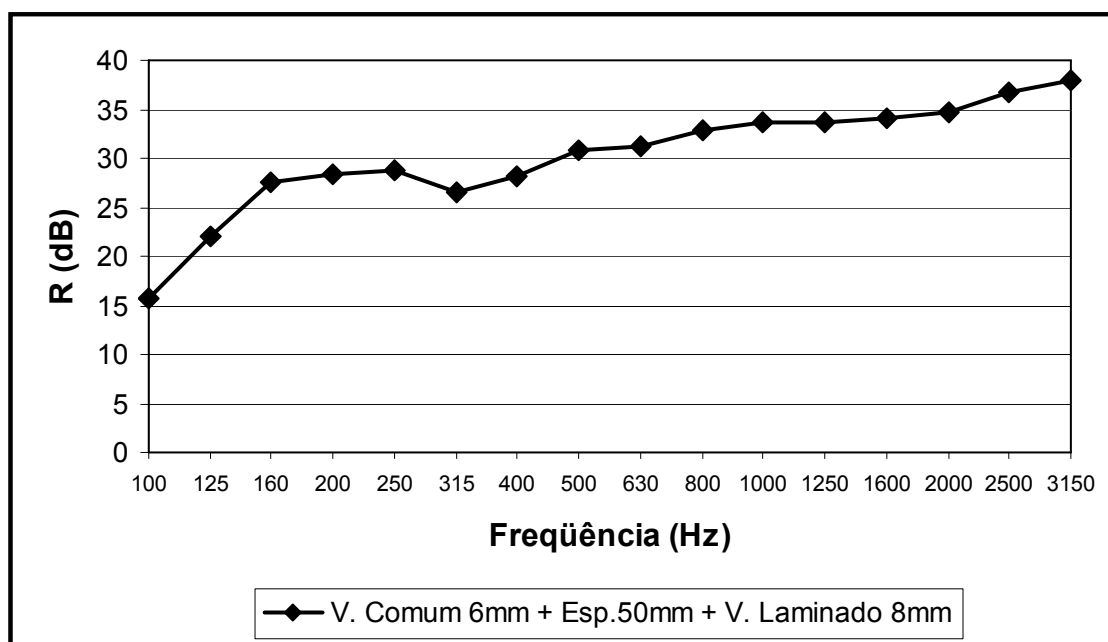
$$R \text{ (dB(A))} = 33,1$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 21**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 6 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 50 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	15,8
125	22,1
160	27,5
200	28,3
250	28,7
315	26,5
400	28,1
500	30,8
630	31,3
800	32,9
1000	33,7
1250	33,6
1600	34,0
2000	34,7
2500	36,8
3150	38,0

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

$$R \text{ (dB(A))} = 33,1$$

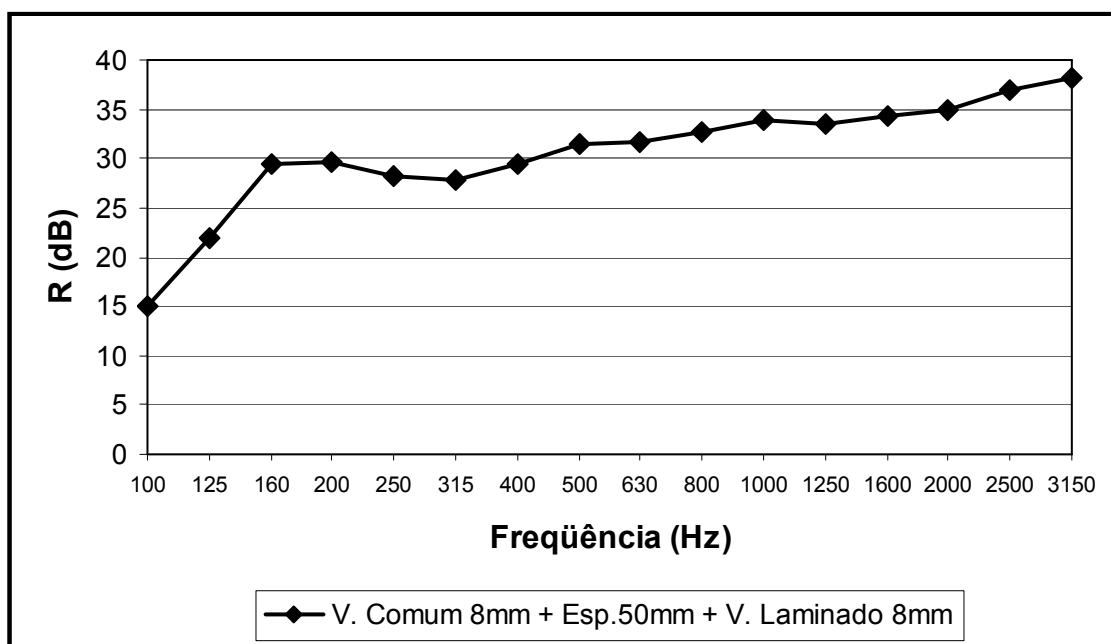
$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$



**Ensaio nº 22**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 50 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	15,1
125	21,9
160	29,4
200	29,6
250	28,2
315	27,8
400	29,5
500	31,5
630	31,7
800	32,6
1000	33,9
1250	33,6
1600	34,3
2000	35,0
2500	37,0
3150	38,2

**R<sub>w</sub> (dB) = 34,0**

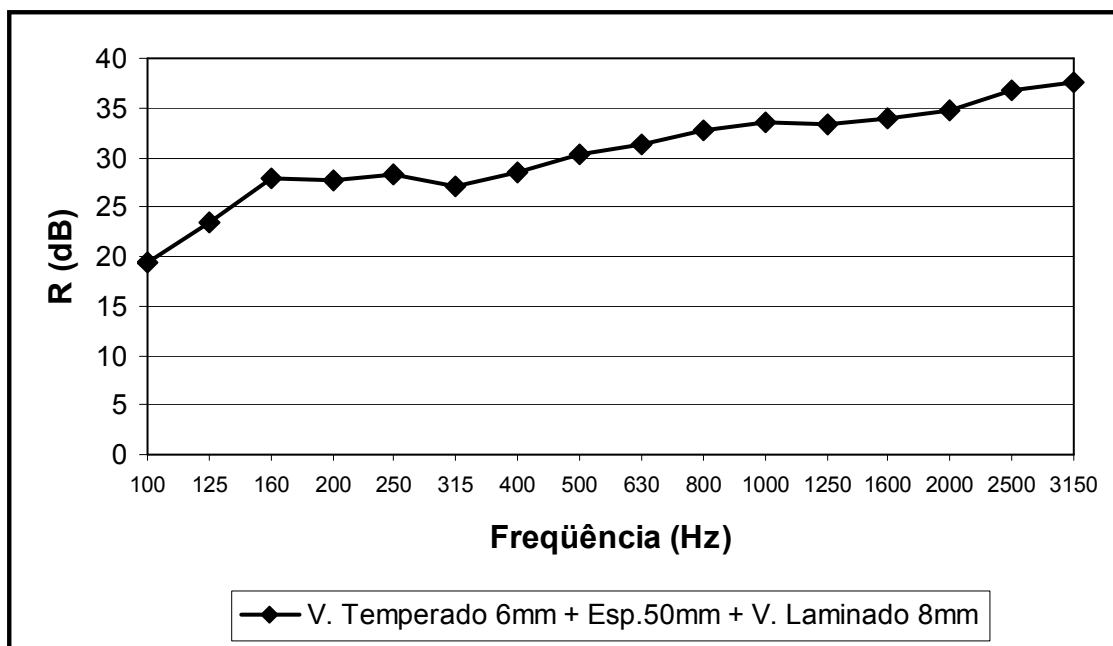
**R (dB(A)) = 33,4**

**F<sub>o</sub> = < 100 Hz**

**Ensaio n° 23**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – temperado de 6 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 50 mm de camada de ar.



