

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA DUPLICAÇÃO DE
JANELAS NA MELHORIA DO ISOLAMENTO
ACÚSTICO DESTES COMPONENTES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marco Aurélio de Oliveira

Santa Maria, RS, Brasil

2007

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA DUPLICAÇÃO DE JANELAS
NA MELHORIA DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DESTES
COMPONENTES**

por

Marco Aurélio de Oliveira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil

2007

Oliveira, Marco Aurélio

O48e

Estudo da eficiência da duplicação de janelas na melhoria do isolamento acústico destes componentes / por Marco Aurélio Oliveira ; orientador Jorge Luiz Pizzutti dos Santos. – Santa Maria, 2007.

85 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2007.

1. Engenharia civil 2. Acústica 3. Isolamento sonoro 4 Janelas duplas I Santos, Jorge Luiz Pizzutti dos, orient. II. Título

CDU: 692.2:699.844

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2007

Todos os direitos autorais reservados a Marco Aurélio de Oliveira. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: SQSW 105, Bloco D Apto. 209 - Sudoeste, Brasília – DF, CEP 70670-424

Fone: (0xx)61-81792262/3965.8282; End. Eletr: acustico2004@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA DUPLICAÇÃO DE JANELAS NA
MELHORIA DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DESTES COMPONENTES**

elaborada por

Marco Aurélio de Oliveira

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Jorge Luiz Pizzutti dos Santos, Dr.
(Presidente – Orientador)

Dinara Xavier Paixão, Dr^a (UFSM)

Flávio Simões Maya, Dr. (RITTER DOS REIS)

Santa Maria, 28 de Março de 2007.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente estiveram relacionadas ao desenvolvimento desta dissertação, em especial ao meu pai Aristides, à minha mãe Anair (*in memorian*), à minha irmã Mara Regina e à minha esposa Cláudia Bueno.

Ao professor e amigo Jorge Pizzutti, cuja grandiosidade como pessoa e profissional possibilitaram-me iniciar e seguir aprendendo na área de acústica.

À amiga Fátima pelo incentivo e apoio.

Ao colega Jordan e ao funcionário Juraci Bortoluzzi, pela ajuda durante os ensaios no Laboratório de Acústica da UFSM.

À Ângela Pisani e Renata, pelo coleguismo e amizade.

*“...na Universidade da Vida sempre
seremos alunos, nunca mestres...”*

F.D.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA DUPLICAÇÃO DE JANELAS NA MELHORIA DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DESTES COMPONENTES

AUTOR: MARCO AURÉLIO DE OLIVEIRA
ORIENTADOR: JORGE LUIZ PIZZUTTI DOS SANTOS
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de março de 2007.

A proposta deste trabalho é avaliar o comportamento da isolamento sonora de janelas duplas, em que uma segunda janela é sobreposta a outra já existente, havendo entre ambas uma camada de ar. Tal determinação é feita mediante ensaios normalizados nas câmaras reverberantes do Laboratório de Termo Acústica da Universidade Federal de Santa Maria, de acordo com as normas internacionais ISO 140-III, ISO 717-I e Projeto de Norma Brasileira 02:135.01-001. Inicialmente foram duplicadas janelas com baixa estanqüidade ao ar, tendo $R_w = 18$ dB cada uma, e a seguir, janelas com boa estanqüidade. Buscou-se, através dessa técnica, conhecer o desempenho sonoro da duplicação de janelas nestas duas situações consideradas. A partir dos resultados dos ensaios, verificou-se que a duplicação de janelas com baixa estanqüidade ao ar atingiu um $R_w = 26$ dB, com acréscimo de 8 dB em relação à uma única janela de mesma tipologia. O ganho de isolamento, nesse caso, ocorreu principalmente nas médias e altas frequências. Em relação à duplicação de janelas com boa estanqüidade, atingiu-se um R_w final de 37 dB, sendo o acréscimo no isolamento acústico dependente do desempenho inicial da primeira janela. O ganho em isolamento nesta segunda situação foi de 4 a 8 dB, com incidência sobretudo nas baixas e médias frequências. Dessa maneira, pôde-se quantificar qual a melhoria do isolamento sonoro em fachadas, a partir da duplicação de janelas, de forma a contribuir para o aperfeiçoamento e qualidade das construções em nosso país.

Palavras chave: acústica; isolamento sonoro; janelas duplas.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

STUDY OF DOUBLE WINDOWS EFFICIENCY IN ORDER TO IMPROVE THEIR SOUND INSULATION

AUTHOR: MARCO AURÉLIO DE OLIVEIRA
ADVISER: JORGE LUIZ PIZZUTTI DOS SANTOS
Date and place of defense: Santa Maria, March, 30, 2007.

The aim of this research is to evaluate sound insulation behavior of double windows, when a second window is placed upon a previous one, keeping an air layer between them. This was done through standard tests carried out at the reverberation chambers of the Thermo Acoustics Laboratory, of Universidade Federal de Santa Maria in accordance with ISO 140-III, ISO 717-I international norms and the Brazilian Norm Project 02:135.01-001. First, low air hermetic windows were duplicated, each one having $R_w = 18$ dB. Second, good air hermetic windows were duplicated. The objective, through this technique, was to find out sound insulation improvement of double windows under the two mentioned circumstances. Observing the test results, it was verified that low air hermetic double window obtained $R_w = 26$ dB, with an increase of 8 dB in relation to just one window of the same typology. Insulation gain, in this case, occurred mainly in medium and high frequencies. In relation to good air hermetic double window, a R_w final of 37 dB was obtained, considering that the increase in sound insulation depends on the initial performance of the first installed window. The gain in insulation in the second instance was between 4 to 8 dB, mainly in relation to low and medium frequencies. Therefore, it was possible to quantify which sound insulation improvement could be done on façades employing the technique of double windows in order to contribute to the betterment and quality of buildings in Brazil.

Key words: acoustics; sound insulation; double windows.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 - Curvas de compensação A, B, C e D (GERGES, 1992, p. 55)	23
FIGURA 02 - Espectro do ruído rosa (PUJJOLE, 1978, p. 32, adaptado).....	24
FIGURA 03 - Ruído emitido por veículos pesados e leves (CSTB, 1982, p. 111).....	24
FIGURA 04 - Espectro de ruído de tráfego (CSTB, 1982, p. 115, adaptado)	25
FIGURA 05 - Reflexão, absorção e transmissão do som (MÉNDEZ et al, 1994, p. 107)....	27
FIGURA 06 - Curva típica da perda de transmissão para fechamentos simples (GERGES, 1992, p. 197).....	29
FIGURA 07 - Efeito da coincidência (MÉNDEZ et al, 1994, adaptado).....	30
FIGURA 08 - Lei da Massa (CSTB, 1982).....	32
FIGURA 09 - Valores de R (dB) para vidros monolíticos comuns (SCHERER, 2005, p. 75, adaptado)	34
FIGURA 10 - Reflexão e transmissão em um fechamento duplo (MÉNDEZ et al, 1994, p. 115).....	35
FIGURA 11 - a) Diferentes frequências críticas; b) Frequências críticas coincidentes (MÉNDEZ et al, 1996, p. 116)	36
FIGURA 12 - Diferença entre o isolamento de uma partição simples e uma dupla (MÉNDEZ et al, 1994, p. 117)	37
FIGURA 13 - Diminuição do isolamento por ressonâncias da camada de ar (MÉNDEZ et al, 1994, p. 118)	38
FIGURA 14 - Valores de R (dB) para vidros duplos com 20 mm de afastamento (SCHERER, 2005, p. 79, adaptado)	40
FIGURA 15 - Valores de R (dB) para vidros duplos com 50 mm de afastamento (SCHERER, 2005, p. 83, adaptado)	40
FIGURA 16 - Valores de R (dB) para vidros duplos com 100 mm de afastamento (SCHERER, 2005, p. 86, adaptado)	41
FIGURA 17: Valores de R (dB) para vidros duplos com 150 mm de afastamento (SCHERER, 2005, p. 90, adaptado)	41
FIGURA 18 - Perfil de PVC rígido e vitragem dupla	42
FIGURA 19 - Janelas duplas com material de absorção sonora entre janelas (CSTB, 1982, p.187, adaptado)	44

FIGURA 20 - Ensaio de parede com blocos de concreto, blocos cerâmicos e blocos cerâmicos com revestimento de argamassa (RECCHIA, 2001, p. 56, adaptado)	46
FIGURA 21 - Ensaio de diversas janelas de correr feitas com diferentes materiais (RECCHIA, 2001, p. 59, adaptado)	47
FIGURA 22 - Câmara para ensaio de isolamento acústico	50
FIGURA 23 - Parede de alvenaria e câmaras de emissão e de recepção	51
FIGURA 24 - Curva de referência da perda de transmissão (ISO 717, 1996, p. 03)	54
FIGURA 25 - Ensaio “ <i>in loco</i> ” de fechamento de sacada	56
FIGURA 26 - Duplicação de janelas com tecnologia regional	58
FIGURA 27 - Comparativo entre uma janela de correr com tecnologia regional e duas janelas de correr com tecnologia regional.	58
FIGURA 28 - Comparativo entre duas janelas de correr com tecnologia regional e janela maxim-ar com vidro simples de 4 mm	59
FIGURA 29 – Duplicação de janelas com boa estanqueidade	61
FIGURA 30 - Comparativo entre uma janela maxim-ar de PVC com vidros duplos 4-12-6 mm e janelas maxim-ar de PVC com vidros simples de 6 mm e 8 mm	61
FIGURA 31 - Janela maxim-ar de PVC com vidros duplos 4-12-6 mm comparada à mesma janela sobreposta a uma maxim-ar de PVC com vidro simples 6 mm	62
FIGURA 32 - Janela maxim-ar de PVC com vidros duplos 4-12-6 mm comparada à mesma janela sobreposta a uma maxim-ar de PVC com vidro simples 8 mm	63
FIGURA 33 - Janela maxim-ar de PVC com vidros duplos 4-12-6 mm sobreposta à outra maxim-ar de PVC com vidro simples 6 mm comparada à duplicação de uma janela maxim-ar com vidros duplos 4-12-6 mm sobreposta à outra maxim-ar vidro simples 8 mm.	64
FIGURA 34 – Comparativo entre a duplicação de uma janela maxim-ar com vidro simples de 6 mm sobreposta a outra maxim-ar com vidro simples de 8 mm e janelas maxim-ar com vidros simples de 8 mm e 6 mm	65
FIGURA 35 - Ensaio <i>in loco</i> de fechamento de sacada.....	66
FIGURA 36 - Fonte Sonora	83
FIGURA 37 – Microfone	83
FIGURA 38 – Analisador acústico	84
FIGURA 39 – Sala de Ensaio – LaTA	84
FIGURA 40 – Instalação de uma janela com tecnologia regional	85
FIGURA 41 – Instalação de duas janelas com tecnologia regional	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Níveis de Pressão Sonora desde o limiar da audição até o limiar da dor. ...	22
TABELA 02 - Diferenças de nível de pressão sonora para o ruído de tráfego	25
TABELA 03 - Qualificação do isolamento	47
TABELA 04 – Valores de referência	54
TABELA 05 – Valores de R_w para duplicação de janelas com tecnologia regional	57
TABELA 06 – Valores de R_w para duplicação de janelas com boa estanqueidade	60
TABELA 07 - Valores de R (dB) para fechamento de sacada	65

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Resultados dos Ensaios Realizados	73
APÊNDICE B - Fotografias dos ensaios realizados	83

LISTA DE ABREVIATURAS

CSTB: Centre Scientifique et Technique du Batiment

dB: Decibel

Hz: Hertz

ISO: International Standart Organization

LaTA: Laboratório de Termo-acústica

L_{eq} : Nível equivalente de pressão sonora

NBR: Norma Brasileira

NPS: Nível de pressão sonora

(PVB): Butiral de Polivinil

PVC: Policloreto de vinil

UFSM: Universidade Federal de Santa Maria

SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRACT	08
LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE APÊNDICES	12
LISTA DE ABREVIATURAS	13
CAPÍTULO I	
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
1.2 Justificativas	17
1.3 Hipótese	18
1.4 Estrutura da dissertação	18
CAPÍTULO II	
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Som	20
2.1.1 Propagação do som	20
2.1.2 Frequência	21
2.1.3 Nível de pressão sonora.....	21
2.1.4 Curvas de compensação A, B, C e D	22
2.1.5 Tipos de ruído	23
2.2 Isolamento acústico	26
2.3 Isolamento de ruídos aéreos	26
2.3.1 Isolamento acústico de fechamentos simples	28
2.3.2 Isolamento acústico de fechamentos duplos	34
2.3.3 Perda de transmissão em superfícies compostas	39
2.4 Isolamento acústico de janelas	42
2.4.1 A janela nos países desenvolvidos	42

2.4.2 Qualidade das esquadrias no Brasil	45
CAPÍTULO III	
3 METODOLOGIA	48
3.1 Componentes ensaiados	48
3.1.1 Ensaio de duplicação de janelas com caixilhos de correr com baixa estanqueidade ao ar	48
3.1.2 Ensaio de duplicação de janelas maxim-ar com boa estanqueidade	49
3.2 Equipamentos utilizados	49
3.3 Características do Laboratório de Termo-acústica da UFSM	50
3.4 Descrição dos ensaios laboratoriais	51
3.5 Descrição dos procedimentos de ensaio	52
3.6 Determinação do índice de redução acústica R_w (ISO 717-I).....	53
3.7 Ensaio “<i>in loco</i>” de fechamento de sacada	55
3.7.1 Componentes ensaiados	55
3.7.2 Descrição dos ensaios “ <i>in loco</i> ”	55
CAPÍTULO IV	
4 RESULTADOS	57
4.1 Duplicação de janelas com tecnologia regional e baixa estanqueidade ao ar	57
4.2 Duplicação de janelas com boa estanqueidade ao ar	60
4.3. Fechamento de sacada	65
CAPÍTULO V	
5 CONCLUSÕES	67
5.1 Sugestão para Trabalhos Futuros	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICES	73

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas o setor de construção civil no Brasil tem verificado uma demanda cada vez maior por residências com qualidade acústica adequada. Todavia, apesar desta crescente demanda e tendência mercadológica, o percentual de habitações sem qualidade acústica ainda prevalece em nosso país.

Esse descompasso entre demanda e realidade fica evidente através de recentes levantamentos estatísticos entre usuários de habitações, nas quais o desconforto acústico é apontado como um dos principais motivos de insatisfação, conforme estudo realizado por Jobim (1997).

Buscando-se uma compreensão para tal descontentamento verifica-se que as fachadas residenciais apresentam índice de isolamento sonoro insuficiente, por terem janelas com pouca ou mesmo nenhuma estanqüidade ao som. Estudos anteriores já realizados em universidades brasileiras constataram que a tecnologia utilizada nas janelas regionais não assegura isolamento e conforto sonoro, sobretudo, pela predominância de caixilhos de correr na maioria das janelas fabricadas para uso residencial.

Acrescente-se a isso o aumento crescente nos níveis de poluição sonora urbana como decorrência do processo de urbanização e industrialização das cidades, tendo no ruído veicular um dos principais agentes poluidores e de maior incômodo à população. Em algumas avenidas movimentadas o L_{eq} oriundo de tráfego veicular ultrapassa facilmente 75 dB (A) nos horários ditos de pico.

Tendo em vista tal panorama, surge a necessidade de desenvolver e aplicar novas tecnologias às janelas já existentes nas habitações, como forma de melhorar o isolamento a ruído aéreo das fachadas.

Dentro dessa perspectiva é que foi desenvolvido este estudo, visando investigar o comportamento da isolação sonora de uma segunda janela sobreposta a uma outra já existente, mantendo-se uma camada de ar expressiva entre ambas.

Primeiramente duplicou-se janelas de correr com baixa estanqüidade ao ar, e em seguida, estudou-se a duplicação de janelas maxim-ar com boa estanqüidade. Pôde-se assim comparar o desempenho desta técnica em ambas as situações.

Almeja-se, dessa forma, contribuir para o aperfeiçoamento e qualidade das construções em nosso país, no que se refere ao isolamento sonoro de fachadas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

- Fazer um estudo comparativo entre o isolamento sonoro de janelas simples e janelas duplas através de ensaios acústicos em laboratório.

1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar através de ensaios normalizados em laboratório qual o aumento de isolamento acústico quando da duplicação de janelas de correr, tendo ambas tecnologia regional e baixa estanqüidade ao ar.
- Ensaiar um sistema de janelas duplas maxim-ar em laboratório, tendo ambas boa estanqüidade ao ar.
- Realizar medições acústicas complementares *in situ* avaliando a eficiência da duplicação de janelas em fechamento de sacada.
- Fornecer dados comparativos entre o isolamento acústico de janelas simples e janelas duplas, de modo a contribuir com projetistas e consultores na especificação de técnicas e procedimentos com maior capacidade de isolamento a ruído aéreo.

1.2 Justificativas

O aumento nos níveis de poluição sonora decorrente do crescimento das cidades e do desenvolvimento industrial e tecnológico tem prejudicado a saúde e o conforto do homem.

Além do risco de lesão irreversível no aparelho auditivo, sabe-se que ambientes barulhentos não só dificultam a comunicação verbal, como levam à fadiga e à queda de produtividade no trabalho.

Todavia, a grande maioria das habitações não consegue oferecer aos usuários um nível de conforto acústico compatível com as atividades laborais e de repouso, principalmente pela tipologia e qualidade das janelas utilizadas na construção civil. Se por um lado as janelas de correr ocupam pouco espaço nos ambientes e tem praticidade de manuseio, a falta de estanqueidade ao som das mesmas transforma-as no elemento fraco e vulnerável da fachada.

O ineficiente isolamento acústico de uma habitação é apontado como uma das principais causas de descontentamento e depreciação no valor do imóvel, evidenciando que devam surgir novas tecnologias para solucionar e dar conta desta problemática. Tal contexto impõe um complexo desafio e ao mesmo tempo uma atuação conjunta dos mais diversos segmentos da construção civil brasileira: pesquisadores, projetistas, fabricantes de esquadrias, construtores e instituições governamentais.

Acrescente-se a isso o fato de que o índice de isolamento acústico necessário nas fachadas das habitações, cuja magnitude está associada à paisagem sonora no entorno do imóvel, não é previsto nas normas de construção civil vigentes no país.

Pelos motivos acima mencionados, pretende-se melhorar a qualidade e a habitabilidade das moradias, principalmente as já existentes, com a possibilidade de duplicação de janelas.

1.3 Hipótese

- Através de ensaios laboratoriais normalizados é possível quantificar a melhoria no desempenho ao isolamento sonoro, quando janelas simples com baixa ou boa estanqueidade ao som são duplicadas, tornando-se janelas duplas.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação de mestrado está dividida em cinco capítulos:

O **Capítulo I** abordará o tema, os objetivos e as hipóteses visando situar a importância do isolamento acústico a ruído aéreo da janela nas edificações.

O **Capítulo II** tratará da revisão da literatura, onde serão apresentados os estudos precedentes já realizados por pesquisadores na questão do isolamento de janelas, fundamentando o desenvolvimento do trabalho.

No **Capítulo III** será mostrada a metodologia utilizada para a realização dos ensaios acústicos laboratoriais e “*in loco*”, bem como a infra-estrutura do Laboratório de Termo-Acústica da UFSM, as normas, os equipamentos e os procedimentos de medição.

No **Capítulo IV** serão apresentados os resultados obtidos na realização dos ensaios acústicos.

Finalmente, no **Capítulo V** serão apresentadas as conclusões decorrentes do desenvolvimento do presente estudo, assim como sugestões para trabalhos posteriores pertinentes à área de isolamento acústico de janelas.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Som

Segundo a NBR 12179 (ABNT, 1992), som é toda e qualquer vibração ou onda mecânica que se propaga através de um meio elástico produzindo no homem a sensação de ouvir.

Entretanto, tais vibrações somente se tornam auditivamente perceptíveis caso estejam dentro da faixa de frequência captável pelo ouvido humano, a qual varia desde 20 a 20.000 Hz. Além disso, é necessário que haja também certa variação de pressão para ocorrer a percepção do som. Dessa forma, percebe-se o som quando as variações de pressão e a frequência de propagação estiverem dentro dos limites compatíveis com a fisiologia do ouvido humano (SANTOS et al., 1999, p. 07).