Frequência	R do vidro
100	19,4
125	23,4
160	27,9
200	27,6
250	28,2
315	27,0
400	28,5
500	30,4
630	31,3
800	32,7
1000	33,5
1250	33,4
1600	34,0
2000	34,7
2500	36,7
3150	37,6

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

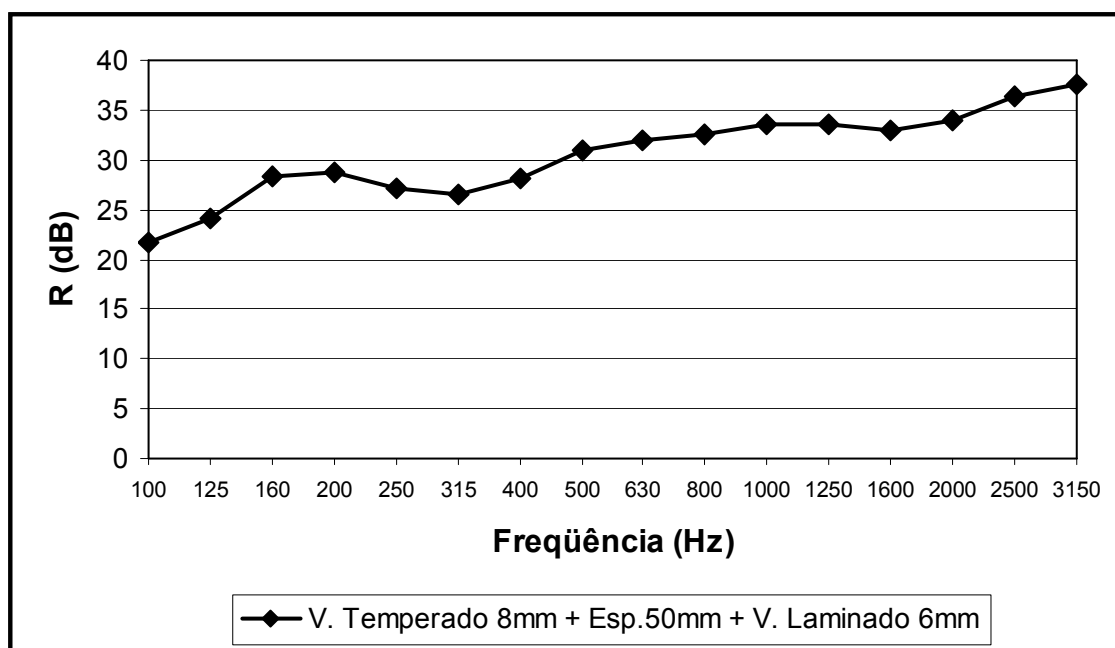
$$R \text{ (dB(A))} = 33,2$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 24**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – temperado de 8 mm e laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 8 mm de espessura + vidro laminado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 50 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	21,8
125	24,1
160	28,3
200	28,8
250	27,2
315	26,6
400	28,2
500	30,9
630	31,9
800	32,6
1000	33,6
1250	33,5
1600	33,0
2000	34,0
2500	36,3
3150	37,5

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

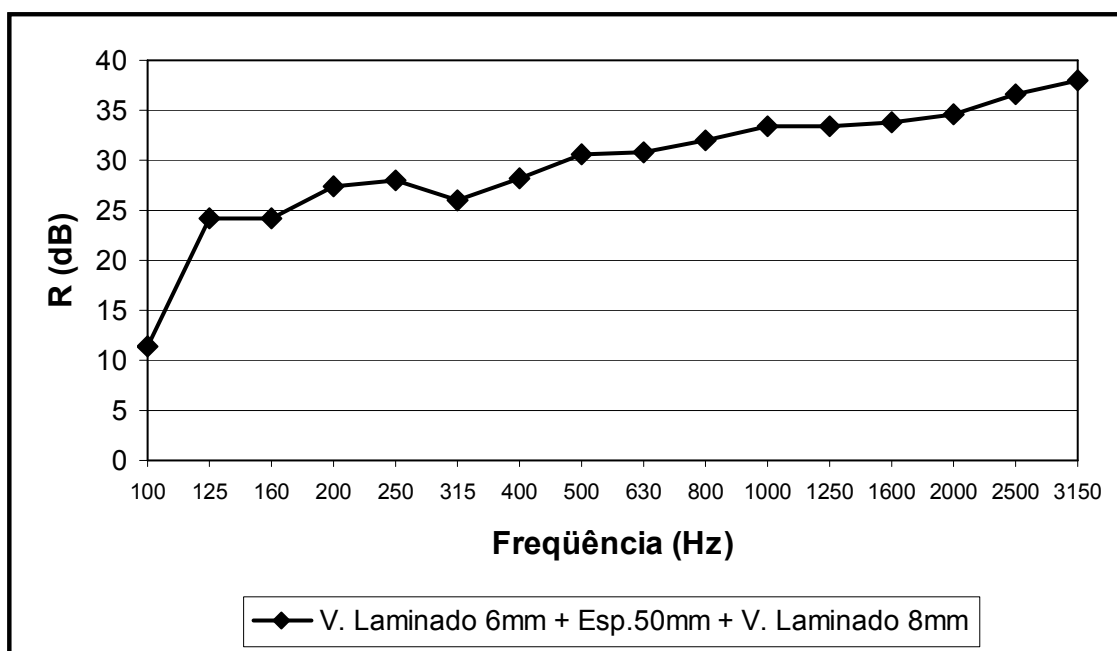
$$R \text{ (dB(A))} = 33,1$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 25**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – laminado de 6 mm e 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro laminado de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 50 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	11,4
125	24,3
160	24,3
200	27,4
250	28,0
315	26,1
400	28,2
500	30,7
630	30,9
800	32,0
1000	33,4
1250	33,5
1600	33,9
2000	34,7
2500	36,7
3150	38,0

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

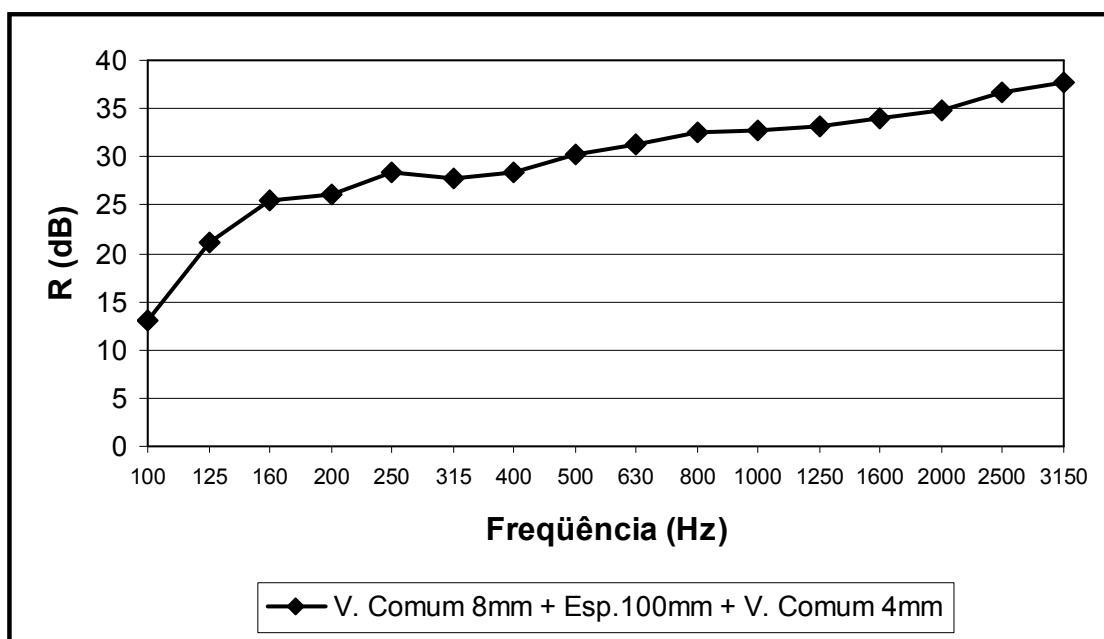
$$R \text{ (dB(A))} = 32,4$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 26**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e 4 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro monolítico comum de 4 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 100 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	13,1
125	21,2
160	25,4
200	26,1
250	28,4
315	27,7
400	28,4
500	30,2
630	31,3
800	32,5
1000	32,7
1250	33,2
1600	34,0
2000	34,8
2500	36,6
3150	37,7

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

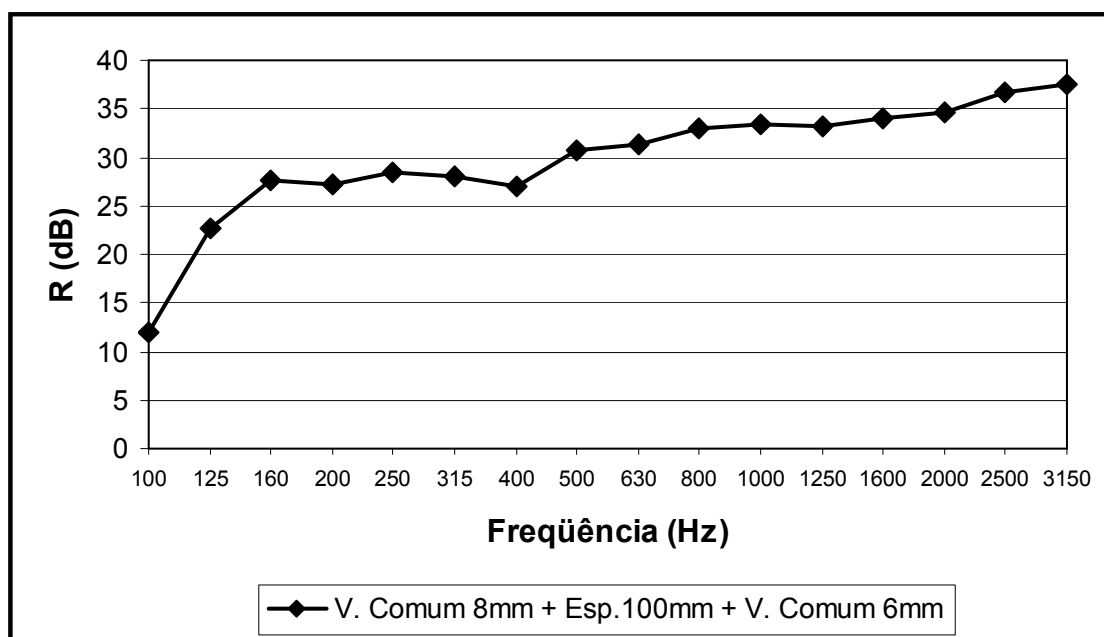
$$R \text{ (dB(A))} = 32,6$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 27**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro monolítico comum de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 100 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	12,0
125	22,6
160	27,7
200	27,3
250	28,5
315	28,0
400	27,1
500	30,7
630	31,3
800	32,9
1000	33,4
1250	33,1
1600	34,1
2000	34,6
2500	36,6
3150	37,6

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

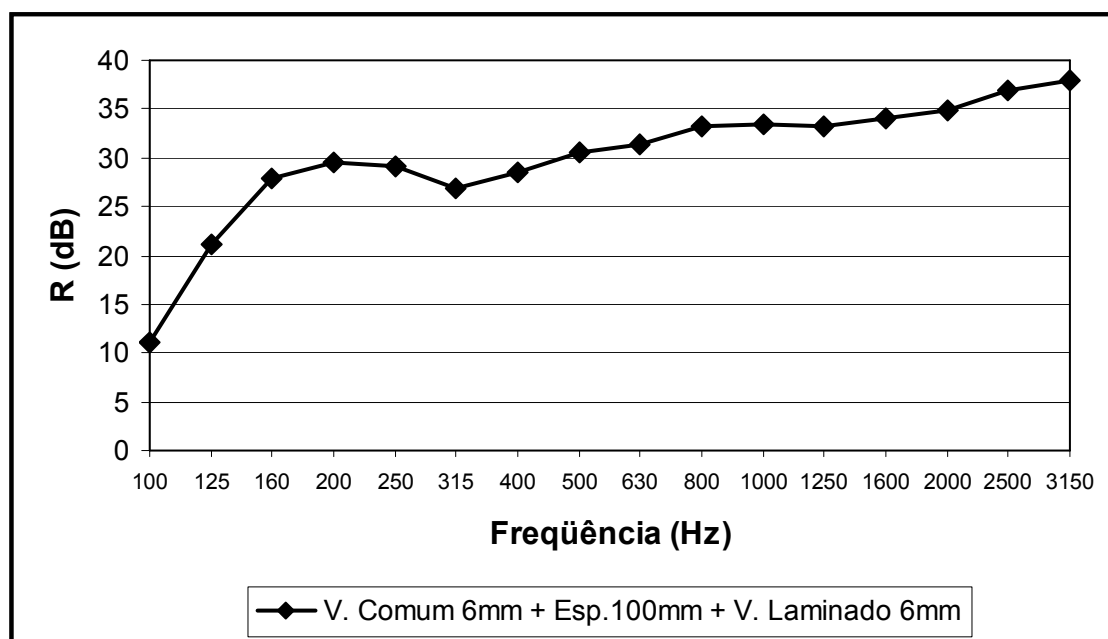
$$R \text{ (dB(A))} = 32,6$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 28**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 6 mm e laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura + vidro laminado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 100 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	11,0
125	21,1
160	27,8
200	29,6
250	29,2
315	26,8
400	28,5
500	30,5
630	31,3
800	33,2
1000	33,4
1250	33,3
1600	34,1
2000	34,9
2500	36,9
3150	37,9