Os termos som e ruído são constantemente utilizados de forma indistinta, mas geralmente som refere-se às sensações prazerosas como a música e a fala, enquanto que ruído relaciona-se às sensações desagradáveis como barulho de trânsito e de maquinário.

As conseqüências do ruído sobre o bem estar do homem estendem-se desde a simples interferência na comunicação verbal até efeitos fisiológicos como perda auditiva, perturbações do sono e hipertensão arterial (SILVA, 2000, p. 11).

2.1.1 Propagação do som

A propagação do som acontece através de algum meio elástico ou sólido, sem o qual não há transferência de energia sonora.

Na comunicação humana e no dia-a-dia, o ar representa o meio elástico mais comum para propagação do som, em que as colisões sucessivas das moléculas umas contra as outras originam regiões de compressão e rarefação no meio de propagação, em todas as direções e sem que haja deslocamento de matéria, apenas propagação de energia sonora (GERGES, 1992, p.02).

De acordo com Gerges (1992, p.05) a velocidade de propagação do som em um determinado meio depende das características do meio de propagação, tais como temperatura e umidade relativa. No ar a velocidade de propagação do som (c) pode ser calculada a partir de uma expressão matemática bastante simples, em função da temperatura ambiente (t) em °C:

$$c = 331 + 0,6t(m/s) \quad (1)$$

2.1.2 Freqüência

O número de oscilações ou ciclos completos que um fenômeno realiza com periodicidade temporal de um segundo é denominado freqüência, tendo por unidade de medida o Hertz (Hz). Se estas oscilações tiverem magnitude compreendida entre 20 Hz e 20.000 Hz, serão interpretadas pela região cortical do cérebro como sons audíveis (GERGES, 1992, p.03).

O som é um fenômeno altamente complexo e bastante relacionado à subjetividade do ouvinte. Um mesmo som pode ser agradável para um determinado ouvinte e desagradável para outro. Geralmente se atribuem aos sons ditos agradáveis uma composição harmônica definida, a exemplo do que acontece com a nota fundamental e os sons harmônicos musicais.

Por outro lado, os sons desagradáveis ou ruídos caracterizam-se por ter uma composição harmônica não definida (MÉNDEZ et al., 1994, p.24) e por aleatoriedade de freqüências ao longo do tempo.

2.1.3 Nível de pressão sonora

A faixa de audibilidade com que o ouvido humano percebe os sons varia de 0,00002 N/m², a qual é a mínima pressão perceptível à freqüência de 1.000 Hz, até valores bastante elevados que podem chegar a 200 N/m², valor esse considerado como limiar da dor.

Para a medição da pressão sonora utiliza-se uma escala relativa, tendo sido convencionalizado o decibel (dB) como unidade de relação logarítmica (SANTOS et al., 1999, p. 09).

Nível de Pressão Sonora, ou NPS, é a relação entre o valor eficaz da pressão medida em Pascal e a menor pressão recebida pelo ouvido humano na frequência de 1.000 Hz (SANTOS et al., 1999, p. 10). O NPS é expresso pela fórmula:

$$NPS = 20 \log \frac{P}{P_{ref}} \quad (2)$$

Onde:

P : pressão sonora a medir (Pa)

P_{ref} : pressão sonora de referência (0,00002 Pa)

Conforme demonstra a Tabela 01 a seguir, os sons percebidos pelo ouvido humano variam desde o limiar da audição até o limiar da dor, com uma magnitude de 0 a 120 dB:

Tabela 01 – Níveis de Pressão Sonora desde o limiar da audição até o limiar da dor

P (Pa)	NPS (dB)	Fonte de Ruído
20	120	Turbina de avião a jato
2	100	Martelo pneumático
0,2	80	Rua movimentada
0,02	60	Escritório
0,002	40	Sala de estar tranqüila
0,0002	20	Campo tranqüilo
0,00002	0	Limiar da Audição

Fonte: MÉNDEZ, et al, 1994, p.21.

2.1.4 Curvas de compensação A, B, C e D

A sensibilidade do ouvido humano não é a mesma em todas as faixas de frequência, motivo pelo qual se utilizam nos medidores de pressão sonora as curvas de ponderação, a fim de aproximar a medição instrumental com a fisiologia do sistema auditivo humano.

Existem quatro tipos de curvas de ponderação, designadas por curvas A, B, C e D. Usualmente utilizam-se em medições de acústica arquitetônica a curva de ponderação A por

ser aquela cuja resposta mais se assemelha à forma como o ouvido humano percebe logarithmicamente os sons.

A curva de ponderação A tem como características:

- Amplifica de 0 a 1,5 dB os sons situados desde 1.000 Hz a 6.000 Hz;
- Atenua sons com frequências desde 20 Hz a 1.000 Hz, variando essa atenuação de 60 dB a zero dB;
- Atenua de zero a 90 dB na faixa de frequência de 6.000 Hz a 20.000 Hz.

A curva de ponderação A avalia melhor em que medida a energia sonora distribuída em várias frequências pode ser responsável pela alteração da audição, conforme se pode ver na Figura 01 a seguir:

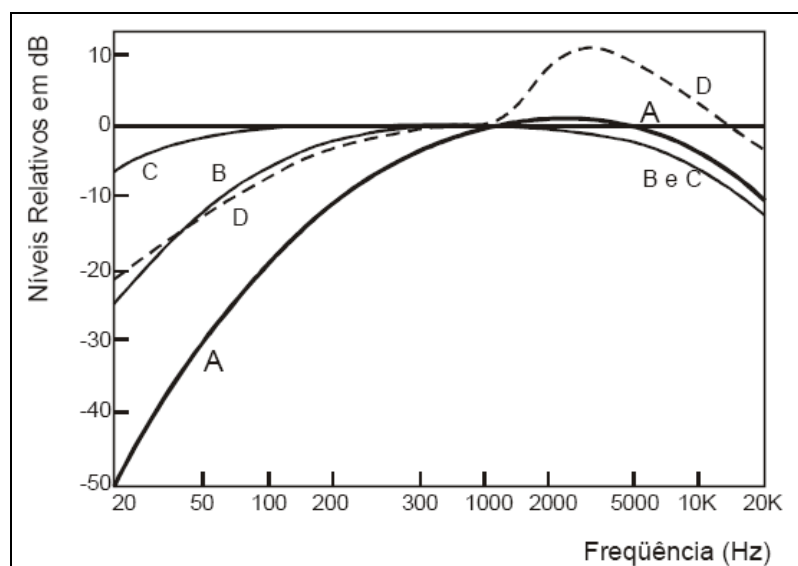


Figura 01 - Curvas de compensação A, B, C e D (GERGES, 1992, p.55)

2.1.5 Tipos de ruído

Os ensaios em laboratório são realizados em câmara reverberante com fonte sonora normalizada, a qual emite um ruído com a mesma quantidade de energia em todas as frequências analisadas. A esse ruído, que apresenta tais características, chama-se ruído rosa. O gráfico do ruído rosa está expresso na Figura 02. (PUJOLLE, 1978, p.32)

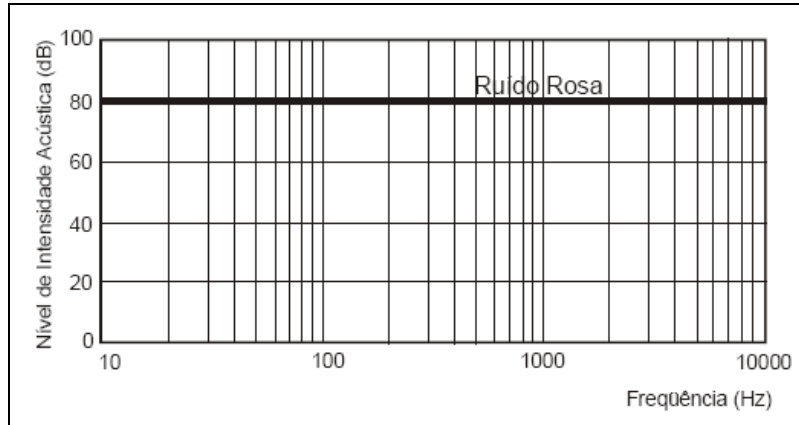


Figura 02 - Espectro do ruído rosa (PUJOLLE, 1978, p.32, adaptado)

Entretanto, o ruído veicular existente nas ruas e avenidas movimentadas das grandes cidades possui um espectro sonoro diferente do ruído rosa gerado por uma fonte sonora normalizada, durante uma situação de ensaio laboratorial.

Medições práticas e estudos já realizados pelo CSTB (1982, p.111) permitiram conhecer as características tonais do ruído produzido por veículos leves e por veículos pesados, conforme mostra o gráfico da Figura 03.

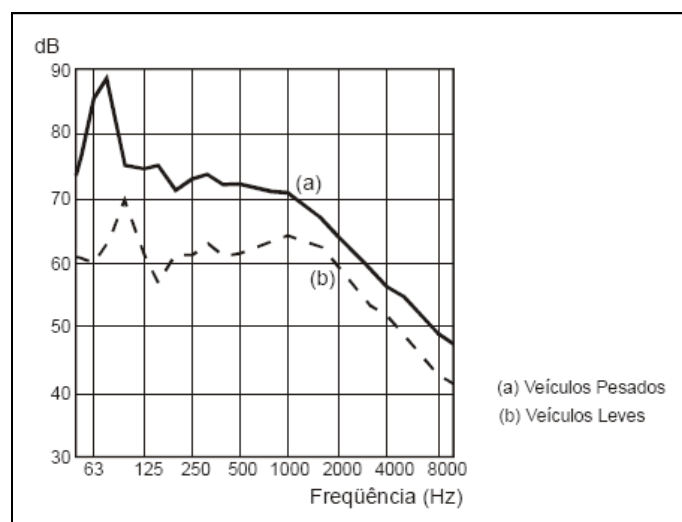


Figura 03 - Ruído emitido por veículos pesados e leves (CSTB, 1982, p.111)

O gráfico da Figura 03 mostra que tanto os veículos pesados quanto os veículos leves emitem mais energia sonora nas baixas frequências do que em relação às médias e altas frequências sonoras.

Com base nesses estudos, chegou-se a um espectro de ruído de tráfego normalizado, relacionando as diferenças de nível de pressão sonora para cada banda de oitava, de acordo

com uma pressão de referência, a 1.000 Hz. A Tabela 02 e a Figura 04, a seguir, demonstram esses valores e o resultado do espectro de ruído de tráfego.

Tabela 02 – Diferenças de nível de pressão sonora para o ruído de tráfego

Frequência em banda de oitava Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Diferença do nível de pressão sonora em relação a uma pressão de referência de 1.000 Hz (dB)	+ 6	+ 5	+ 1	0	- 2	- 8

Fonte: CSTB, 1982, p.114.

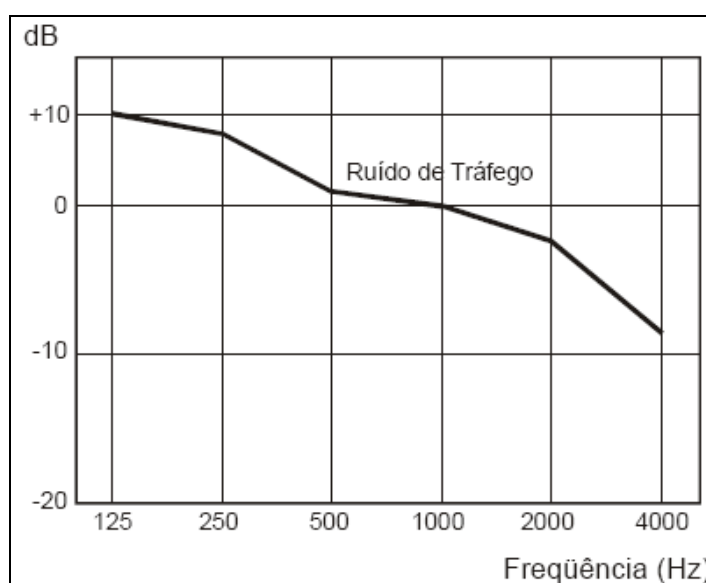


Figura 04 - Espectro de ruído de tráfego (CSTB, 1982, p.115, adaptado)

Ao analisar a problemática do impacto ambiental causado pelo aumento da poluição sonora em área residencial, devido ao funcionamento de locais de lazer noturno na cidade de Santa Maria, Freitas (2006, p. 88), concluiu ser impossível haver o repouso dos moradores situados no entorno de tais estabelecimentos. Segundo a mesma autora, vários locais analisados demonstraram inclusive desvalorização imobiliária frente à proximidade em relação a alguns bares. Ainda conforme Freitas (2006), a poluição sonora ocasionada por aglomerações e ruído de trânsito no entorno dos locais analisados atingiu até 20 dB (A) a mais de diferença, em relação aos dias de não funcionamento dos mesmos.

2.2 Isolamento acústico

O controle de ruído é um elemento de projeto imprescindível para garantir conforto e habitabilidade nas edificações. Os mecanismos a partir dos quais o som é gerado e transmitido do meio externo para o interior da edificação, ou mesmo entre economias da mesma edificação, devem ser conhecidos e levados em consideração na fase de anteprojeto de um imóvel.

Conforme Gerges (1992, p.175), o som se propaga por via aérea (quando o meio de propagação é o ar) e/ou por via estrutural (quando o meio de propagação é algum tipo de corpo sólido). A maior parte das fontes sonoras nas habitações produz concomitantemente ruídos aéreos e ruídos transmitidos por vibrações nos sólidos. Assim, de acordo com a forma com que as ondas sonoras são geradas e propagadas, consideram-se dois tipos de isolamento acústico (MÉNDEZ, 1994, p. 105):

- Isolamento acústico a ruídos aéreos: nesse caso a fonte geradora do ruído emite um movimento vibratório de compressões e rarefações nas moléculas do ar, pondo em vibração as partições e/ou elementos construtivos.
- Isolamento acústico a ruído de impacto: quando a fonte geradora de ruído é uma vibração, contínua ou percussiva, a qual é gerada diretamente sobre a estrutura, transmitindo-se por via sólida (tal como acontece nos pilares, vigas, lajes, paredes e outros elementos construtivos da habitação).

2.3 Isolamento de ruídos aéreos

O fenômeno da transmissão de ruído aéreo foi descrito por Méndez et al. (1994, p. 105) da seguinte forma: uma onda sonora incidente sobre um elemento divisor qualquer, imprime ao mesmo um movimento vibratório, o qual por sua vez gera compressões e expansões nas moléculas de ar imediatamente contíguas à camada oposta do elemento divisor, propagando as ondas sonoras para o outro ambiente. O elemento de divisória atua como se fosse ele mesmo uma fonte sonora.

Segundo Méndez et al. (1994, p.106), “quando uma onda sonora de energia E_i incide sobre uma superfície, divide-se em duas, uma energia refletida E_r e uma absorvia E_a . Esta

última, por sua vez, se decompõe em energia dissipada no interior do fechamento E_a e uma energia transmitida E_t ”, conforme a Figura 05.

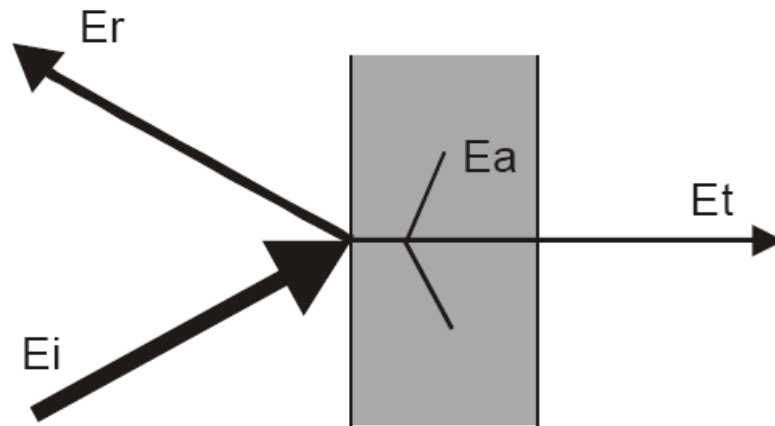


Figura 05 - Reflexão, absorção e transmissão do som (MÉNDEZ et al, 1994, p.107)

Chama-se coeficiente de transmissão τ à relação entre energia transmitida E_t e energia incidente E_i , o qual se traduz pela capacidade do fechamento em transmitir o som:

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (3)$$

A capacidade de isolamento acústico de um fechamento é caracterizada através da Perda de Transmissão Sonora – PT, igualmente conhecida como Índice de Redução Acústica – R. O Índice de Redução Acústica, em dB, é representado pela expressão:

$$R = 10 \log \frac{E_i}{E_t} = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (4)$$

A equação anterior mostra que altas perdas de transmissão significam baixas transmissões de energia acústica e vice-versa (GERGES, 1992, p.178).

Em situações práticas o que se mede na realidade, são os níveis sonoros presentes em um e em outro ambiente (MÉNDEZ et al. ,1994, p.108). Sendo assim, o isolamento sonoro em dB, entre dois ambientes, é a diferença entre o nível sonoro na sala de emissão (N_1) e o nível sonoro na sala de recepção (N_2), sendo expresso da seguinte forma:

$$D = N_1 - N_2 \quad (5)$$

Segundo ainda Méndez et al. (1994, p.107), se a absorção sonora no ambiente receptor é baixa, a relação entre R e D é dada a partir da expressão:

$$R = D + 10 \log \frac{S}{A_2} \quad (6)$$

Onde:

S : área da parede (m^2)

A_2 : absorção do local receptor (m^2)

A perda de transmissão em fechamentos homogêneos depende, sobretudo, da massa superficial do material e da frequência incidente.

2.3.1 Isolamento acústico de fechamentos simples

O isolamento acústico de um fechamento simples suposto homogêneo varia em função da densidade superficial do material e da frequência sonora do som incidente. Dessa forma, para cada frequência do espectro audível corresponderá um determinado índice de redução acústica.

Considerando fechamentos simples e isotrópicos, a variação da Perda de Transmissão (PT) em função da frequência acontece segundo quatro regiões bem definidas.

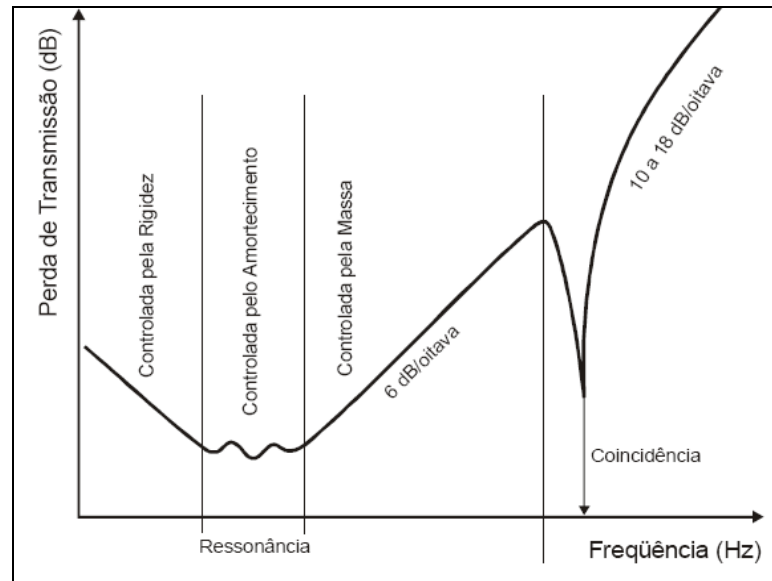


Figura 06 - Curva típica da perda de transmissão para fechamentos simples (GERGES, 1992, p.197)

a) Região controlada pela rigidez:

Nas frequências muito baixas a perda de transmissão não segue a lei da massa, estando na dependência, sobretudo, das características de rigidez do fechamento.

b) Região controlada pela ressonância:

Caracteriza-se por ser a região onde aparecem as primeiras frequências de ressonância do sistema. O fechamento se comporta como se fosse uma membrana, apresentando uma série de frequências naturais de ressonância, nas quais ocorrem quedas na perda de transmissão.

Essas frequências dependem das dimensões, da rigidez e da massa do fechamento.

c) Região controlada pela massa:

Ocorre em frequências superiores ao dobro da frequência da primeira ressonância e a isolamento acústico do fechamento depende da massa e da frequência incidente.