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

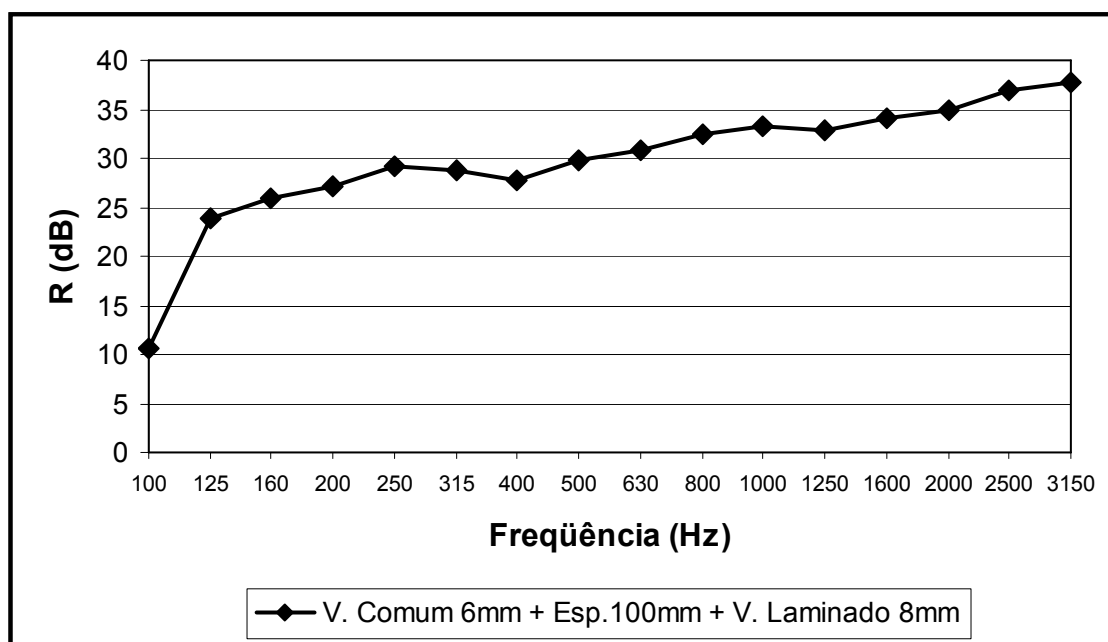
$$R \text{ (dB(A))} = 32,6$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 29**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 6 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 100 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	10,7
125	23,8
160	26,0
200	27,2
250	29,1
315	28,8
400	27,8
500	29,8
630	30,9
800	32,5
1000	33,3
1250	32,8
1600	34,0
2000	34,8
2500	36,9
3150	37,8

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

$$R \text{ (dB(A))} = 32,4$$

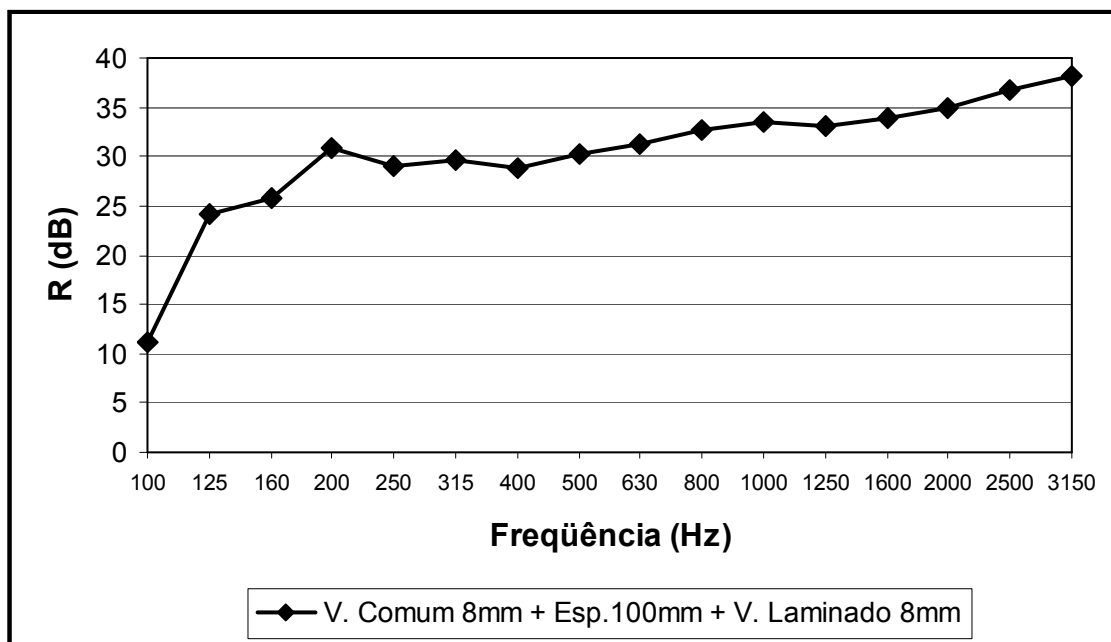
$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$



**Ensaio n° 30**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 100 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	11,1
125	24,2
160	25,7
200	30,8
250	29,0
315	29,6
400	28,9
500	30,3
630	31,3
800	32,6
1000	33,5
1250	33,1
1600	34,0
2000	35,0
2500	36,8
3150	38,1

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

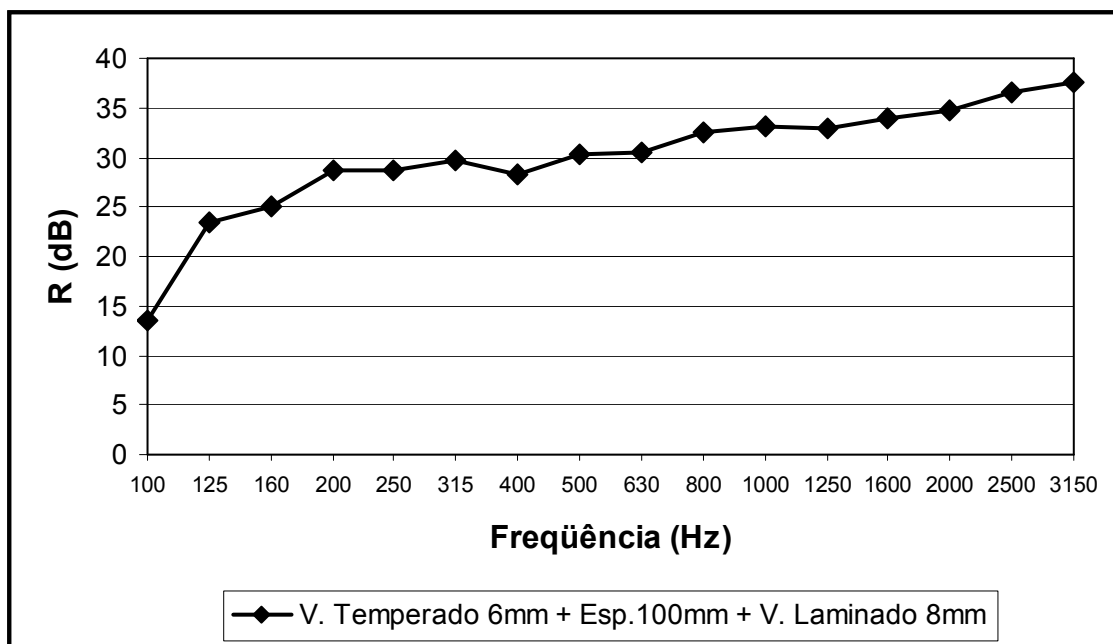
$$R \text{ (dB(A))} = 32,8$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 31**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – temperado de 6 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 100 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	13,5
125	23,4
160	25,1
200	28,6
250	28,6
315	29,7
400	28,3
500	30,3
630	30,6
800	32,5
1000	33,1
1250	32,9
1600	33,9
2000	34,7
2500	36,5
3150	37,6

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

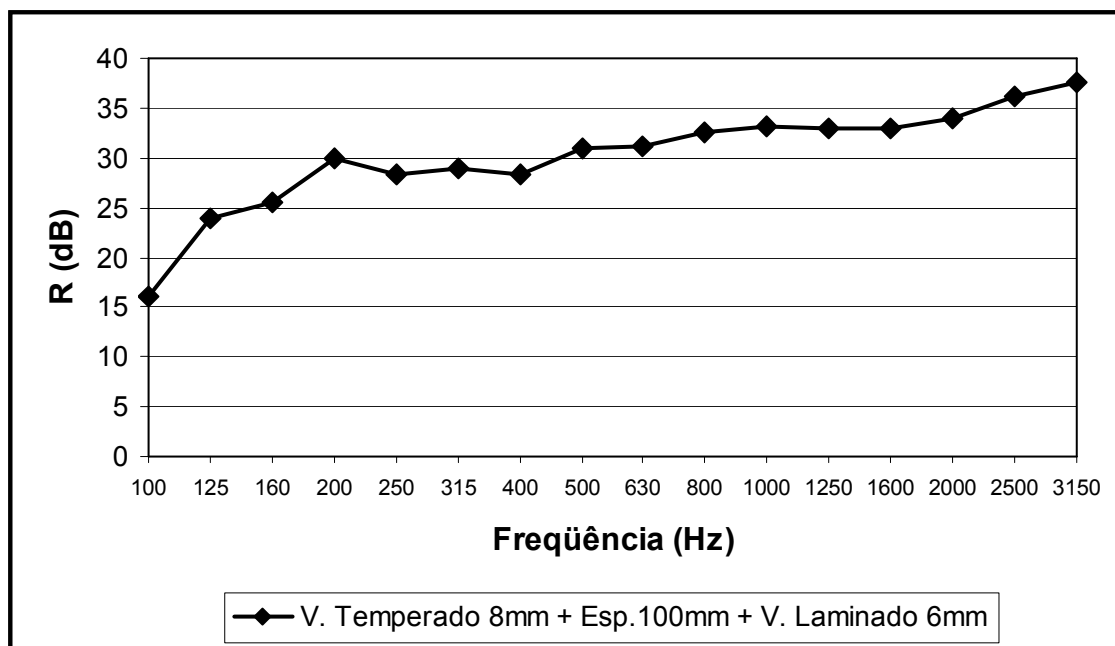
$$R \text{ (dB(A))} = 32,8$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 32**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – temperado de 8 mm e laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 8 mm de espessura + vidro laminado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 100 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	16,0
125	24,0
160	25,5
200	30,0
250	28,3
315	28,9
400	28,3
500	30,9
630	31,2
800	32,5
1000	33,2
1250	33,0
1600	32,9
2000	34,0
2500	36,2
3150	37,5

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

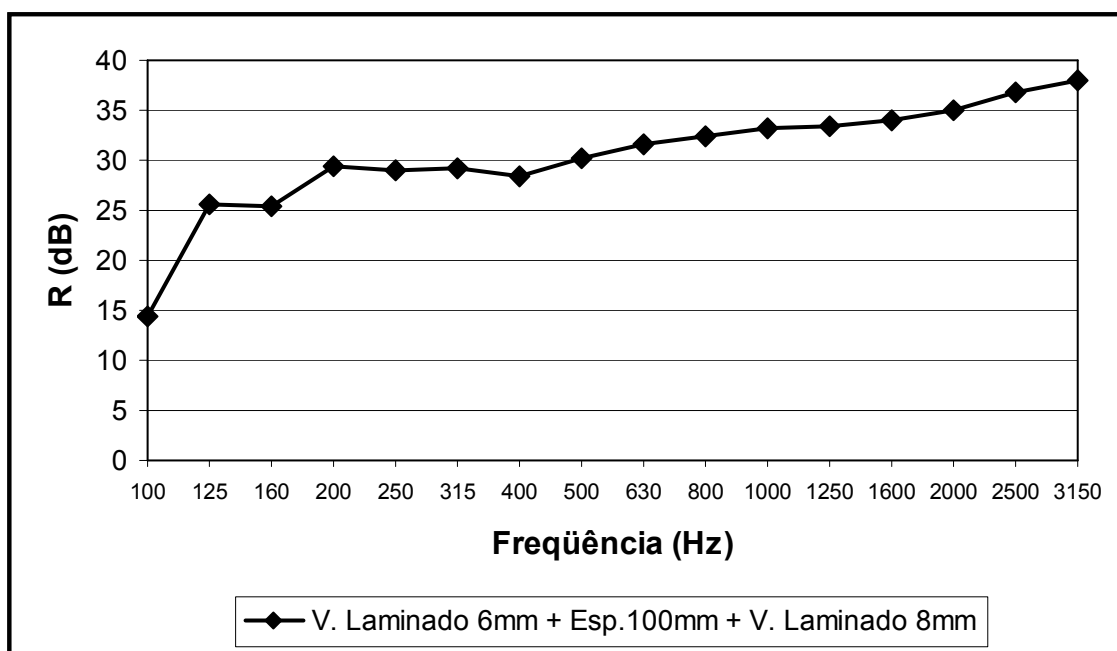
$$R \text{ (dB(A))} = 32,9$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 33**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – laminado de 6 mm e 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro laminado de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 100 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	14,4
125	25,6
160	25,5
200	29,5
250	29,0
315	29,2
400	28,4
500	30,2
630	31,6
800	32,4
1000	33,2
1250	33,4
1600	34,0
2000	35,1
2500	36,9
3150	38,1