Assim, a perda de transmissão tende a apresentar um aumento de 6 dB para cada duplicação da massa ou a cada duplicação da frequência da onda incidente. A partir da lei da massa, conclui-se que para isolar um ruído é necessário usar materiais de alta densidade superficial.

Paralelamente a isso, verifica-se que para as altas frequências a perda de transmissão é maior que para as baixas frequências (GERGES, 1992, p.190). Tal fato ocorre porque, quanto

maior a massa do fechamento e maior a frequência incidente, maior será a dificuldade de fazer o material vibrar, garantindo assim um isolamento mais eficiente.

Entretanto, há que considerar-se que toda e qualquer imperfeição construtiva que não garanta a estanqueidade ao ar do fechamento, irá prejudicar o isolamento do conjunto. Isto se aplica também à utilização de materiais porosos ou à passagem de tubulações nas paredes.

d) Região controlada pela coincidência:

A isolação sonora cresce de acordo com a lei da massa até uma certa frequência, onde se produz uma queda significativa no isolamento, devido ao fenômeno da coincidência. Esta é chamada frequência crítica f_c do fechamento.

Conforme mencionado por Méndez et al. (1994, p.111), esta frequência de coincidência acontece porque, no ar, o som se propaga por ondas longitudinais e sua velocidade é a mesma para todas as frequências. Nos sólidos, as ondas podem propagar-se de várias formas, sendo as ondas de flexão as mais importantes para fechamentos. Estas se propagam com velocidade proporcional à frequência. Dessa forma, haverá uma frequência crítica, na qual a projeção do comprimento de onda do som incidente será igual ao comprimento de onda livre à flexão, ao longo do fechamento, conforme a Figura 07.

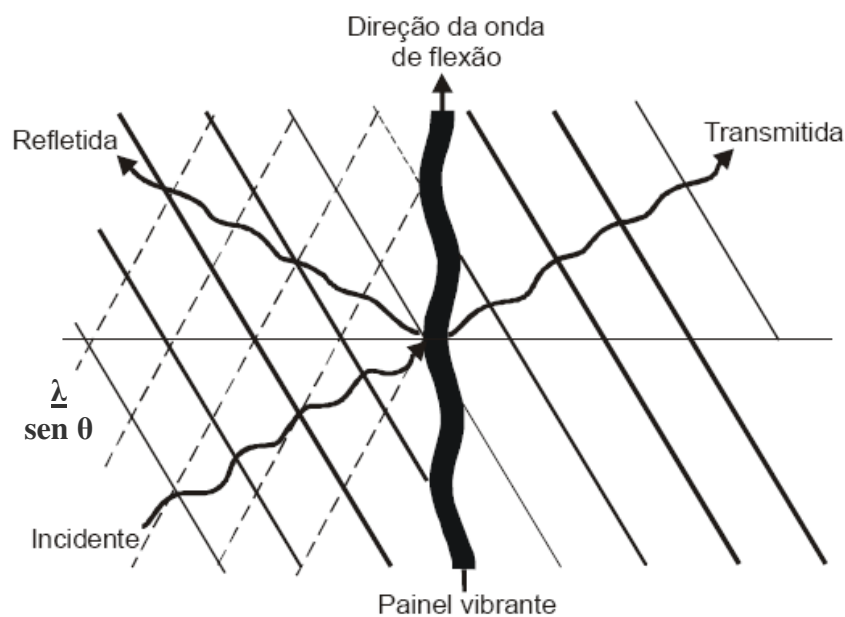


Figura 07 - Efeito da coincidência (MÉNDEZ et al., 1994, adaptado)

De acordo com Gerges (1992, p.201), a frequência crítica f_c de um material pode ser calculada pela expressão:

$$f_c = \frac{c^2}{1.8c_l h} \quad (7)$$

Onde:

c_l é a velocidade da onda longitudinal no sólido, que depende do módulo de Young E , da densidade do material ρ_m e do coeficiente de Poisson ν do material, conforme a expressão a seguir:

$$c_l^2 = \frac{E}{\rho_m (1 - \nu^2)} \quad (8)$$

Sendo que a rigidez dinâmica à flexão é calculada por Gerges (1992, p.199), envolvendo as propriedades mecânicas de elasticidade dos materiais:

$$B = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (9)$$

Onde:

E : módulo de Young

h : espessura da parede

ν : coeficiente de Poisson

Conforme o CSTB (1982), o valor da queda de isolamento na frequência crítica depende das perdas internas, da capacidade de gerar calor do material. Assim, para materiais de baixas perdas internas (aço, alumínio, vidro), a queda de isolamento é da ordem de 10 dB.

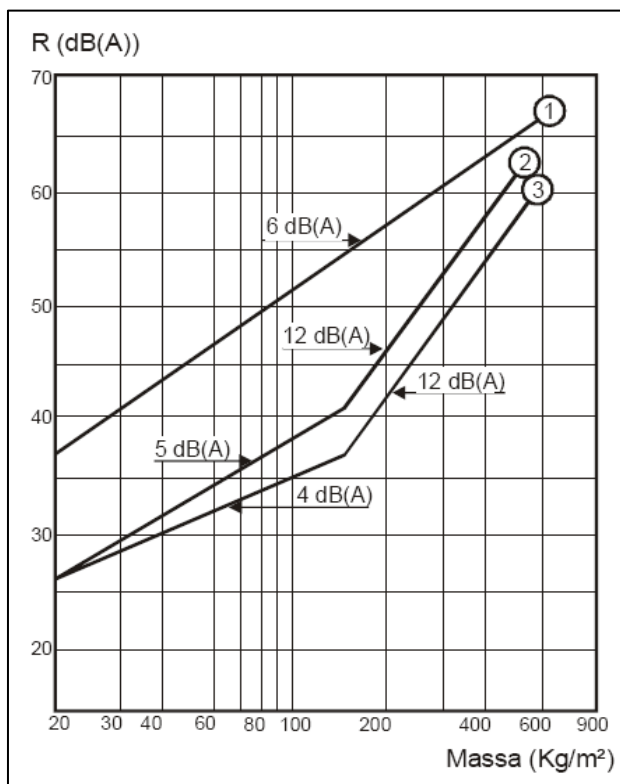
Em relação aos materiais com perdas internas médias (concreto, madeira), a diminuição é da ordem de 6 a 8 dB. Já para aqueles materiais com altas perdas internas (borracha, cortiça), a diminuição é da ordem de 3 a 4 dB. Nos materiais comumente utilizados na construção civil para fechamentos, verificou-se que existem três regiões distintas quanto ao isolamento: a região controlada pela lei da massa, a região de coincidência onde ocorre a

freqüência crítica e a região acima da coincidência, na qual o material volta a comportar-se seguindo a lei da massa.

Inferese a partir daí a importância de se conhecer a freqüência crítica de um fechamento, pois é nesta região que ocorrerá uma diminuição no isolamento. De forma geral, elegem-se aqueles materiais cuja freqüência crítica esteja situada em zonas pouco sensíveis ao ouvido humano, como nas freqüências muito baixas ou muito altas.

Diversos autores em seus estudos equacionaram, através de pesquisas práticas, o índice de redução acústica R de uma forma global, em dB (A), relacionando a massa superficial da amostra.

O CSTB (1982), de acordo com a Figura 08, mostra a lei que relaciona o índice de redução R e a massa do fechamento, para o modelo teórico e dois modelos experimentais com espectros de emissão usuais:



Em que:

- 1: Lei da Massa Teórica
- 2: Lei da Massa Experimental (Ruído Rosa)
- 3) Lei da Massa Experimental (Ruído de Tráfego)

Figura 08 - Lei da Massa (CSTB, 1982)

Constata-se que há uma quebra nas retas experimentais, em 150 kg/m², o que reflete o estágio atual das técnicas construtivas, correlacionando a massa e a rigidez dos fechamentos.

A partir daí, consideram-se então dois grandes grupos: os chamados fechamentos leves, com massa inferior a 150 Kg/m²; e os fechamentos pesados, com massa superior 150 kg/m².

Silva (2000) realizou diversos ensaios laboratoriais com paredes de diferentes materiais e massas, a fim de avaliar as expressões previstas pela bibliografia e chegar a uma fórmula empírica, com base em análises estatísticas, que fosse a mais próxima possível dos resultados obtidos na prática. As fórmulas apresentadas foram as propostas pelo CSTB (1982) e por Sanchidrian (1998).

Conforme o CSTB (1982), o valor único de isolamento, para 150 kg/m² é igual a 41 dB(A). Acima desta massa, o índice R cresce à razão de 12 dB (A) a cada duplicação da massa. Abaixo desse valor, o crescimento é de 5 dB (A) por dobramento de massa para ruído rosa, e de 4 dB(A), para um ruído de tráfego, segundo as expressões:

$$\text{Para } m < 150 \text{ kg/m}^2 \longrightarrow R = 17 \log m + 4 \text{ dB(A)} \quad (10.a)$$

$$\text{Para } m > 150 \text{ kg/m}^2 \longrightarrow R = 40 \log m - 46 \text{ dB(A)} \quad (10.b)$$

Para Sanchidrian (1998), as expressões para determinação do valor único de isolamento são as seguintes:

$$\text{Para } m < 150 \text{ kg/m}^2 \longrightarrow R = 16,6 \log m + 2 \text{ dB(A)} \quad (11.a)$$

$$\text{Para } m > 150 \text{ kg/m}^2 \longrightarrow R = 36,5 \log m - 41,5 \text{ dB(A)} \quad (11.b)$$

Dessa forma, Silva (2000) elaborou gráficos que relacionam as duas leis acima estudadas; os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais realizados e as equações propostas pelo autor, com base em análises estatísticas, e que apresentam desvio padrão relativo menor que os modelos de previsão anteriores.

As expressões resultantes do estudo de Silva (2000) para cálculo do valor único de isolamento são as seguintes:

$$\text{Para } m < 150 \text{ kg/m}^2 \longrightarrow R = 12,8 \log m + 13 \text{ dB(A)} \quad (12.a)$$

$$\text{Para } m > 150 \text{ kg/m}^2 \longrightarrow R = 43,4 \log m - 55,3 \text{ dB(A)} \quad (12.b)$$

Conforme Scherer (2005, p. 96) fechamentos com vitragens simples de diferentes espessuras seguem a lei da massa com incrementos de isolamento sonoro na ordem de 0,5 dB

(A) para cada mm de acréscimo na espessura de vidros monolíticos comuns ou temperados e quanto maior for a espessura do vidro comum ou temperado, menor é a frequência crítica do material. Ainda segundo Scherer, os vidros laminados apresentam um ganho de isolamento acústico de cerca de 2 dB (A) em relação aos vidros comuns e temperados de igual espessura, devido à presença do filme de butiral de polivinil (PVB), cuja consequência é suavizar o efeito da frequência crítica.

A Figura 09 a seguir mostra alguns dos ensaios feitos por Scherer (2005, p. 75), com relação a vitragens simples.

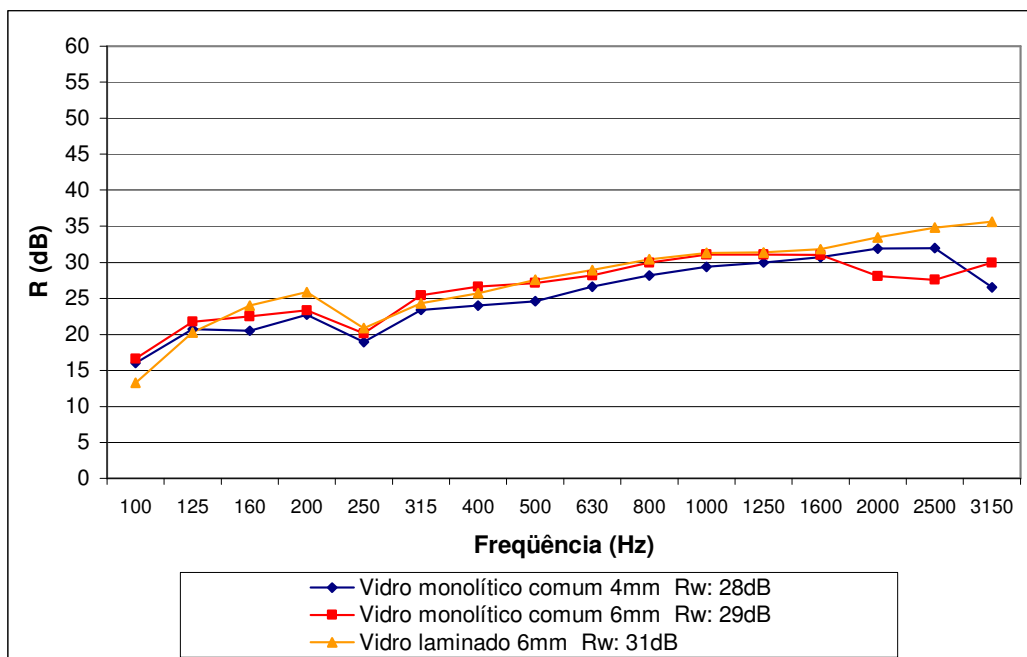


Figura 09 - Valores de R (dB) para vidros monolíticos comuns (SCHERER, 2005. p. 75, adaptado)

2.3.2 Isolamento acústico de fechamentos duplos

Conforme mencionado anteriormente, o isolamento a ruído aéreo de um fechamento simples segue a lei da massa, de maneira que quanto mais pesado for o material, maior será o isolamento. Concomitantemente, para haver um isolamento eficaz, deve-se escolher um material com frequência crítica adequada. Entretanto, considerar somente a lei da massa não é suficiente e viável para resolver todos os casos de isolamento sonoro. Se assim fosse, seria necessário aumentar significativamente a massa do fechamento, conflitando com o espaço disponível, à estrutura existente e com a questão econômica.

Assim, conforme sugere Gerges (1992, p.205), “uma melhor solução para projetos de alta perda de transmissão, sem o emprego de grandes massas, é o uso de paredes duplas (ou triplas)”. A combinação de fechamentos paralelos, afastados entre si, formando espaço preenchido pelo ar ou por algum material absorvente acústico, garante um isolamento maior que o efeito produzido pela lei da massa, para uma mesma espessura. É o chamado “efeito sanduíche” (SILVA, 1997, p. 89). Os componentes individuais do fechamento simples podem ser constituídos pelo mesmo material ou por materiais diferentes, de espessuras iguais ou assimétricas.

O isolamento acústico proporcionado por uma parede dupla é diferente da soma dos isolamentos de cada parede. Segundo Gerges (1992, p.207), “a incorporação de um espaço de ar de 15 a 200 mm fornece um aumento na perda de transmissão de aproximadamente 6 dB acima da soma aritmética das perdas de transmissão de cada uma das duas paredes”. Com a utilização de um material absorvente no interior da cavidade de ar, o isolamento tende a aumentar ainda mais, já que parte da energia sonora é dissipada pelo material.

Conforme Méndez et al. (1994, p.115), os elementos de um fechamento duplo estão acoplados entre si, de maneira elástica, por meio de uma camada de ar. A energia acústica transmitida pelo primeiro painel incide sobre o segundo, que por sua vez transmite parte dessa energia ao ar que o rodeia e reflete outra grande parte. Ocorre uma sucessão de reflexões na camada de ar e, em cada uma dessas reflexões, parte da energia é dissipada, conforme a Figura 10.

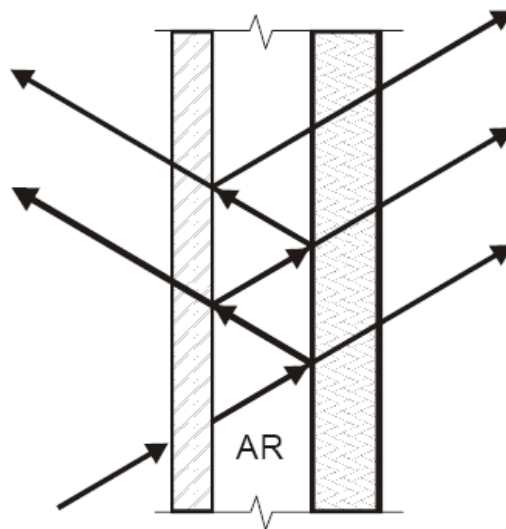


Figura 10 – Reflexão e transmissão em um fechamento duplo (MÉNDEZ et al., 1994, p.115)

A eficiência do fechamento duplo depende da ligação entre os painéis, se esta união for muito rígida, o conjunto passa a funcionar como um único painel. A camada de ar situada entre os dois elementos rígidos cria um acoplamento elástico entre eles, sendo que o conjunto pode ser comparado a um sistema de duas massas separadas por uma mola, ou seja, um sistema massa-mola-massa.

Da mesma forma que para painéis simples, o isolamento de um fechamento duplo varia em função da frequência de incidência do som, motivo pelo qual podem ocorrer falhas no isolamento, segundo Méndez et al. (1994, p.116):

- a) Cada fechamento componente do sistema tem uma frequência crítica, onde ocorre perda de isolamento. Se os dois elementos têm frequências críticas diferentes, a curva de isolamento apresenta dois defeitos, já que quando um dos elementos não isola, o outro isola (Figura 11a). Já se os dois painéis têm a mesma frequência crítica, acontece uma só falha muito acentuada de isolamento (Figura 11b). Assim, é recomendada a escolha de elementos com diferentes frequências críticas, seja pela natureza ou espessura do fechamento, evitando uma queda maior de eficiência.

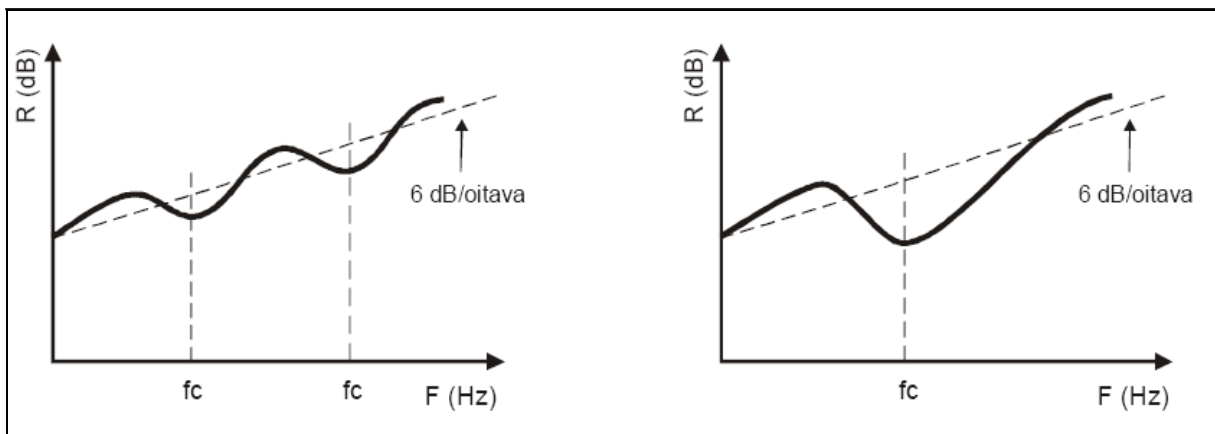


Figura 11 - a) Diferentes frequências críticas; b) Frequências críticas coincidentes (MÉNDEZ et al, 1994, p. 116)

- b) A camada de ar situada entre os elementos da parede dupla cria um acoplamento elástico entre eles. É como se o sistema funcionasse ligado por uma mola. Esta ligação elástica pode possibilitar uma ressonância no sistema massa-mola-massa, em uma frequência onde o isolamento diminuirá, conforme a expressão (MÉNDEZ et al., 1994, p.117):

$$f_0 = 840 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (13)$$

Onde:

f_0 : frequência de ressonância massa-mola-massa

d : espessura da camada de ar (cm)

m_1 e m_2 : massa superficial das paredes (kg/m²)

A partir desta expressão, conclui-se que quanto maior o afastamento entre os painéis, e quando mais pesados eles forem, mais baixa será a frequência de ressonância. Abaixo da frequência de ressonância, a “mola” não tem eficácia, e o isolamento é praticamente o mesmo da parede simples de mesma massa. Já acima desta frequência, o isolamento da parede dupla é muito superior à simples, já que a “mola” transmite muito pouco a vibração para o outro painel conforme a Figura 12.

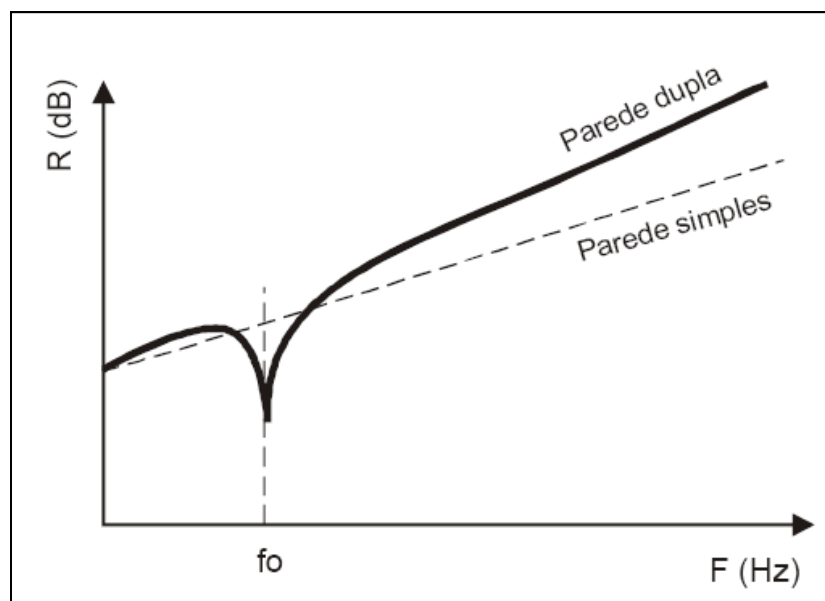


Figura 12 - Diferença entre o isolamento de uma partição simples e uma dupla (MÉNDEZ et al., 1994, p.117)

- c) A camada de ar situada entre os painéis pode dar origem a ressonâncias (ondas estacionárias), de acordo com a relação existente entre sua espessura e o comprimento de onda do som incidente. Quando as ondas incidentes são paralelas

ao fechamento, haverá ressonâncias se a frequência do som for igual a (MÉNDEZ et al.,1994, p.117):

$$f = n \frac{1700}{d} \quad (14)$$

Onde:

n: 1,2,3,...

d: espessura da camada de ar (cm)

Nestas frequências ocorre uma queda de isolamento da parede dupla (Figura 13). Para as distâncias mais usuais de fechamentos duplos (de 2 cm a 10 cm), as frequências de ressonância caem na região das altas frequências. Assim, é conveniente adotar um afastamento de maneira que as ressonâncias ocorram fora das zonas mais audíveis do ouvido humano.

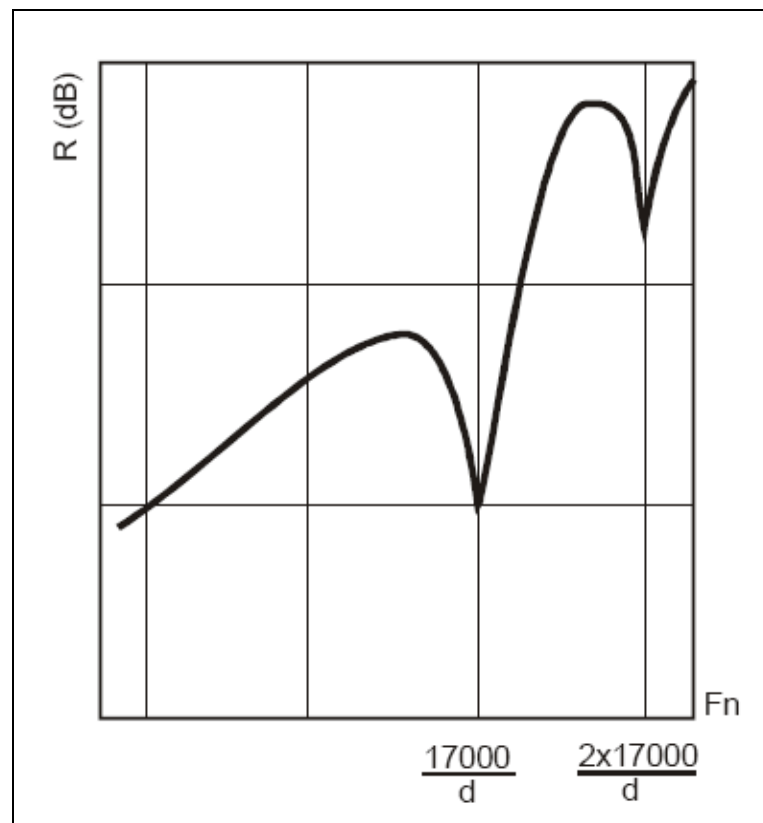


Figura 13 - Diminuição do isolamento por ressonâncias da camada de ar (MÉNDEZ et al., 1994, p.118)

2.3.3 Perda de transmissão em superfícies compostas

Para a determinação da perda de transmissão total de um fechamento composto por um conjunto de elementos de diferentes materiais e espessuras, deve-se conhecer a área de cada elemento e o seu respectivo coeficiente de transmissão. Desta forma, determina-se o índice R de uma parede homogênea acusticamente equivalente, conforme a expressão (MÉNDEZ et al., 1994, p.122):

$$R = 10 \log \frac{S}{S_1 \tau_1 + S_2 \tau_2 + \dots + S_n \tau_n} \quad (15)$$

Onde:

S : área total do fechamento (m^2)

S_1, S_2, \dots, S_n : áreas dos componentes individuais (m^2)

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$: coeficientes de transmissão dos componentes individuais

Ao testar diversas composições com vitragens duplas, Scherer (2005, p. 97) constatou que a combinação de vidros com pequenos espaçamentos ocasiona o fenômeno da ressonância do sistema massa-mola-massa e que o desempenho acústico de um vidro simples, de massa equivalente à soma dos dois elementos de uma vitragem dupla, é visivelmente superior, principalmente quando se consideram frequências médias e altas.

Ainda segundo Scherer (2005), quando o afastamento entre os vidros é pequeno, o aumento do isolamento acústico aumenta de forma rápida com a espessura da camada de ar, enquanto que para afastamentos em que f_0 está deslocada para baixo de 100 Hz o incremento no isolamento acústico acontece com maior lentidão. As Figuras 14, 15, 16 e 17 a seguir, mostram os ensaios realizados por Scherer (2005) com relação a diferentes vitragens duplas afastadas em 20 mm, 50 mm, 100 mm e 150 mm, respectivamente:

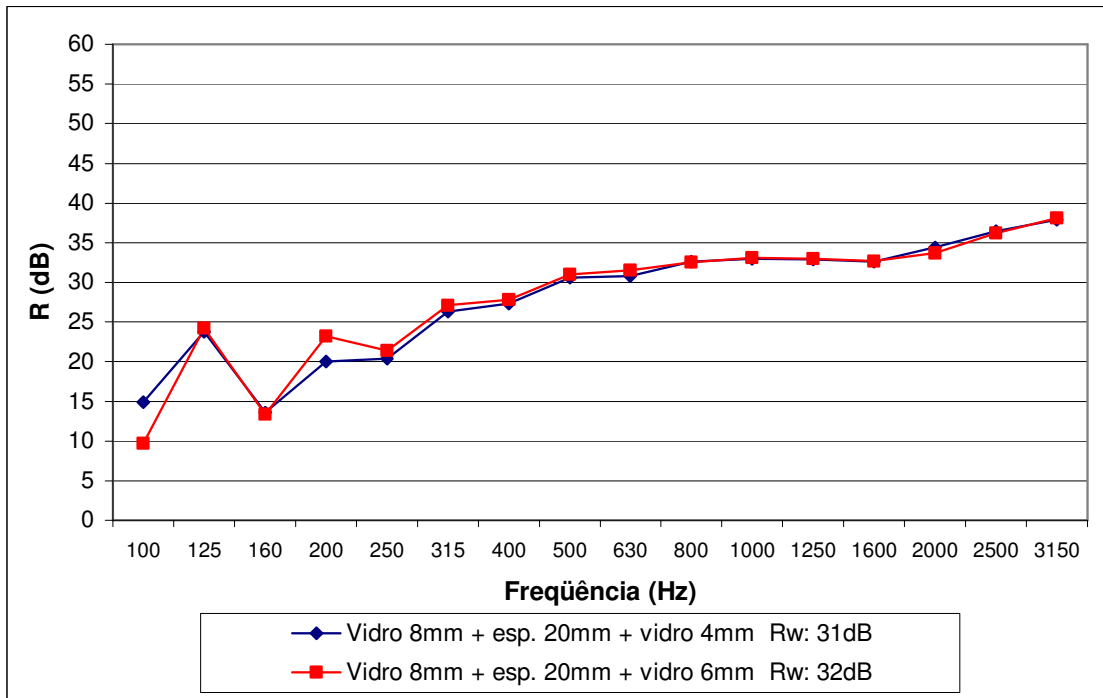


Figura 14 - Valores de R (dB) para vidros duplos com 20 mm de afastamento (SCHERER, 2005, p. 79, adaptado)

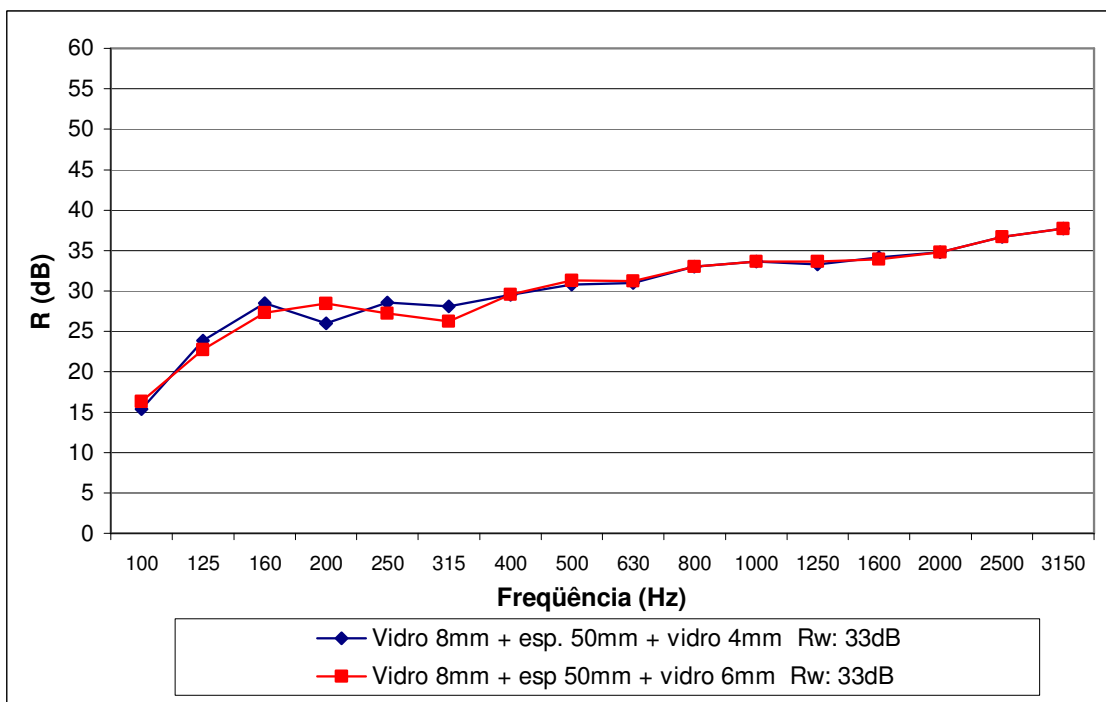


Figura 15 - Valores de R (dB) para vidros duplos com 50 mm de afastamento (SCHERER, 2005, p. 83, adaptado)

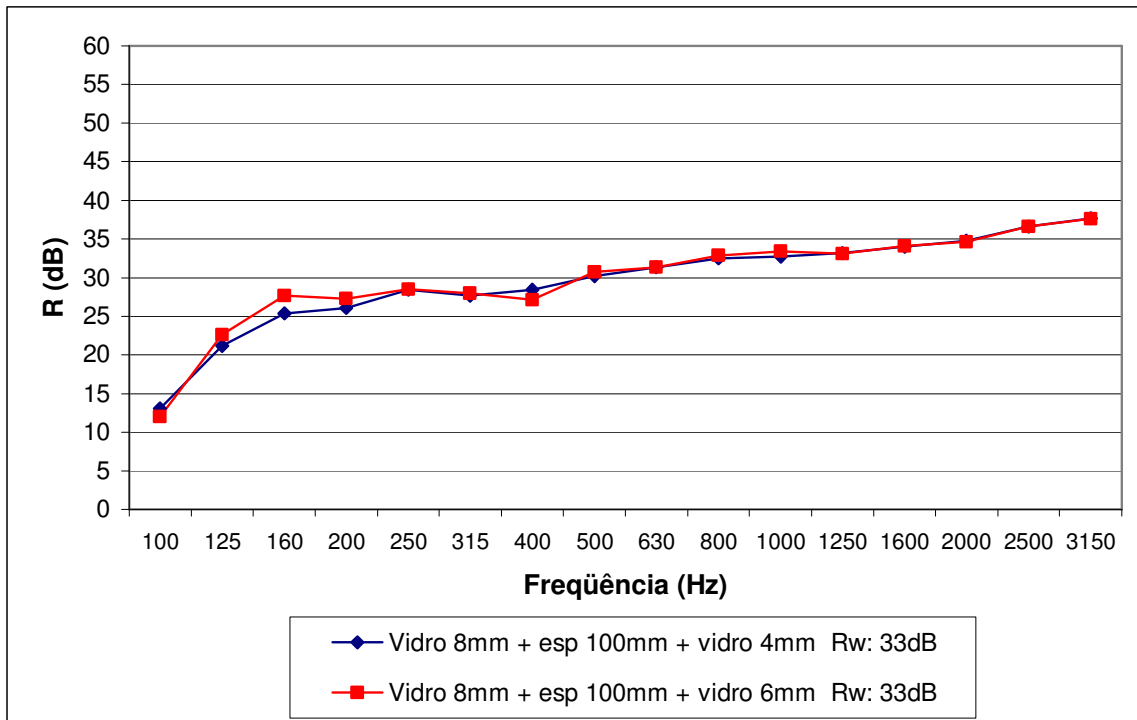


Figura 16 - Valores de R (dB) para vidros duplos com 100 mm de afastamento (SCHERER, 2005, p. 86, adaptado)

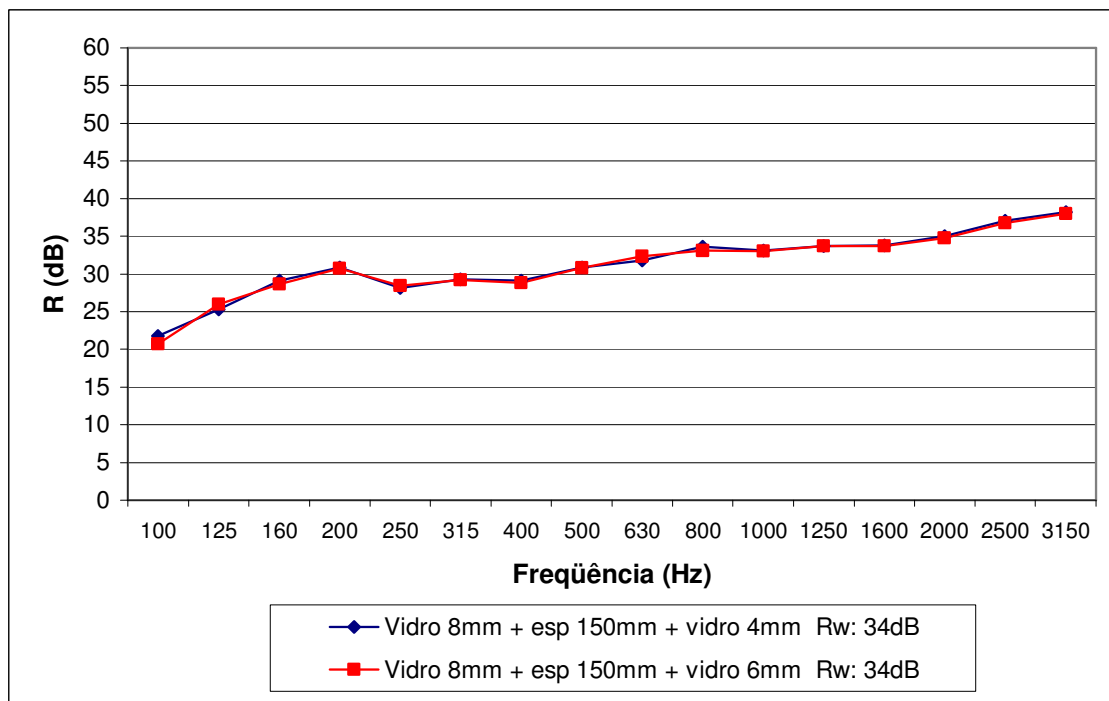


Figura 17 - Valores de R (dB) para vidros duplos com 150 mm de afastamento (SCHERER, 2005, p. 90, adaptado)

2.4 Isolamento acústico de janelas

2.4.1 A janela nos países desenvolvidos

Os países desenvolvidos, tais como os países da Europa e da América do Norte, dominam a tecnologia de produção de esquadrias acústicas há mais de cinquenta anos.

Tais países se viram forçados, devido às rigorosas condições climáticas que ocorrem no inverno, a desenvolver tecnologia nas esquadrias que pudessem torná-las estanques à entrada de vento, umidade, calor, frio e ruído.

Além dessa questão de proteção contra intempéries houve também um interesse político e econômico dos governos nesses países, sobretudo após a segunda guerra mundial, na redução do consumo de energia.

Dentro desse contexto, países tais como a Alemanha subsidiaram várias iniciativas para desenvolvimento, produção e comercialização de janelas que tivessem essas duas importantes características: conforto termo-acústico e sustentabilidade.

Uma das tipologias de janelas que emergiu desse esforço dos países desenvolvidos foram as esquadrias feitas com perfis de PVC rígido e vitragem dupla. A Figura 18 ilustra um perfil de PVC rígido, utilizado em janelas acústicas com boa estanqüidade:



Figura 18 – Perfil de PVC rígido e vitragem dupla

Estas esquadrias possuem alta estanqüidade devido aos encaixes e ajustes nos caixilhos de abrir, tendo borrachas de vedação dupla nos batentes. Além disso, são utilizados vidros duplos com espaçamento de ar entre vidros, podendo atingir até 150 mm, cujo preenchimento com gases nobres confere ainda mais isolamento acústico à janela.

No Brasil existem diversas empresas que importam daqueles países os perfis de PVC rígido bem como o sistema de ferragem necessário para fabricação dessas esquadrias. Dentre essas empresas menciona-se a empresa catarinense Bellevue, localizada na cidade de Blumenau, SC.

Por outro lado, em países como a Austrália existem empresas especializadas na duplicação de esquadrias: a esquadria já existente é mantida, sobrepondo-se então uma segunda esquadria pela parte interna da residência.

O isolamento acústico de uma fachada com janela de vitragem dupla atinge 35 dB (A), podendo chegar a até 40 decibéis (A) caso a área de vidro seja no máximo um quarto da área total da fachada da habitação. Visando-se alcançar índices de isolamento acústicos superiores a 40 dB (A), é preciso utilizar uma composição de fachada com janelas duplas, cuja curva padrão de isolamento tem um mínimo na frequência crítica do sistema massa-mola-massa e nas frequências críticas dos vidros. (PUJOLLE, 1978)

Ao ser instalada uma segunda esquadria paralelamente à esquadria já existente, pode-se esperar um isolamento de 40 a 50 dB (A) para ruído rosa e de 36 a 46 dB (A) para ruído de trânsito. (PUJOLLE, 1978)

Uma melhoria muito pequena pode ser alcançada colocando-se material absorvente na periferia da janela, neste caso f_0 deve ser inferior a 75 Hz (PUJOLLE, 1978). Tal melhoria só acontece, entretanto, se o espaçamento entre as janelas é suficientemente grande, e será tanto maior, quanto menor for à espessura dos vidros empregados. A Figura 19 mostra os gráficos comparativos da redução de ruído por absorção sonora, quando da colocação de materiais absorventes entre janelas duplas.