$$R_w \text{ (dB)} = 33,0$$

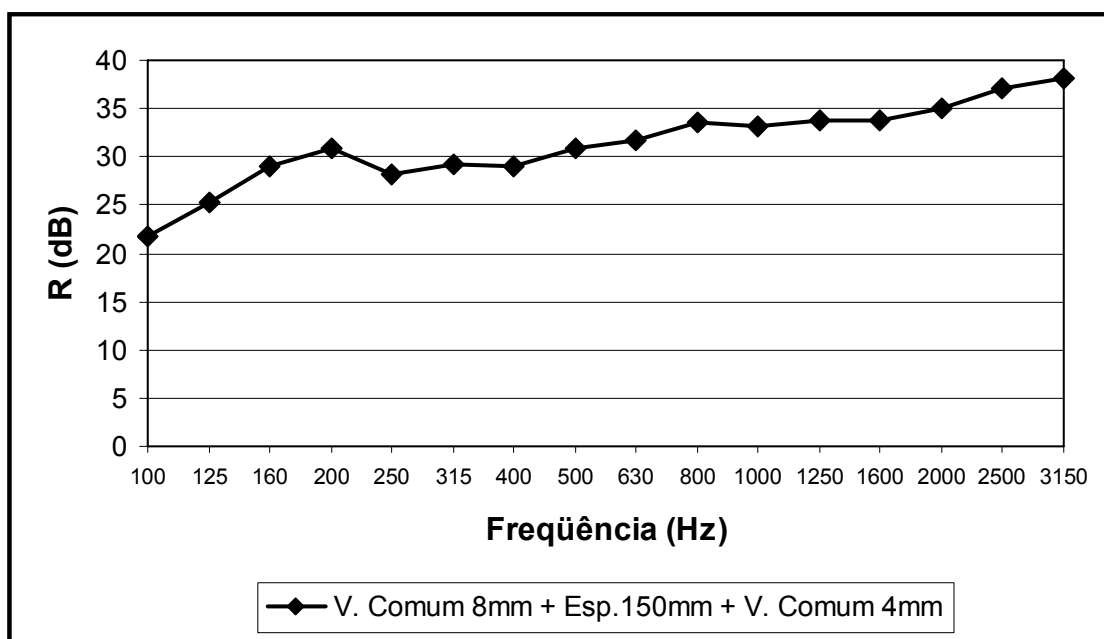
$$R \text{ (dB(A))} = 33,2$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 34**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e 4 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro monolítico comum de 4 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 150 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	21,8
125	25,3
160	29,1
200	30,9
250	28,1
315	29,3
400	29,1
500	30,9
630	31,8
800	33,6
1000	33,1
1250	33,7
1600	33,8
2000	35,0
2500	37,1
3150	38,2

$$R_w \text{ (dB)} = 34,0$$

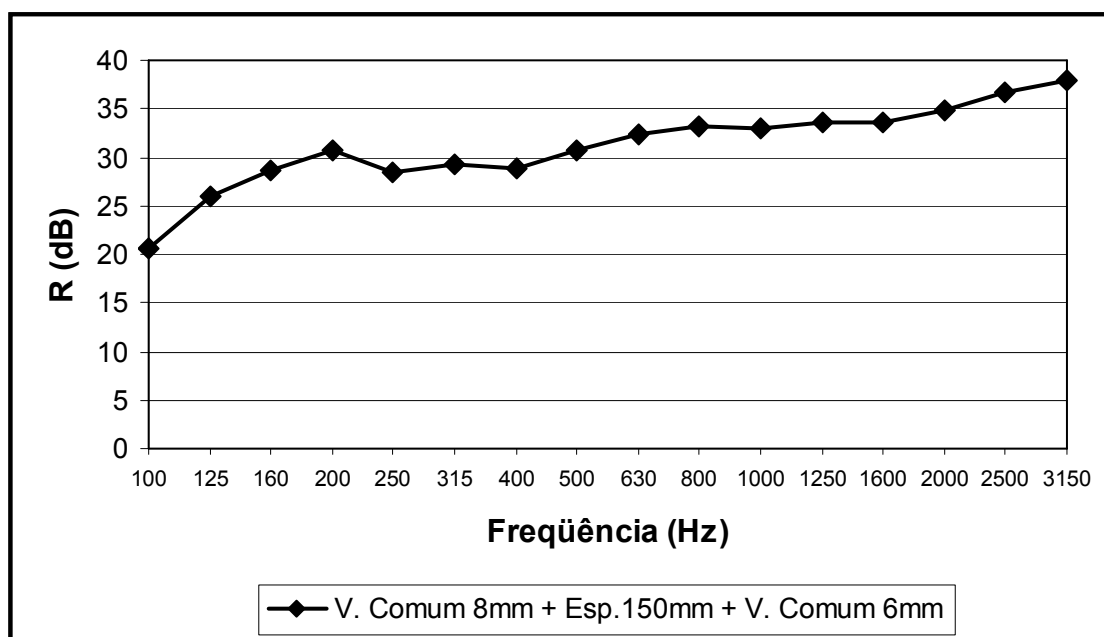
$$R \text{ (dB(A))} = 33,8$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 35**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro monolítico comum de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 150 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	20,7
125	26,0
160	28,7
200	30,7
250	28,4
315	29,2
400	28,8
500	30,8
630	32,3
800	33,1
1000	33,0
1250	33,7
1600	33,7
2000	34,8
2500	36,8
3150	38,0

**R<sub>w</sub> (dB) = 34,0**

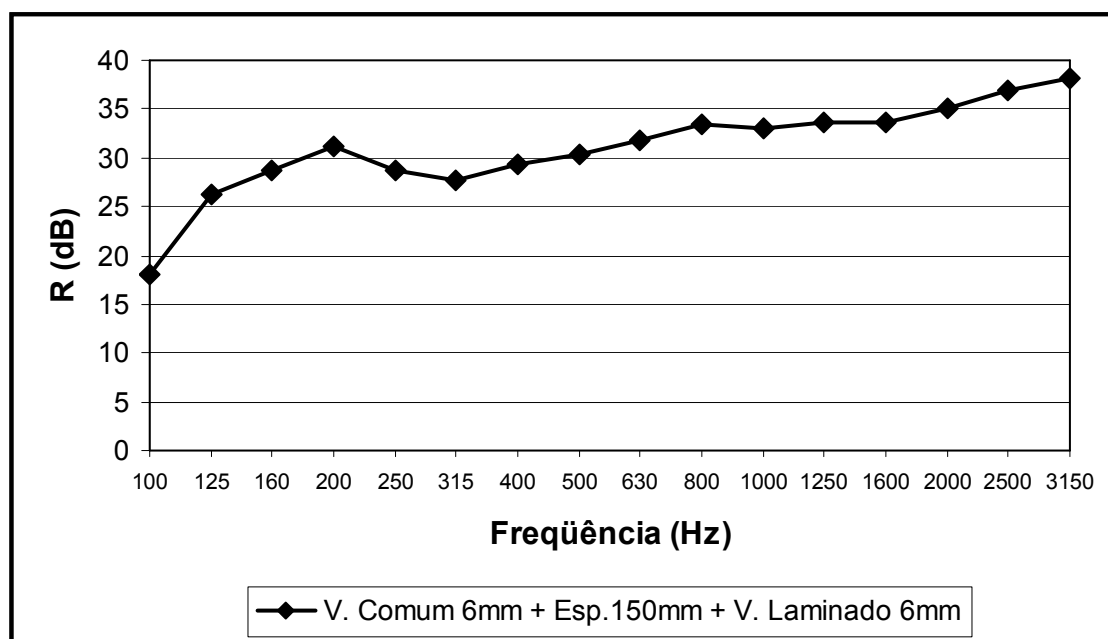
**R (dB(A)) = 33,7**

**F<sub>0</sub> = < 100 Hz**

**Ensaio nº 36**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 6 mm e laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura + vidro laminado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 150 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	18,0
125	26,2
160	28,8
200	31,2
250	28,8
315	27,6
400	29,3
500	30,3
630	31,8
800	33,4
1000	33,1
1250	33,7
1600	33,7
2000	35,0
2500	36,9
3150	38,1