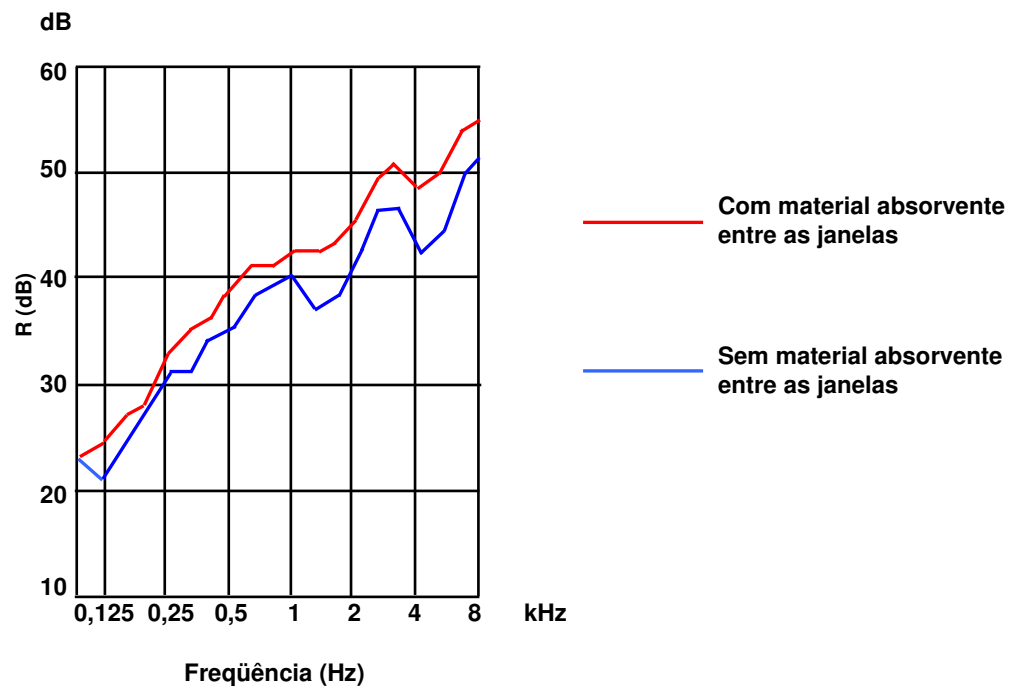


Figura 19 - Janelas duplas com material de absorção sonora entre janelas (CSTB, 1982, p. 187, adaptado)

Nas espessuras de vidro usualmente encontradas nas janelas das habitações (PUJOLLE, 1978), verifica-se que o espaçamento entre janelas duplas deve ser de no mínimo 50 mm, cuja magnitude do isolamento total dependerá do tipo de fechamento das juntas ao longo do perímetro de fechamento de cada janela. Segundo o mesmo autor, pode-se calcular o espaçamento mínimo entre janelas, dependendo do tipo de vidro, segundo a expressão:

$$D = 256 \left(\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} \right) \quad (16)$$

Onde:

D : espaçamento entre janelas duplas

e₁ : espessura do vidro da primeira janela

e₂ : espessura do vidro da segunda janela

A eficiência na duplicação de janelas depende tanto da permeabilidade ao fluxo de ar quanto do espaçamento entre as mesmas e pode ser quantificada através de um fator de qualidade, dado pela seguinte expressão (PUJOLLE, 1978):

$$Q = R - R_t / R_1 + R_2 \quad (17)$$

Onde:

R : índice de isolamento das janelas duplas

R₁, R₂ : índice de isolamento de cada janela individualmente

R_t : índice de isolamento do vidro simples que corresponde à soma dos dois vidros da janela duplicada

2.4.2 Qualidade das esquadrias no Brasil

Os principais requisitos a serem atendidos por uma janela são os seguintes:

- Resistência a cargas de vento
- Resistência a esforços de uso
- Resistência à intrusão
- Estanqüidade à água de chuva
- Estanqüidade ao ar
- Estanqüidade a insetos e poeiras
- Isolação acústica
- Iluminação
- Ventilação
- Facilidade de manuseio
- Aspecto
- Durabilidade
- Manutenção
- Economia em relação ao custo inicial, à reposição de peças e à manutenção da esquadria.

No Brasil a utilização de janelas com bom desempenho acústico ainda é muito incipiente, devido aos seguintes motivos:

- Ausência de uma política pública de incentivo ao desenvolvimento, produção e comercialização de esquadrias com melhor qualidade, capaz de garantir conforto acústico e conservação de energia.
- Baixo poder aquisitivo da grande maioria da população, a qual não dispõe de recursos suficientes para adquirir esquadrias com maior estanqüidade ao som.

- Desconhecimento ou mesmo negligência do consumidor final no momento de aquisição de um imóvel.
- Falta de legislação eficiente que possa obrigar as construtoras a produzir habitações com melhor qualidade acústica.
- Resistência cultural quanto à utilização de janelas de abrir, as quais possuem maior vedação e isolamento acústico do que as esquadrias com caixilho de correr.

Ao realizar ensaios visando investigar o desempenho acústico dos elementos construtivos que compõem a fachada dos imóveis, Recchia (2001, p. 79) constatou o baixo índice de isolamento das esquadrias regionais no Rio Grande do Sul, concluindo que o elemento fraco no isolamento da fachada era a janela.

A Figura 20 a seguir mostra alguns dos ensaios realizados por Recchia (2001) com blocos de concreto e cerâmico, evidenciando que a parede da fachada tem um ótimo isolamento a ruído aéreo:

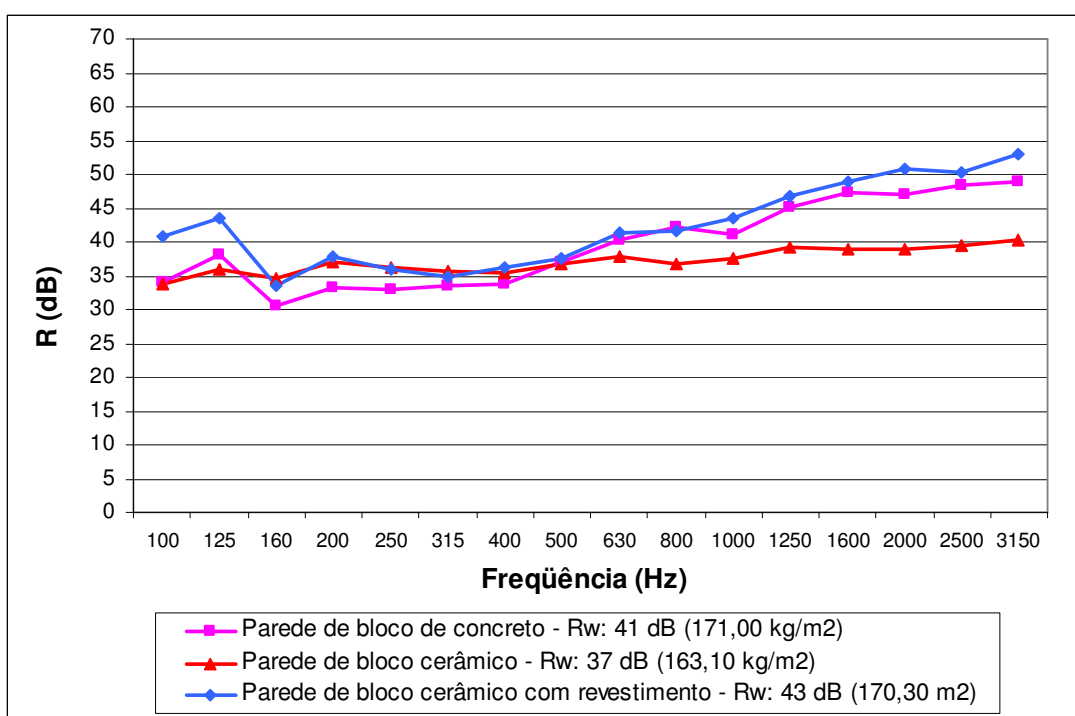


Figura 20 - Ensaio de parede com blocos de concreto, blocos cerâmicos e blocos cerâmicos com revestimento de argamassa (RECCHIA, 2001, p. 56, adaptado)

Por outro lado, quanto ao isolamento das janelas produzidas regionalmente, Recchia (2001) constatou que independentemente de qual seja o material utilizado na fabricação das

mesmas, o índice de isolamento acústico apresentado por esquadrias de correr ficou em torno de 20 dB apenas, conforme a Figura 21.

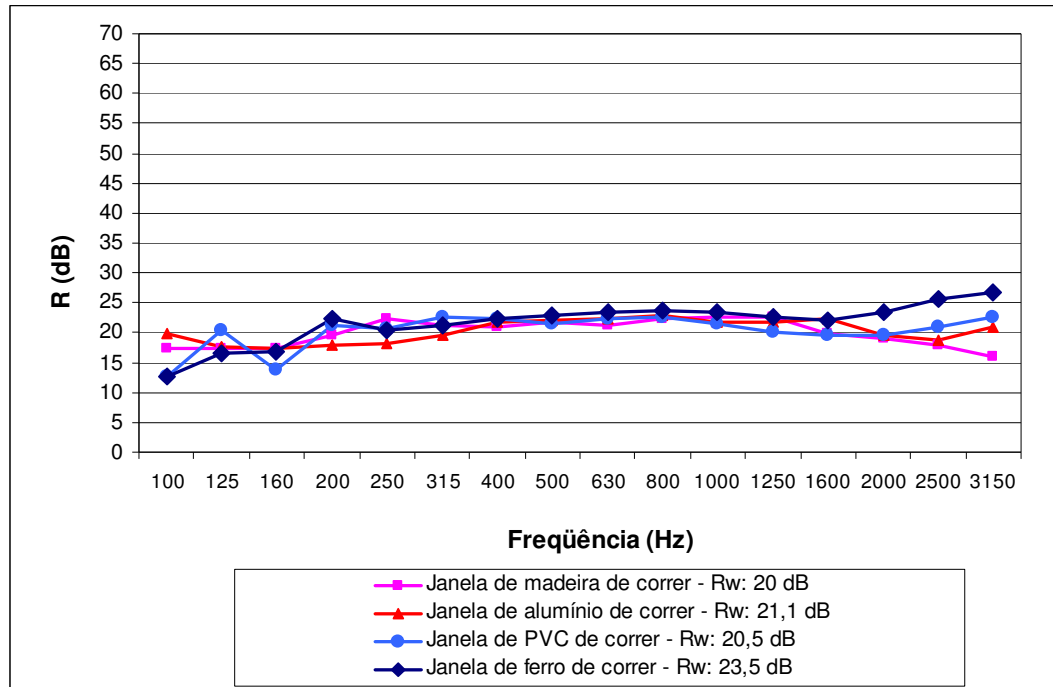


Figura 21 - Ensaio de diversas janelas de correr feitas com diferentes materiais (RECCHIA, 2001, p. 59, adaptado)

O isolamento dos fechamentos, conforme as perdas de transmissão do mesmo foi classificado por Gomez (1988) de acordo com a Tabela 03.

Tabela 03 – Qualificação do isolamento

Qualificação do Isolamento	Perda de Transmissão (dB)	Condições de Audição
Pobre	< 30	Conversação normal é audível
Regular	30 a 35	Audível mas sem entendimento
Bom	35 a 40	Difícilmente inteligível
Muito Bom	40 a 45	Palavra normal é inaudível
Excelente	> 45	Sons muito altos são fracamente ouvidos

Fonte: GOMEZ, 1988.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi fazer uma análise comparativa entre o isolamento acústico de janelas simples e o de janelas duplas, testando-se inicialmente duplicação de janelas com baixa estanqüidade ao ar e após, duplicação de janelas com boa estanqüidade.

Os ensaios realizados no Laboratório de Termo-acústica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) fundamentaram-se na Norma Internacional ISO 140 - III e Projeto de Norma Brasileira 02:135.01-001 (ABNT, 1997a). Os resultados dos ensaios foram quantificados em um valor único, conforme previsto pela Norma Internacional ISO 717 – I.

3.1 Componentes ensaiados

Os ensaios laboratoriais foram agrupados em duas séries: ensaios relacionados à duplicação de janelas de correr com tecnologia regional e baixa estanqüidade ao ar, e ensaios referentes à duplicação de janelas maxim-ar com boa estanqüidade.

3.1.1 Ensaios de duplicação de janelas com caixilhos de correr com baixa estanqueidade ao ar

Nesta série de ensaios foram testados os seguintes componentes:

- Parede de alvenaria com tijolos maciços, rebocada em ambos os lados, tendo espessura total de 22 cm;
- Uma janela de correr com caixilho de alumínio branco e vidro simples de 4 mm de espessura, com dimensão de 1,4 m x 1,6 m;
- Uma janela de correr com caixilho de alumínio branco e vidro de 4 mm de espessura, sobreposta à uma segunda janela de correr com caixilho de alumínio branco, com vidro de 4 mm de espessura, tendo ambas as janelas dimensão de 1,4 m x 1,6 m;
- Uma janela maxim-ar de PVC branco com vidro simples de 4 mm.

3.1.2 Ensaios de duplicação de janelas maxim-ar com boa estanqüidade

Nesta outra série de ensaios foram testados os demais componentes, todos com dimensão de 1,4 m x 1,6 m:

- Uma janela maxim-ar de PVC branco com vidro simples de 6 mm;
- Uma janela maxim-ar de PVC branco com vidro simples de 8 mm;
- Uma janela maxim-ar de PVC branco com vitragem dupla de 4 e 6 mm e espaço entre vidros de 12 mm;
- Uma janela maxim-ar de PVC branco com vitragem dupla de 4 e 6 mm e espaço entre vidros de 12 mm, sobreposta à uma segunda janela de mesma tecnologia, porém com vidro simples de 6 mm;
- Uma janela maxim-ar de PVC branco com vitragem dupla de 4 e 6 mm e espaço entre vidros de 12 mm, sobreposta à uma segunda janela de mesma tecnologia, porém com vidro simples de 8 mm;
- Uma janela maxim-ar de PVC branco com vidro simples de 6 mm sobreposta a uma segunda janela maxim-ar de PVC branco com vidro simples de 8 mm.

3.2 Equipamentos utilizados

O Laboratório de Termo-acústica da UFSM possui uma série de equipamentos normalizados destinados à realização de diferentes ensaios acústicos. Nos ensaios de isolamento sonoro, a fim de avaliar a eficiência da duplicação de janelas, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Fonte sonora BRUEL & KJAER Tipo 4224;
- Microfone BRUEL & KJAER Tipo 3923;
- Analisador acústico BRUEL & KJAER Tipo 4418;
- Calibrador BRUEL & KJAER Tipo 4230 (94 dB em 1.000 Hz, com desvio de ± 3 dB);
- Analisador climático.

3.3 Características do Laboratório de Termo-acústica da UFSM

O Laboratório de Termo-acústica da UFSM possui uma câmara reverberante para ensaio de isolamento acústico a ruído aéreo, construída com paredes de concreto armado de 30 cm de espessura, e passível de ser dividida em duas câmaras menores: câmara de emissão e câmara de recepção, com volumes respectivos de 60 m³ e 67 m³.

A câmara de ensaio está apoiada sobre isoladores de neoprene e a forma geométrica é tal, que não existe paralelismo em relação a nenhuma das faces das paredes.

Entre as câmaras de emissão e recepção existe um pórtico de concreto de 55 cm de largura com um vão livre de 4,10 m de largura, por 3,20 m de altura, formando um vão de 13,12 m² o qual é utilizado para colocar a amostra a ser ensaiada.

As portas da câmara para ensaio de isolamento são duplas e feitas em aço com 12,7 mm de espessura, tendo vão livre de 1,2 x 2,2 m e vedação acústica com borracha em todo o contorno para garantir uma perfeita estanqüidade. A Figura 22 ilustra de forma esquemática a câmara de ensaio.

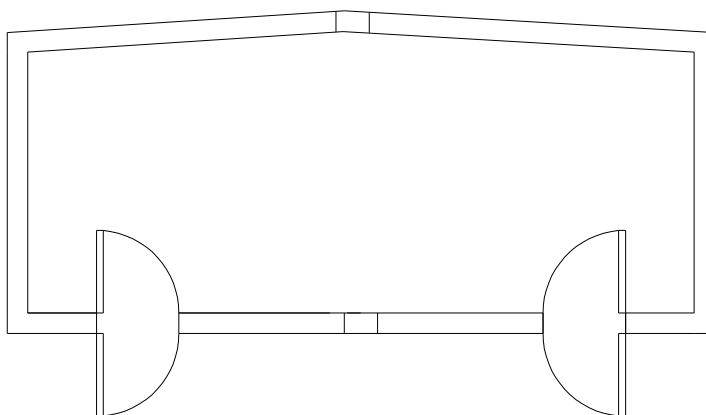


Figura 22 - Câmara para ensaio de isolamento acústico

Em trabalho de qualificação e repetibilidade das câmaras reverberantes do Laboratório de Termo-acústica da UFSM, Santos e Mutti (1991), consideraram aceitáveis 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 Descrição dos ensaios laboratoriais

O primeiro procedimento para averiguar a eficiência da duplicação de janelas, através de ensaios normalizados, foi construir uma parede de alvenaria que dividisse a câmara de ensaios em câmara de emissão e de recepção, conforme Figura 23 a seguir:

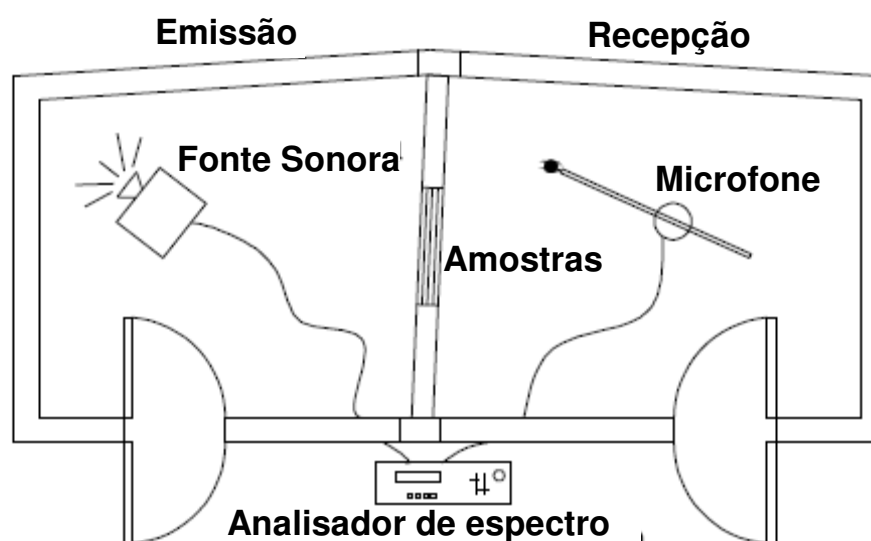


Figura 23 - Parede de alvenaria e câmaras de emissão e de recepção

A parede de alvenaria foi construída em tijolo maciço, rebocada em ambos os lados, com espessura total de 22 cm. Após o término da construção da parede de alvenaria foi realizado o ensaio da mesma, a fim de determinar-lhe o índice de isolamento acústico R_w .

A seguir fez-se uma abertura central de 1,50 x 1,70 m na parede, utilizando-se uma serra policorte. Tal abertura possibilitou a instalação e ensaio de todos os componentes necessários à pesquisa: duplicação de janelas com tecnologia regional e duplicação de janelas com boa estanquidade.

Findo o primeiro ensaio laboratorial com a parede de alvenaria, instalou-se na abertura central da mesma a primeira janela com tecnologia regional, fixando-a à parede mediante aplicação de espuma de poliuretano expansivo. Logo após, procedeu-se ao ensaio da referida janela.

Após este ensaio, foi instalada a segunda janela de alumínio paralelamente à primeira e distante 8,0 cm da mesma. Essa segunda janela foi confeccionada com a mesma tecnologia

da primeira. Concluída a instalação dessa segunda janela, procedeu-se a novo ensaio acústico, verificando o isolamento resultante da duplicação das janelas com tecnologia regional.

Após os ensaios mencionados anteriormente, ambas as janelas foram removidas da abertura central da parede para dar lugar à instalação e ensaio de uma janela maxim-ar de PVC branco, com vidro simples de 4 mm.