$$R_w \text{ (dB)} = 34,0$$

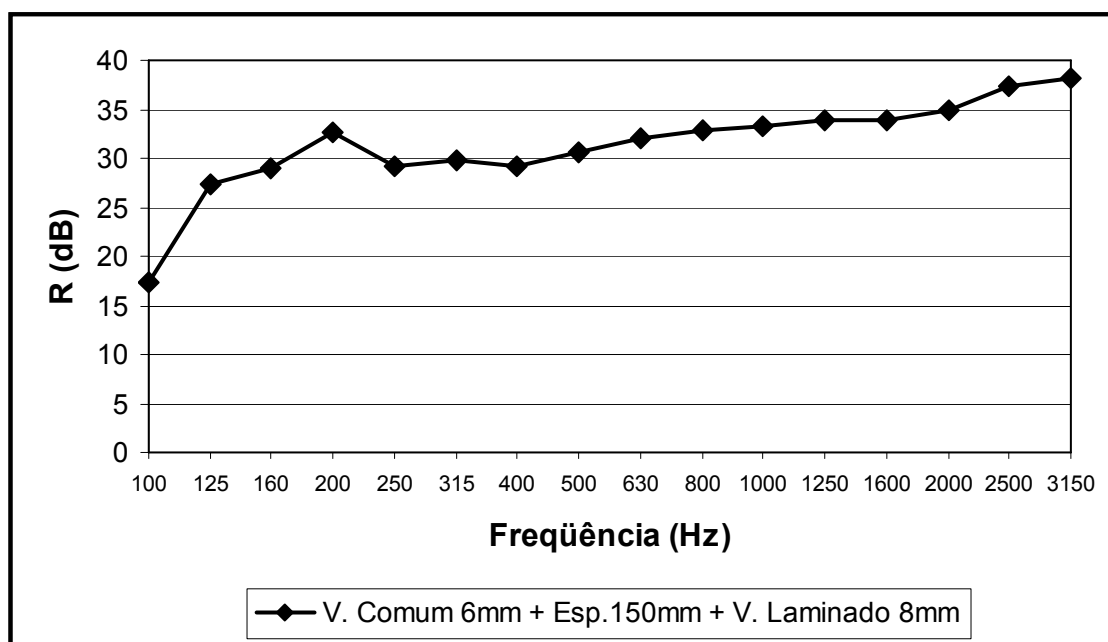
$$R \text{ (dB(A))} = 33,5$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 37**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 6 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 150 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	17,3
125	27,4
160	29,0
200	32,6
250	29,1
315	29,8
400	29,1
500	30,7
630	32,1
800	32,9
1000	33,3
1250	33,9
1600	33,9
2000	34,9
2500	37,3
3150	38,2

**R<sub>w</sub> (dB) = 34,0**

**R (dB(A)) = 33,7**

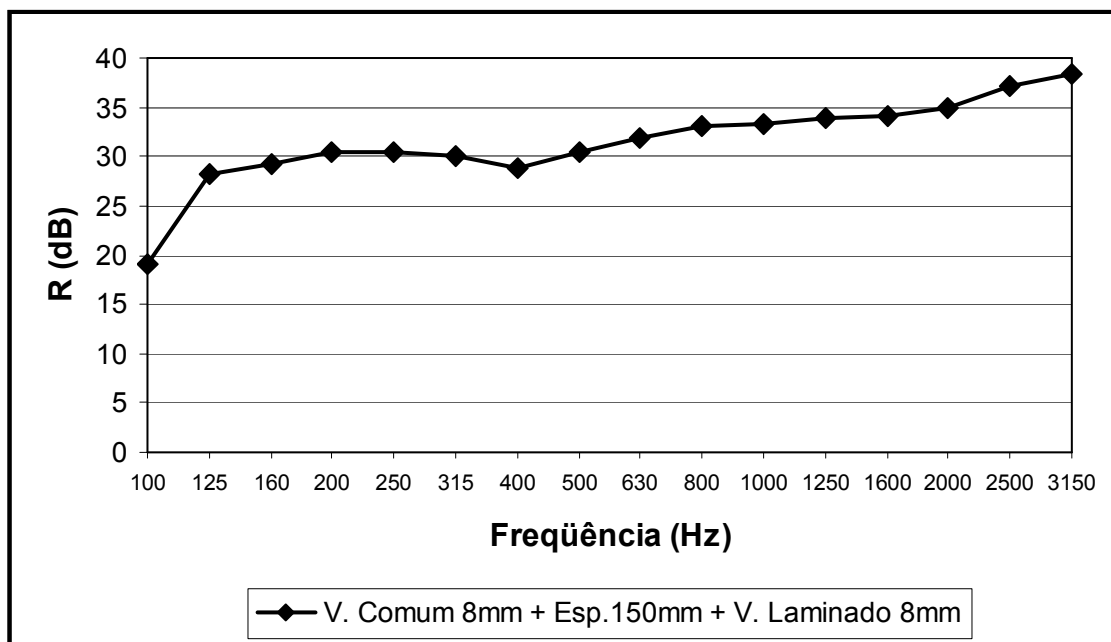
**F<sub>0</sub> = < 100 Hz**



**Ensaio n° 38**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – monolítico comum de 8 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 150 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	19,1
125	28,3
160	29,2
200	30,4
250	30,5
315	30,1
400	28,8
500	30,5
630	31,8
800	33,1
1000	33,3
1250	34,0
1600	34,1
2000	35,0
2500	37,1
3150	38,4

$$R_w \text{ (dB)} = 34,0$$

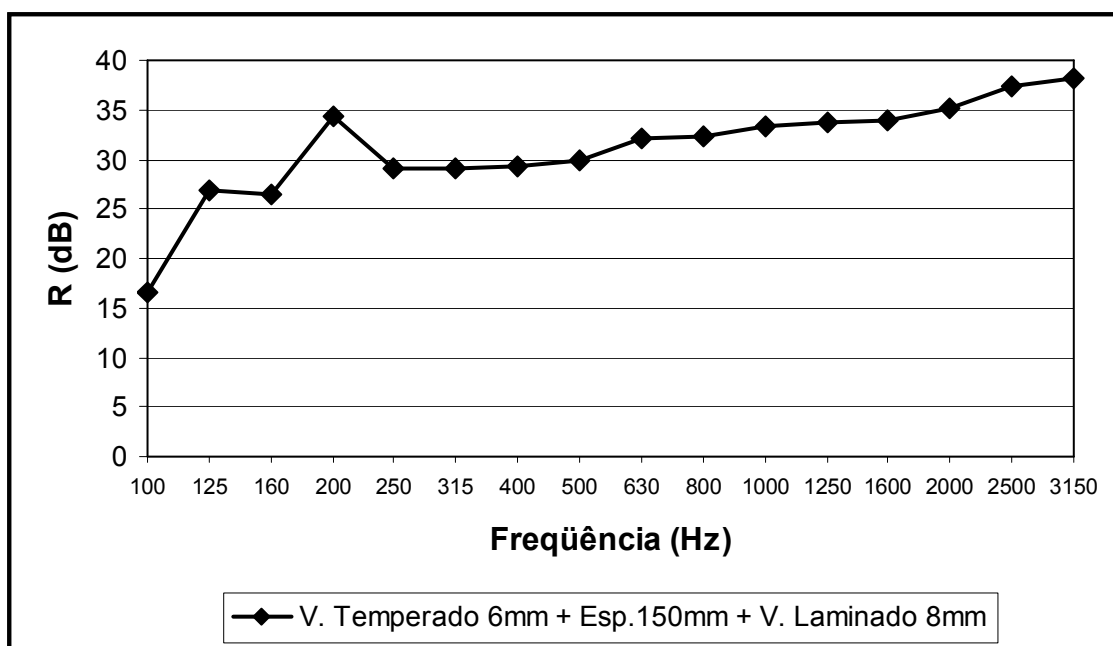
$$R \text{ (dB(A))} = 33,8$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 39**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – temperado de 6 mm e laminado de 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 150 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	16,6
125	26,9
160	26,5
200	34,4
250	29,0
315	29,0
400	29,3
500	29,8
630	32,1
800	32,3
1000	33,4
1250	33,8
1600	33,9
2000	35,1
2500	37,4
3150	38,2