Concluído o ensaio da janela maxim-ar de PVC branco com vidro simples de 4 mm, fez-se a substituição do vidro de 4 mm da mesma, por outro vidro simples de 6 mm, aproveitando-se o mesmo caixilho já existente.

Finalmente, retirou-se o vidro de 6 mm substituindo-o por outro de 8 mm de espessura, no mesmo caixilho, procedendo-se a novo ensaio.

Concluídos os ensaios referidos anteriormente, instalou-se na abertura central da parede de alvenaria a janela maxim-ar de PVC, com vitragem dupla de 4 e 6 mm espaçados em 12 mm.

Tendo sido instalada a esquadria maxim-ar anteriormente citada, procedeu-se a um ensaio acústico para determinar o índice de isolamento sonoro da mesma.

A seguir instalou-se uma segunda janela maxim-ar de PVC, com vidro simples de 6 mm, paralelamente a primeira janela, com distância entre vitragens de 8,5 cm.

Em seguida, substituiu-se a janela com vidro simples de 6 mm por outra com vidro de 8 mm, realizando-se novo ensaio.

Finalmente, foi feito o ensaio de uma janela maxim-ar com vidro simples de 8 mm sobreposta a uma segunda janela maxim-ar com vidro simples de 6 mm.

3.5 Descrição dos procedimentos de ensaio

A seqüência de procedimentos, descrita a seguir, foi utilizada para a realização de todos os ensaios laboratoriais, com todos os componentes da amostra.

Inicialmente mediu-se o ruído de fundo na câmara de recepção, em todas as frequências. Verificou-se que em todas as medições o ruído de fundo estava 15 dB abaixo do valor do nível de pressão sonora medido na câmara de recepção, para todas as frequências consideradas.

A seguir, o analisador acústico enviou sinal para a fonte sonora, posicionada na câmara de emissão, para gerar ruído rosa por faixas de frequência de terços de oitava, desde 100 Hz até 3.150 Hz. O analisador acústico realizou então duas medições do nível de pressão

sonora: na câmara de emissão e na de recepção, registrando tais valores na memória do equipamento. Em todas estas medições a fonte sonora assumiu duas posições diferentes, tendo o microfone realizado três medições para cada frequência medida.

Posteriormente mediu-se o tempo de reverberação na câmara de recepção, em faixa de frequência de terço de oitava, tendo em vista quantificar a absorção sonora dessa câmara conforme previsto pela Norma Internacional ISO 354.

Finalmente, após a realização de todas estas medições, os dados registrados na memória do analisador acústico foram utilizados para calcular o Índice de Redução Acústica (R), de acordo com a expressão:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(6,15 \cdot \frac{S \cdot T}{V} \right) \quad (17)$$

Onde:

L_1 : NPS medido na câmara de emissão (dB)

L_2 : NPS medido na câmara de recepção (dB)

S : Área da amostra ensaiada (m²)

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

V : Volume da câmara de recepção (m³)

3.6 Determinação do índice de redução acústica R_w (ISO 717-I)

A Norma Internacional ISO 717 indica um método para quantificar, mediante um valor único, o isolamento a ruído aéreo dos elementos construtivos que compõem um fechamento, tais como paredes, pisos, portas e janelas. O método consiste em comparar os níveis de isolamento sonora oferecidos por um elemento, medidos em bandas de 1/3 de oitava, com uma curva de referência, conforme a Figura 24.

Os valores medidos obtidos de acordo com a norma ISO 140/III são comparados com os valores de referência tabelados, conforme a Tabela 04, na frequência de medição, no intervalo de 100 Hz a 3.150 Hz para bandas de 1/3 de oitava.

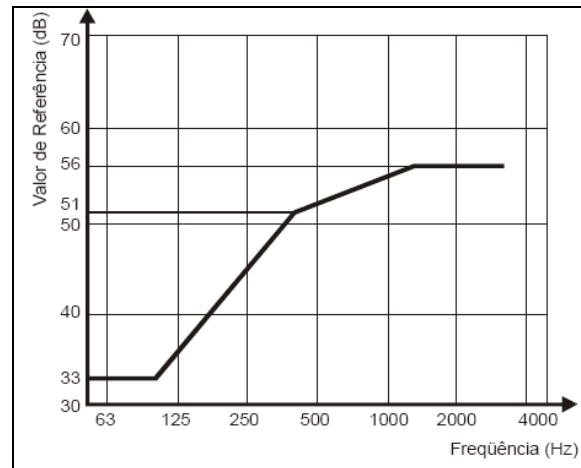


Figura 24 – Curva de referência da perda de transmissão (ISO 717, 1996, p. 03)

Tabela 04 – Valores de referência

Frequência Hz	Valores de referência (dB) Bandas de 1/3 de oitava	Valores de referência (dB) Bandas de 1/3 de oitava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1.000	55	55
1.250	56	
1.600	56	
2.000	56	56
2.500	56	
3.150	56	

Fonte: ISO 717, 1996, p. 04.

Para se realizar tal comparação, deve-se plotar a curva de referência, variando de 1 em 1 dB em direção à curva medida, até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não excedendo a 32 dB, para bandas de 1/3 de oitava. O desvio desfavorável, em uma dada frequência ocorre quando o resultado da medição é menor que o valor de referência. Somente tais desvios desfavoráveis devem ser levados em conta. O número único para o índice de redução sonora é o valor, em dB, da curva de referência a 500 Hz, após a plotagem acima ser realizada.

Para a determinação do R_w de cada ensaio realizado, foi desenvolvida uma planilha de cálculo utilizando o programa Excel, de acordo com os procedimentos descritos na norma.

3.7 Ensaios “*in loco*” de fechamento de sacada

A título comparativo com os ensaios laboratoriais foram feitas medições de fechamento de sacada em um apartamento situado no segundo piso de uma unidade residencial.

3.7.1 Componentes ensaiados

No fechamento de sacada do apartamento medido foi utilizado vidro comum com espessura de 6 mm, fixados em caixilhos de correr feitos de alumínio. A porta-sacada do apartamento também era de correr, com caixilho de alumínio, porém com vidro de 4 mm de espessura.

3.7.2 Descrição dos ensaios “*in loco*”

Inicialmente foi medido o ruído de fundo, em todos os locais de interesse, sem a fonte sonora geradora de ruído.

A seguir foi posicionada uma fonte sonora na garagem do edifício, a qual foi utilizada para gerar um ruído constante incidente sobre a fachada da sacada do apartamento, conforme Figura 25.

Durante todas as medições realizadas o nível de pressão sonora, gerado pela fonte, foi mantido constante.

Foram medidas duas situações:

- Sala de estar do apartamento com porta de correr fechada e sacada com janela aberta.
- Sala de estar do apartamento com porta de correr fechada e sacada com janela fechada.

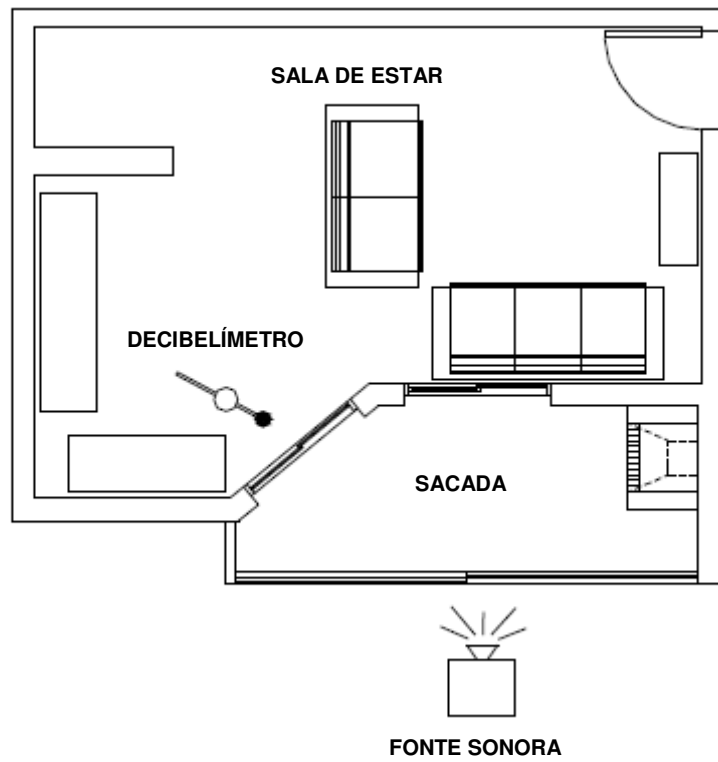


Figura 25 - Ensaio *“in loco”* de fechamento de sacada

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de isolamento acústico obtidos na duplicação de janelas.

Os resultados estão reunidos em dois grupos: duplicação de janelas de correr com tecnologia regional tendo baixa estanqueidade ao ar, e duplicação de janelas maxim-ar com boa estanqueidade ao ar. No item Resultado dos Ensaios Realizados constam todos os ensaios individualmente, assim como as características, valores R_w (dB) e espectro de frequência alusivos a cada amostra testada.

4.1 Duplicação de janelas de correr com tecnologia regional e baixa estanqueidade ao ar

Os resultados dos ensaios realizados com duplicação de janelas de correr, tendo baixa estanqueidade ao ar, encontram-se a seguir. A Tabela 05 apresenta para cada ensaio os números únicos R_w de avaliação do isolamento, em dB. A Figura 26 expressa graficamente os resultados de R (dB) para todas as frequências medidas, de 100 Hz a 3.150 Hz.

Tabela 05 – Valores de R_w para duplicação de janelas com tecnologia regional

Nº Ensaio	Descrição da amostra	R_w (dB)
01	Parede de alvenaria em tijolo maciço Espessura = 22 cm	50
02	Uma janela de correr com tecnologia regional Espessura do vidro = 4 mm	18
03	Duas janelas de correr com tecnologia regional Espessuras de ambos os vidros = 4 mm	26
04	Janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 4 mm	28

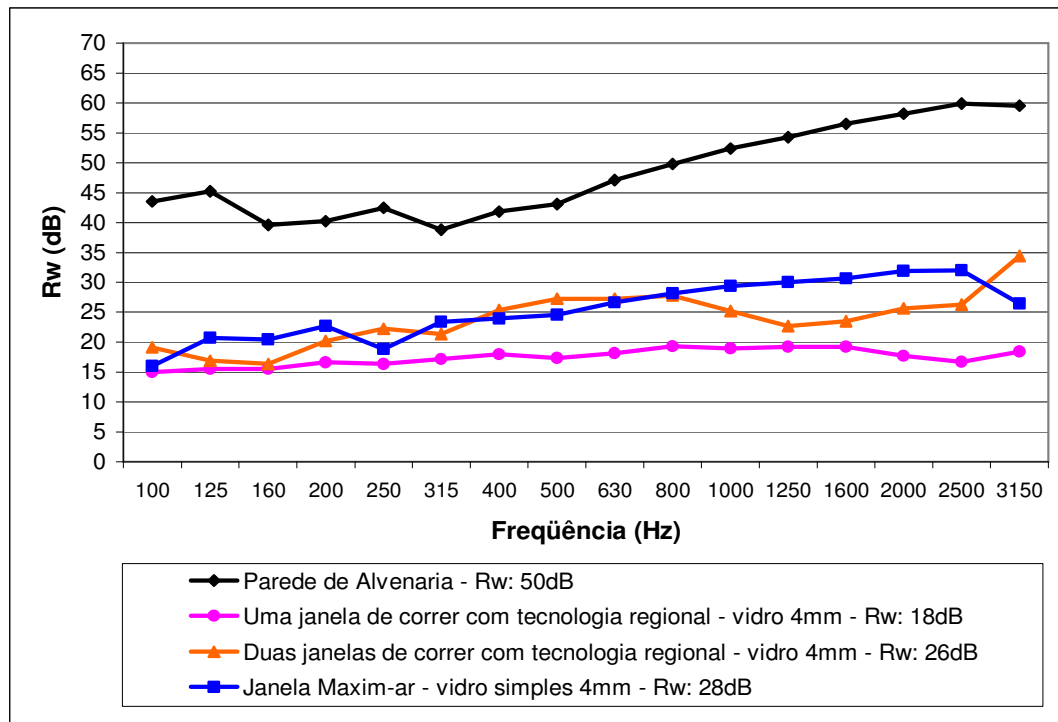


Figura 26 – Duplicação de janelas com tecnologia regional

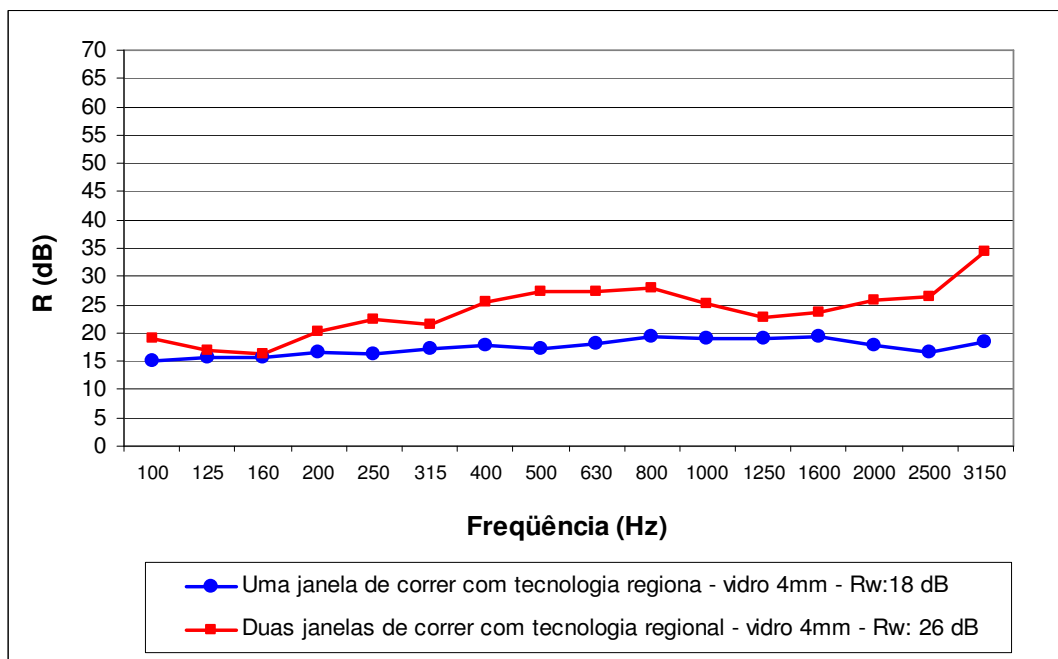


Figura 27 - Comparativo entre uma janela de correr com tecnologia regional e duas janelas de correr com tecnologia regional

Os valores obtidos para a duplicação de janelas com tecnologia regional e baixa estanqueidade ao ar (Figura 27) demonstram ter havido um acréscimo global de 8 dB em relação ao isolamento oferecido por uma única janela de mesma tipologia. O ganho de

isolamento ocorreu, sobretudo, nas médias e altas frequências. Na frequência de 160 Hz o isolamento das janelas duplicadas sofre um decréscimo considerável, devido à frequência crítica f_0 , assumindo um valor praticamente igual ao isolamento de uma única janela de correr. Observa-se que a frequência crítica f_0 das janelas duplicadas teve um pequeno deslocamento, quando se considera a frequência crítica f_c de vidros duplos de 4 mm com o mesmo espaçamento de 8 cm, devido a existência de frestas nos caixilhos.

Além disso, são observadas quedas importantes de isolamento ao longo do gráfico que representa o isolamento acústico das janelas duplicadas, caracterizando propagação de som pelas frestas das janelas.

A Figura 28 a seguir contrasta o isolamento das duas janelas de correr frente a uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 4 mm:

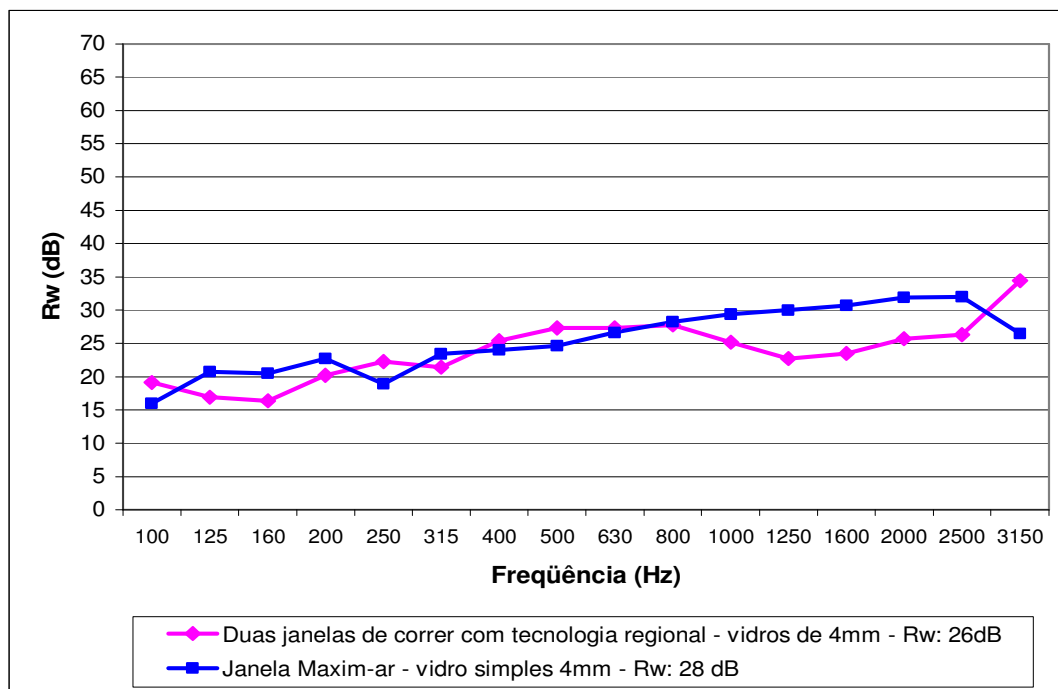


Figura 28 - Comparativo entre duas janelas de correr com tecnologia regional e janela maxim-ar com vidro simples de 4 mm

Os resultados do ensaio realizado com a janela maxim-ar de vidro simples 4 mm evidenciam que o material tem estanqueidade e segue a lei da massa, com um comportamento ascendente de isolamento até 2.500 Hz. A partir deste ponto, uma queda pronunciada em 3.150 Hz, originada pela frequência crítica do vidro f_c .

Por outro lado, o gráfico que representa o isolamento de duas janelas com caixilho de correr e tecnologia regional possui vários segmentos com inclinação descendente devido à falta de estanqueidade.

A Tabela 05 mostra que a duplicação de duas janelas de correr com tecnologia regional e vitragem de 4 mm cada, possui 2 dB a menos que o isolamento de uma única janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 4 mm e boa estanqueidade. Tal fato ocorre devido às frestas e ao vazamento de ruído nas frequências agudas (1.000 KHz – 2.500 KHz)

4.2 Duplicação de janelas maxim-ar com boa estanqueidade ao ar

Os resultados dos ensaios realizados com duplicação de janelas maxim-ar de PVC, tendo boa estanqueidade ao ar, encontram-se a seguir. A Tabela 06 apresenta para cada ensaio os números únicos de avaliação do isolamento, em dB. A Figura 29 expressa graficamente os resultados R (dB) para todas as frequências medidas, de 100 Hz a 3.150 Hz.

Tabela 06 – Valores de R_w para duplicação de janelas com boa estanqueidade

Nº Ensaio	Descrição da amostra	R_w (dB)
05	Uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm	29
06	Uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 8 mm	29
07	Uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqueidade e vidros duplos de 4 e 6 mm, espaçados em 12 mm	33
08	Uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqueidade e vidros duplos de 4 e 6 mm, espaçados em 12 mm + uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqueidade e vidro simples de 6 mm	37
09	Uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqueidade e vidros duplos de 4 e 6 mm, espaçados em 12 mm + uma janela maxim-ar de PVC com boa estanqueidade e vidro simples de 8 mm	37
10	Uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 8 mm + Janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm	34

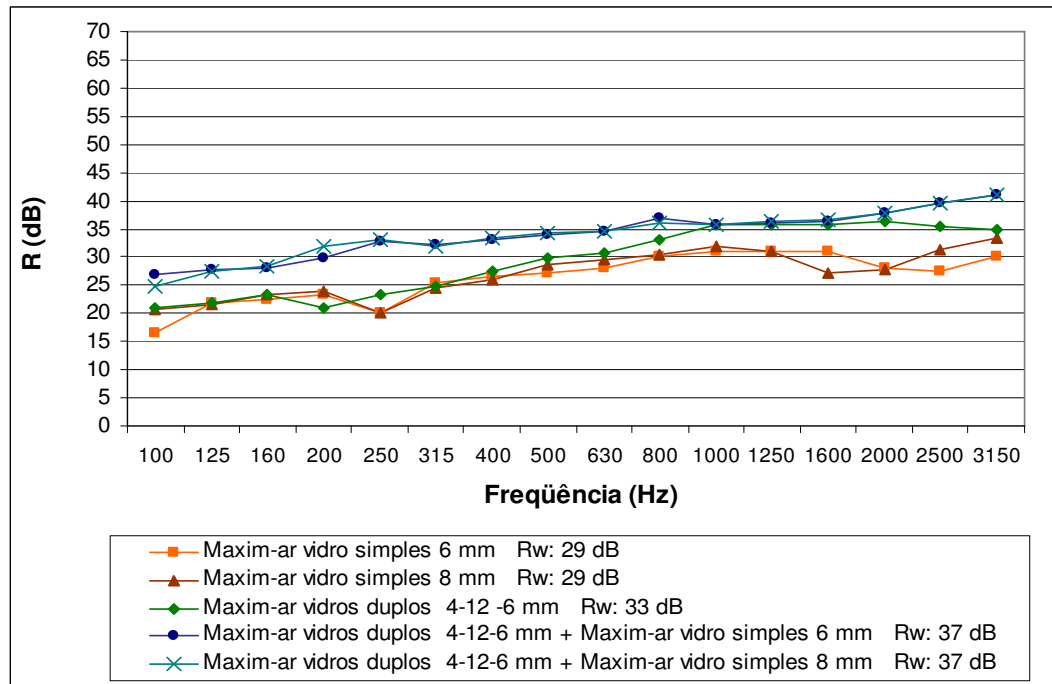


Figura 29 – Duplicação de janelas com boa estanqueidade

A Figura 30 estabelece a comparação entre o isolamento de uma janela maxim-ar de PVC com vitragem dupla 4-12-6 mm e boa estanqueidade, e o isolamento de uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm, e outra maxim-ar com vidro simples de 8 mm.

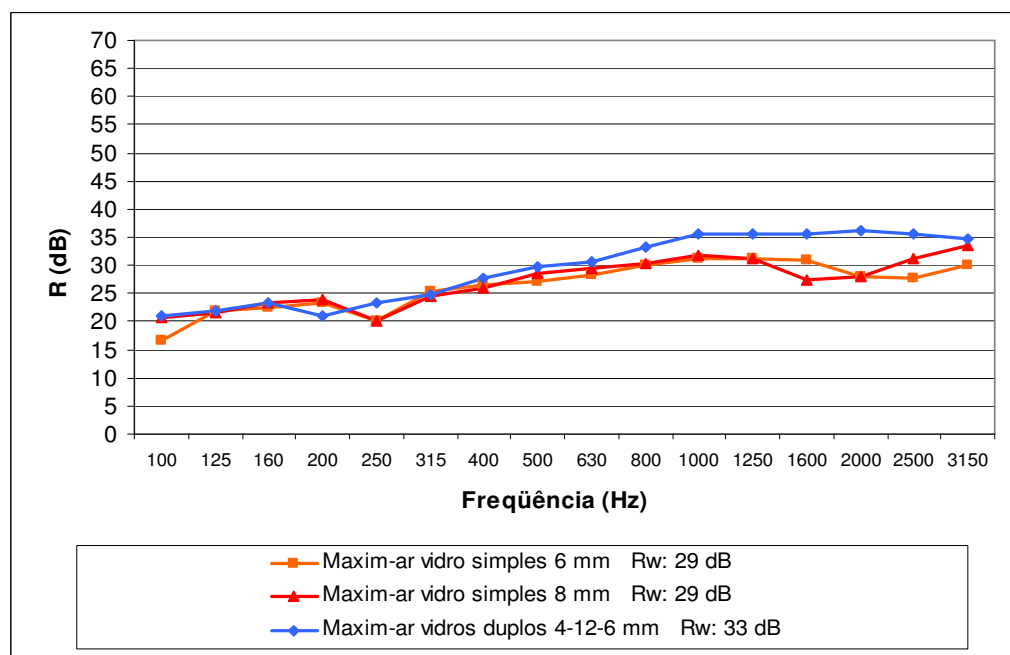


Figura 30 - Comparativo entre uma janela maxim-ar de PVC com vidros duplos 4-12-6 mm e janelas maxim-ar de PVC com vidros simples de 6 mm e 8 mm

A partir do gráfico precedente e comparando-se os resultados obtidos por Scherer (2005), verifica-se que o R_w das janelas maxim-ar com vidros simples de 6 mm e 8 mm, atinge o desempenho dos R_w de suas respectivas vitragens, o que demonstra estanquidade dos caixilhos.

Observa-se que a frequência f_0 da janela maxim-ar e as frequências f_c dos vidros fixos de 6 e de 8 mm acontecem em regiões distintas do espectro considerado.

A janela de PVC, por se tratar de um fechamento duplo, demonstra uma frequência de ressonância do sistema massa-mola-massa em 200 Hz. Por outro lado, as quedas de isolamento devido à frequência crítica nos vidros de 6 e de 8 mm ocorrem em frequências mais altas que a janela de PVC. Tal fato demonstra a importância de se conhecer os valores f_0 e f_c , para especificação de vidros que sejam tecnicamente compatíveis com o tipo de ruído a ser isolado.

A Figura 31 compara o desempenho acústico de uma janela maxim-ar com vidros duplos 4-12-6 mm, com a mesma janela sobreposta a uma maxim-ar vidro simples 6 mm:

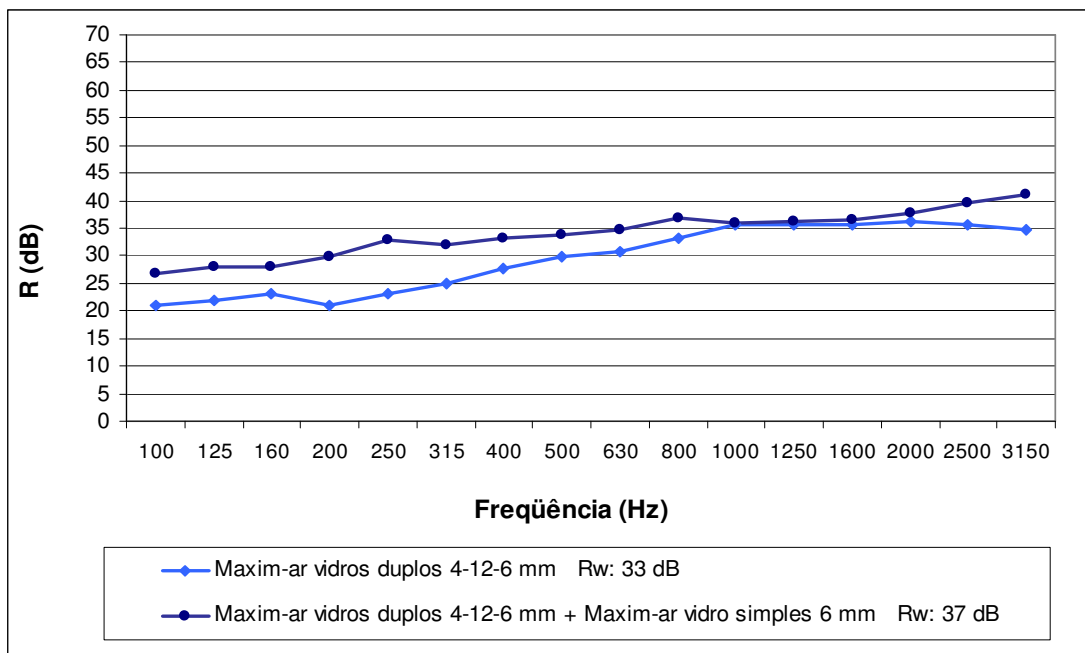


Figura 31 - Janela maxim-ar de PVC com vidros duplos 4-12-6 mm comparada à mesma janela sobreposta a uma maxim-ar de PVC com vidro simples 6 mm

A partir da análise da Figura 31 verifica-se que a duplicação das janelas com boa estanquidade teve um ganho de isolamento nas baixas e médias frequências. Considerando que o ruído veicular tem mais energia sonora nas baixas frequências, constata-se nesse sentido, ser vantajoso realizar a duplicação de janelas com boa estanquidade.

Observa-se também que no gráfico representativo da duplicação de janelas com boa estanqüidade não há uma freqüência de ressonância, ao contrário do gráfico que expressa o isolamento de uma única janela.

A Tabela 06 demonstra que quando se duplica uma janela maxim-ar de PVC com vitragem dupla de 4 e 6 mm, em relação a uma segunda janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm, R_w atinge 37 dB.

A Figura 32 compara o desempenho acústico de uma janela maxim-ar com vidros duplos 4-12-6 mm, com a mesma janela sobreposta a uma maxim-ar vidro simples 8 mm.

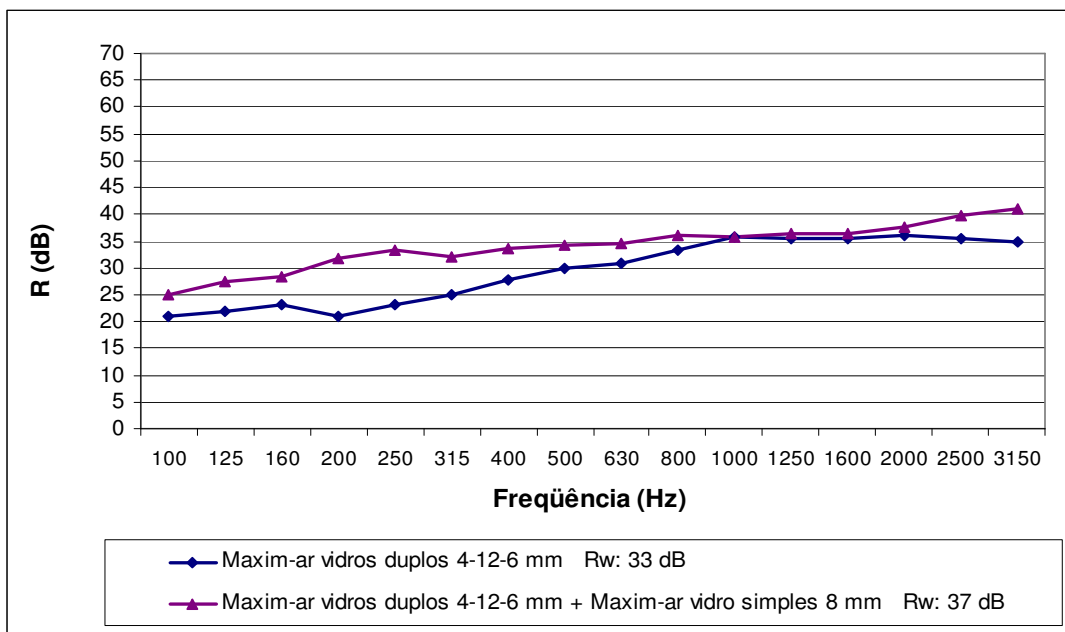


Figura 32 - Janela maxim-ar de PVC com vidros duplos 4-12-6 mm comparada à mesma janela sobreposta a uma maxim-ar de PVC com vidro simples 8 mm

A duplicação de uma janela maxim-ar de vitragem 4 e 6 mm com outra de 8 mm mostra um comportamento similar à duplicação de uma janela maxim-ar de vitragem 4 e 6 mm com outra de 6 mm. O incremento no isolamento se deu sobretudo nas baixas e médias freqüências.

A Figura 33 compara uma janela maxim-ar vidros duplos 4-12-6 mm sobreposta à outra maxim-ar vidro simples 6 mm frente à duplicação de uma janela maxim-ar com vidros duplos 4-12-6 mm sobreposta à outra maxim-ar vidro simples 8 mm.

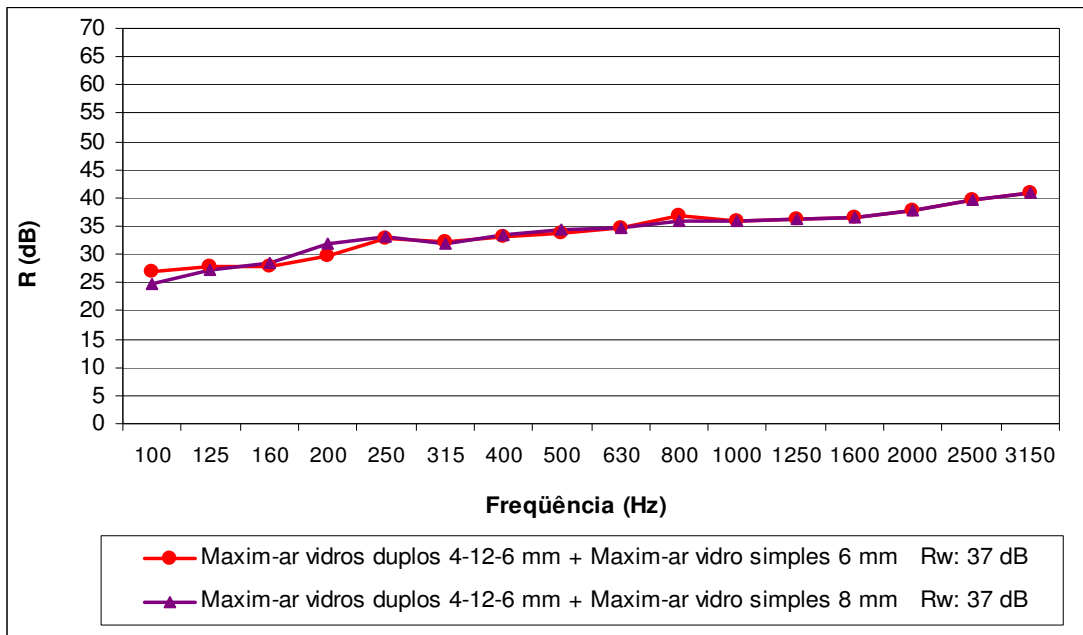


Figura 33 - Janela maxim-ar de PVC com vidros duplos 4-12-6 mm sobreposta à outra maxim-ar de PVC com vidro simples 6 mm comparada à duplicação de uma janela maxim-ar com vidros duplos 4-12-6 mm sobreposta à outra maxim-ar vidro simples 8 mm

Verifica-se que o comportamento de ambas as duplicações de janelas é praticamente idêntico ao longo de todo o espectro de frequências.

Além disso, a Tabela 06 mostra o mesmo ganho em ambas as situações medidas, evidenciando que o aumento da massa da vitragem da janela de 6 mm para 8 mm não ocasiona um aumento da eficiência no isolamento.

A Figura 34 a seguir compara a duplicação de uma janela maxim-ar com vidro simples de 6 mm sobreposta a outra maxim-ar com vidro simples de 8 mm e janelas maxim-ar com vidros simples de 8 mm e 6 mm.

Observando-se a Figura 34 verifica-se que a duplicação de uma janela maxim-ar vidro simples de 8 mm com outra maxim-ar vidro simples 6 mm traz um ganho de isolamento ao longo de todo o espectro de frequência, quando comparado ao desempenho acústico de uma única janela maxim-ar vidro simples de 6 mm ou de 8 mm.

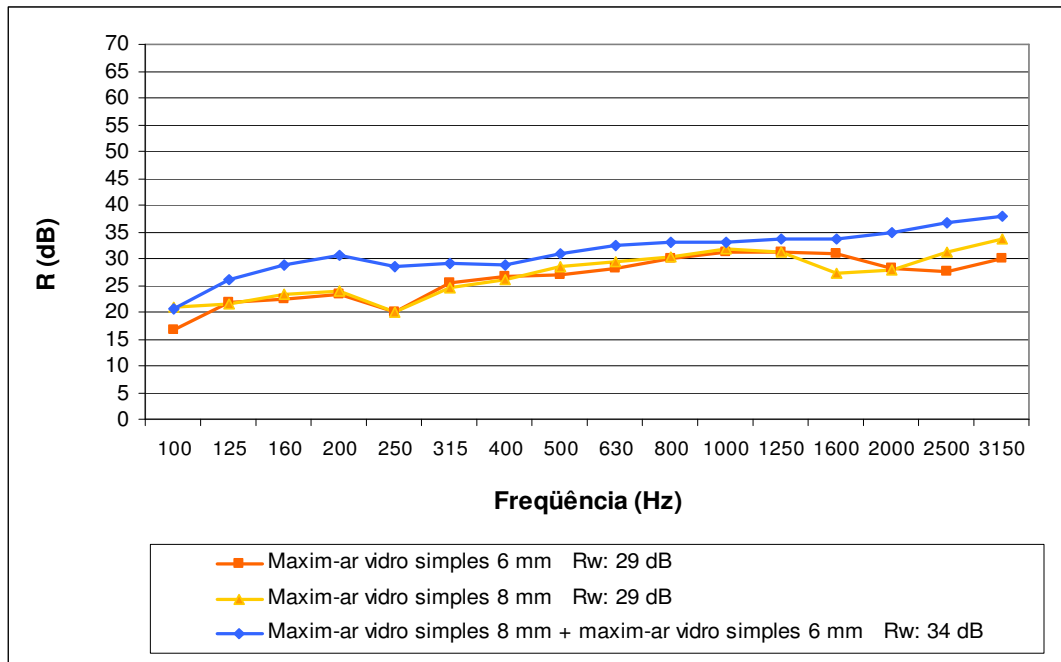


Figura 34 – Comparativo entre a duplicação de uma janela maxim-ar com vidro simples de 6 mm sobreposta a outra maxim-ar com vidro simples de 8 mm e janelas maxim-ar com vidros simples de 8 mm e 6 mm

4.3. Fechamento de sacada

Os valores da medição de fechamento de sacada estão representados na Tabela 07, a seguir.

Tabela 07 – Valores de R (dB) para fechamento de sacada

Local Medido	Porta-Janela da Sala	Fechamento de Sacada	Isolamento em dB
Sala de estar	Fechado	Fechado	26
Sala de estar	Fechada	Aberto	19

A Figura 35 mostra um croqui simplificado da realização dos ensaios em fechamento de sacada.

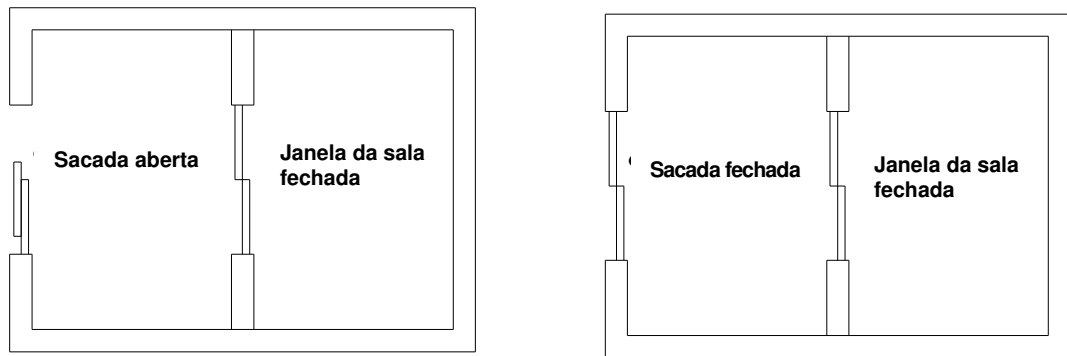


Figura 35 – Ensaio *in loco* de fechamento de sacada

Ao se observar a Tabela 07 constata-se um ganho de isolamento de 7 dB no fechamento de sacada.