$$R_w \text{ (dB)} = 34,0$$

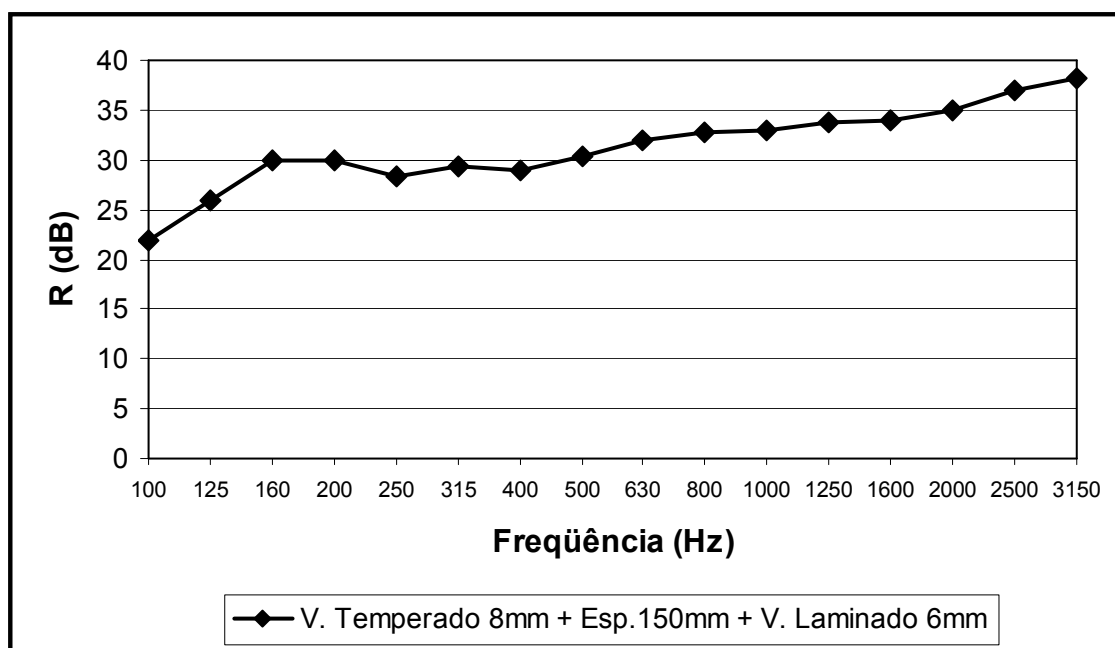
$$R \text{ (dB(A))} = 33,5$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio n° 40**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – temperado de 8 mm e laminado de 6 mm.

**Características da amostra:** Vidro temperado de 8 mm de espessura + vidro laminado de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 150 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	21,9
125	26,0
160	29,9
200	30,0
250	28,4
315	29,4
400	28,9
500	30,3
630	31,9
800	32,8
1000	33,0
1250	33,7
1600	33,9
2000	35,0
2500	36,9
3150	38,1

$$R_w \text{ (dB)} = 34,0$$

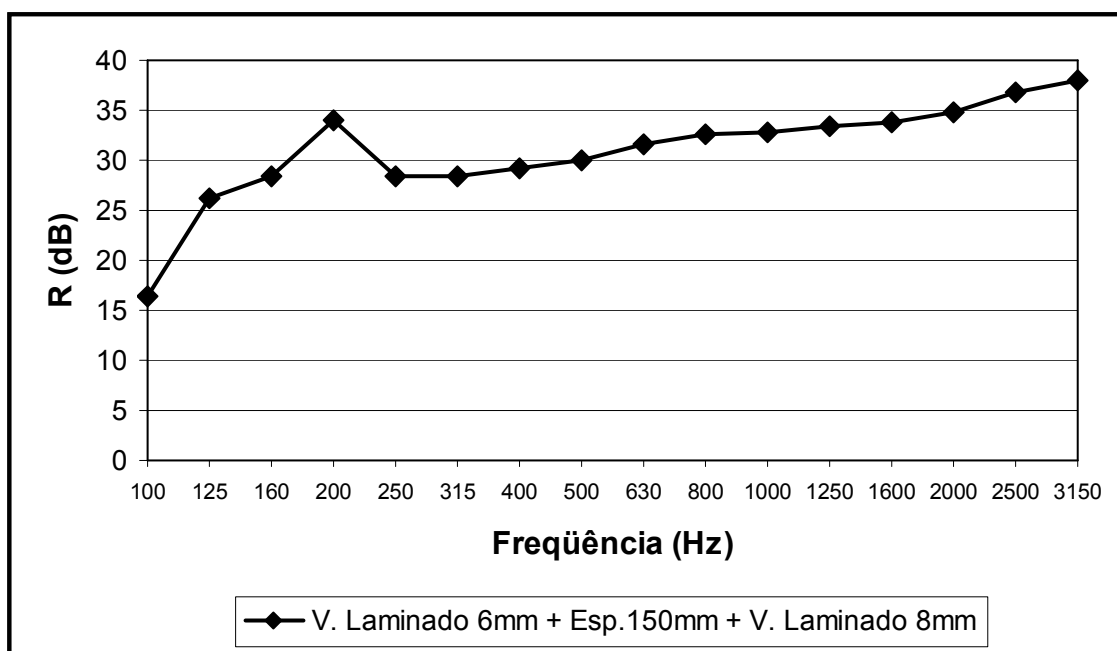
$$R \text{ (dB(A))} = 33,7$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

**Ensaio nº 41**

**Produto ensaiado:** Vidro duplo – laminado de 6 mm e 8 mm.

**Características da amostra:** Vidro laminado de 6 mm de espessura + vidro laminado de 8 mm de espessura, com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, fixados em dois quadros de alumínio, separados por 150 mm de camada de ar.



Freqüência	R do vidro
100	16,5
125	26,2
160	28,5
200	34,1
250	28,4
315	28,4
400	29,3
500	30,1
630	31,7
800	32,7
1000	32,9
1250	33,5
1600	33,8
2000	34,8
2500	36,8
3150	38,0

$$R_w \text{ (dB)} = 34,0$$

$$R \text{ (dB(A))} = 33,4$$

$$F_o = < 100 \text{ Hz}$$

## ANEXO II – Fotografias dos ensaios realizados



FIGURA 69 – Montagem dos caixilhos e vidros para os ensaios na câmara reverberante.



FIGURA 70 – Ensaios na câmara reverberante.



FIGURA 71 – Ensaio de vitragem dupla com o menor afastamento.



FIGURA 72 – Detalhe de ensaio de vitragem dupla com o menor afastamento.



FIGURA 73 – Ensaio de vitragem dupla com o maior afastamento.



FIGURA 74 – Equipamentos utilizados nos ensaios (fonte sonora).



FIGURA 75 – Equipamentos utilizados nos ensaios (microfone ).



FIGURA 76 – Equipamentos utilizados nos ensaios (analisador acústico).