Comparando-se o ganho de isolamento no fechamento de sacada com o ganho de isolamento resultante da duplicação de esquadrias com tecnologia regional, ensaiada em laboratório, verifica-se diferirem em apenas 1 dB.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados em janelas duplas com tecnologia regional, constatou-se que:

- A duplicação de uma janela de correr simples, com tecnologia regional e $R_w = 18$ dB, eleva o índice de isolamento sonoro R_w para 26 dB, havendo um acréscimo de 8 dB.
- A duplicação de janelas de correr com baixa estanqüidade, e vidros de 4 mm cada, não alcança o desempenho de uma janela maxim-ar com vidro simples de 4 mm, sendo tais índices sonoros iguais a 26 dB e 28 dB, respectivamente.
- O ganho de isolamento em janelas duplas de correr ocorre, sobretudo, nas médias e altas frequências. Observa-se que na frequência de 160 Hz ocorre uma ressonância nas janelas sobrepostas, cuja posição no espectro sonoro está ligeiramente deslocada em relação à frequência f_0 de dois vidros estanques de 4 mm, com o mesmo espaçamento.

A partir dos ensaios realizados em janelas duplas com boa estanqüidade, constatou-se o seguinte:

- A duplicação de uma janela com maior estanqüidade acresce o índice sonoro R_w . Tal acréscimo dependerá do R_w da primeira janela, podendo haver uma melhora desde 4 até 8 dB. Salienta-se que neste estudo foram atingidos índices finais máximos para R_w iguais a 37 dB.
- O ganho de isolamento em janelas com maior estanqüidade ao som ocorre preponderantemente nas baixas e médias frequências. Considerando que o ruído de trânsito tem uma predominância maior de energia nas baixas e médias frequências,

pode-se dizer que a duplicação de janelas com boa estanqüidade é eficaz para poluição sonora de origem veicular.

Quanto ao fechamento de sacada, concluiu-se:

- O ganho de isolamento resultante da duplicação de janelas foi da ordem de 7 dB, magnitude essa em consonância com as medições laboratoriais de duplicação de janelas com tecnologia regional.

Espera-se que com esse trabalho haja uma tomada de consciência por parte das empresas fabricantes de esquadrias, no sentido de desenvolver produtos mais eficientes, que garantam maior conforto acústico nas habitações e tenham custo acessível à maior parte da população.

5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Algumas das sugestões para trabalhos futuros incluem o desenvolvimento de novas tecnologias em caixilhos, as quais possam oferecer maior estanqüidade ao som, novos estudos que melhorem o sistema de vedação sonora em janelas de correr e ensaios de janelas duplas com material de absorção sonora no caixilho entre ambas as janelas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**. Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992. 9 p.

_____. **NBR 10821**. Caixilhos para edificação – janelas. Rio de Janeiro, 2000. 37 p.

_____. **Projeto de norma 02:135.01-001**. Acústica – Medição de isolamento sonoro em construções e elementos construtivos – medição em laboratório de isolamento sonoro aéreo de elementos de construção. Rio de Janeiro, 1997. 12 p.

_____. **Projeto de norma 02:135.01.002**. Acústica – Medição da absorção sonora em sala reverberante – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1997. 15 p.

BÁRING, J. G. de A. A conceituação necessária para se chegar ao desenvolvimento tecnológico em acústica das edificações – 1ª Parte. **Revista A Construção**. n. 2087 (separata), 1998.

BÁRING, J. G. de A. A conceituação necessária para se chegar ao desenvolvimento tecnológico em acústica das edificações – 2º Parte. **Revista A Construção**. n. 2089 (separata), 1988.

BERANEK, L. L. **Noise Reduction**. New York : McGraw-Hill, 1960. p. 280 -382.

BRAGANÇA, L.; CORREIA, F. Isolamento sonoro e ruídos aéreos de uma habitação. In: ACUSTICA 98 SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 1., 1998, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998. p. 181-184.

BERISTAIN, S. El ruído es un serio contaminante. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE CÚSTICA, 1., 1998, Florianópolis ; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMATIZAÇÃO EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES DO MERCOSUL, 1., 1998, Florianópolis ; ENCONTRO DA SOBRAC, 18., 1998, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 135-142.

BRONDANI, S. A.; SANTOS, J. L. P. dos. Pisos flutuantes: análise de performance acústica para ruídos de impacto. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1., 1998, Florianópolis ; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMATIZAÇÃO EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES DO MERCOSUL, 1., 1998, Florianópolis ; ENCONTRO DA SOBRAC, 18., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 403- 406.

BRÜEL ; KJAER. **Máster catalogue – Eletronic instruments**. Denmark: K. Laresen & Son, 1989. 904 p.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT - CSTB. **Acoustique, sciences du batiment**. Reef . Paris: CSTB, 1982. 296 p. v.2

CORTÉS, A et al. Cámaras acústica móveis. No solo un proyecto sino una realidad. In: ACÚSTICA 98 I SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 1., 1998, Lisboa. **Anais ...** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998. p. 581-584.

FERNANDEZ, J. A. et al. Ais lamento acústico a ruído aéreo de uma ventana com vidro laminar. In: ACUSTICA 98 I SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 1., 1998, Lisboa. **Anais ...** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998. p. 193 – 195.

FREITAS, A. P. M. de. **Estudo do impacto ambiental causado pelo aumento da poluição sonora em áreas próximas aos centros de lazer noturno na cidade de Santa Maria – RS.** 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

GERGES, SAMIR N. Y. **Ruído: fundamentos e controle.** Florianópolis: UFSC, 1992. 600 p.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** São Paulo: Nobel, 1990. 468 p.

GOMEZ, G. O. **Acústica aplicada a la construcción. El ruido.** Santiago de Cuba: Ediciones ISPJAM, 1988. 53 p.

GOMEZ, J. A. F. F.; RIBEIRO, M. R. S. Caracterização acústica de divisórias interiores executadas com blocos de betão celular autoclavo. In: ACUSTICA 98 SIMPÓSIO IBERO – AMERICANO DE ACÚSTICA, 1., 1998, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998. p. 189-192

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140.** Acoustique – Mesurage de l' isolation acoustique des immeubles et des elements de construction 1978.

_____. **ISO 717-1.** Rating of sound insulation in buildings and of building elements. 2nd ed. 1996.

_____. **ISO 354.** Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room. 1985.

JOBIM, M. S. S. **Método de avaliação do nível de satisfação dos clientes de imóveis residenciais.** 1997. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

LORENZANA, M. T.; COSTÉS, A. Respuesta acústica de las viviendas gallegas y vascas. In: ACUSTICA 98 SIMPOSIO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 1., 1998. Lisboa. **Anais...** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998. p. 185-188.

MÉNDEZ, A. M. et al. **Acustica arquitectonica.** Buenos Aires: UMSA, 1994. 238 p.

NUNES, M. F. de O. **Estudo de ruído de tráfego veicular urbano em intersecção semaforizadas no centro de Santa Maria/RS.** 1998. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

PAIXÃO, D. X. da. **Análise das condições acústicas em sala de aula.** 1997. 192 f.

Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

PAIXÃO, D.; SANTOS, J. P. A janela da edificação – Avaliação sob ponto de vista da acústica. In: I CONGRESSO BRASIL/ARGENTINA, 1., 1994 Florianópolis ; ENCONTRO DA SOBRAC, 15., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1994 p. 399-402.

PUJOLLE, J. **La pratique de l'isolation acoustique des bâtiments.** Editions du Moniteur. Paris, 1978. 574 p.

RECCHIA, C.A. **Estudo de desempenho acústico dos elementos construtivos que compõem a fachada.** 2001. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

SANCHIDRIAN, C. D. Condiciones cústicas en la edificación. Diseño y realidad. In: I CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, I SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO COM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES DO MERCOSUR, 1., 1998, Florianópolis ; ENCONTRO DA SOBRAC, 18., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 83-92.

SANTOS, J. L. P. dos; MUTTI, C. do N. Qualificação do laboratório de isolamento acústica da UFSM de acordo com a norma ISO 140. **Revista de Acústica e Vibrações – SOBRAC**, v.09, p. 01-04, 1991.

SANTOS, J. C. P. dos et al. Estudo de cortinas leves para isolamento acústica de ambientes. In: ACUSTICA 98 SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 1., 1998, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998. p. 395 -398.

SANTOS, J. L. P. dos; PAIXAO, D. X. da. Estudo do desempenho acústico de lajes e pisos submetidos a ruídos de impacto. In: ENCONTRO NACIONAL, 3., 1995, Gramado ; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE ONSTRUÍDO, 1., 1995, Gramado. **Anais...** Gramado, 1995. p. 695- 700.

SANTOS, J. L. P. dos. **Acústica aplicada à construção civil.** Santa Maria: UFSM, 1996. (Notas de aula)

SANTOS, M. D. F. dos. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso.** 1998. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

SANTOS, J. U. dos. **Ruído Riscos e Prevenção.** São Paulo: Hucitec. 1994.

SANTOS, U.P et al. **Ruído riscos e prevenção.** 3. ed., São Paulo: Hucitec, 1999.

SCHERER, M. J. **Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla.** 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SILVA, D. T. da. **Estudo da isolação sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas.** 2000. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar.** 3. ed. Belo Horizonte : Termo Acústica, 1997. 277 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses.** 6 ed. Revista e ampliada. Santa Maria: UFSM, 2006. 67 p.

VON GIERKE, H. E., ELDRED, K. M. Efeitos do ruído no homem. **Revista de Acústica e Vibrações – SOBRAC**, v. 19, p. 02-29, 1997.

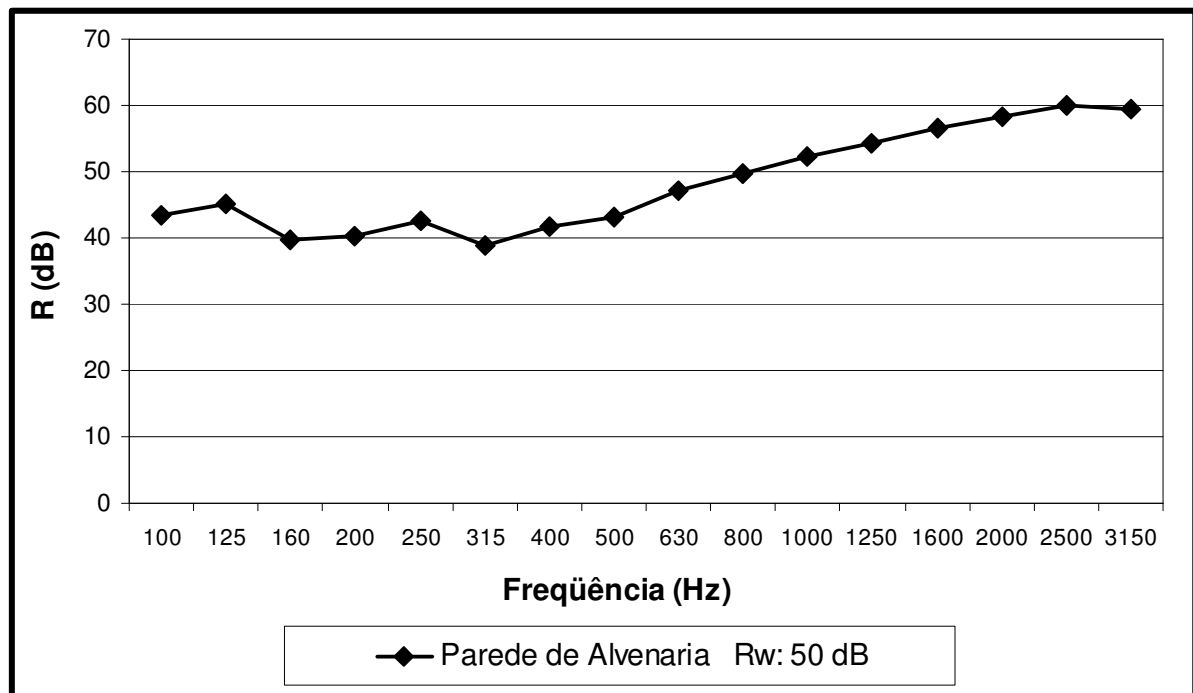
WERNER, A. F., MÉNDEZ, A. M., SALAZAR, E. B. **El ruido y la audición.** Buenos Aires: AD-HOC S. R. L., 1990. 336 p.

APÊNDICE A – Resultados dos Ensaio Realizados

Ensaio n° 01:

Material ensaiado: Parede de alvenaria.

Característica da amostra: parede de alvenaria em tijolo maciço com reboco em ambos os lados, totalizando uma espessura de 22 cm.



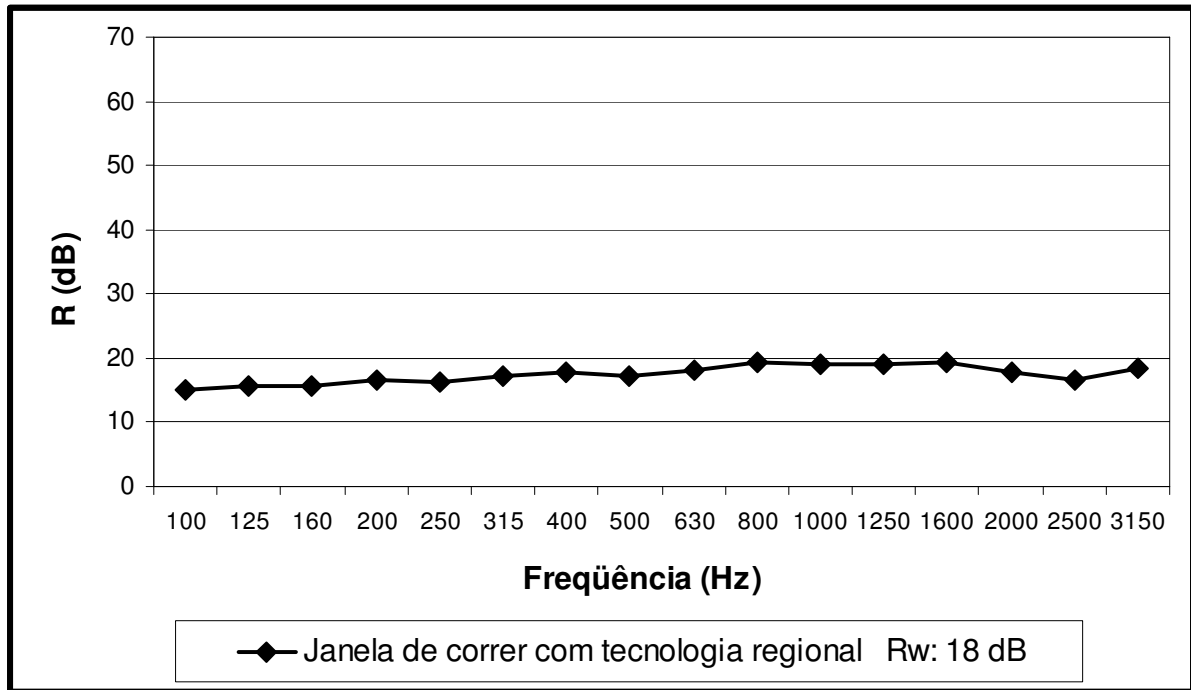
Freqüência	R da Parede
100	43,5
125	45,2
160	39,6
200	40,2
250	42,5
315	38,8
400	41,8
500	43,1
630	47,1
800	49,8
1000	52,4
1250	54,3
1600	56,5
2000	58,2
2500	59,9
3150	59,5

$R_w = 50 \text{ dB}$

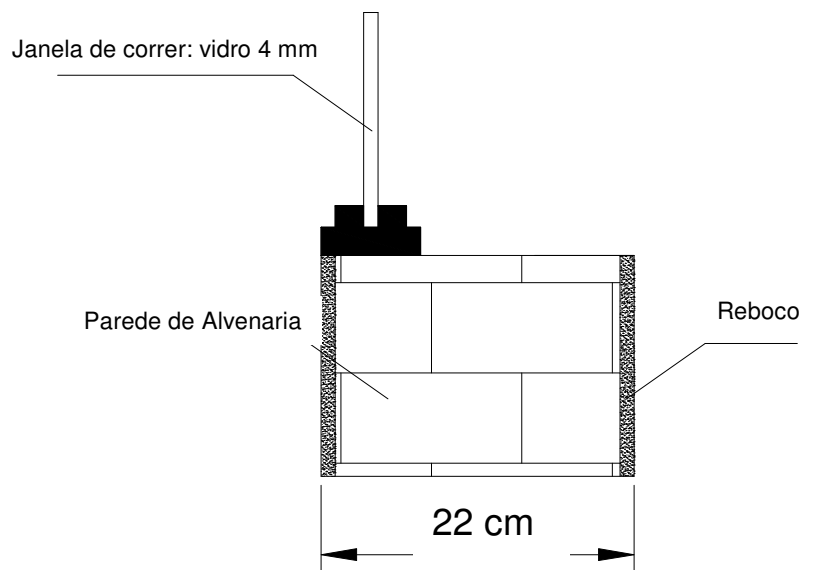
Ensaio n° 02:

Material ensaiado: uma janela de correr com tecnologia regional.

Característica da amostra: janela de correr com caixilho de alumínio branco, com duas folhas móveis, na dimensão de 1,40 m (base) x 1,60 m (altura) tendo vidro de 4 mm.



Freqüência	R da Janela
100	15,0
125	15,6
160	15,6
200	16,6
250	16,3
315	17,1
400	17,9
500	17,3
630	18,1
800	19,3
1000	19,0
1250	19,2
1600	19,2
2000	17,7
2500	16,7
3150	18,4

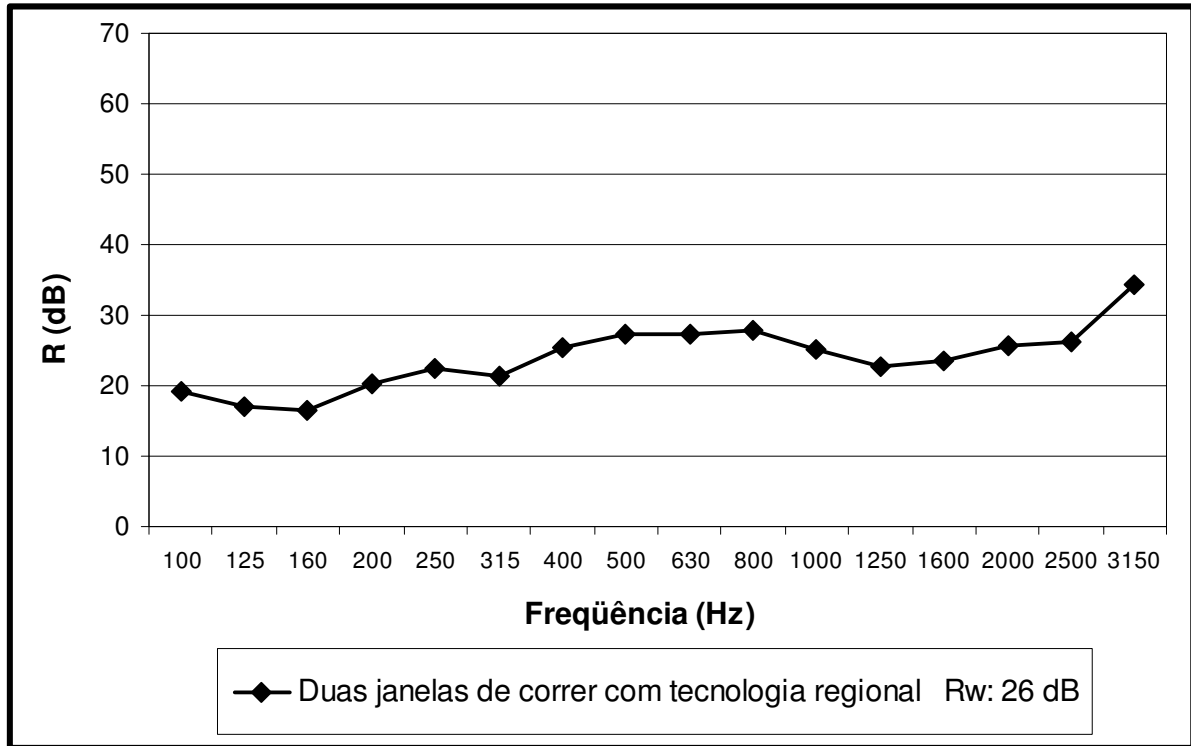


$R_w = 18 \text{ dB}$

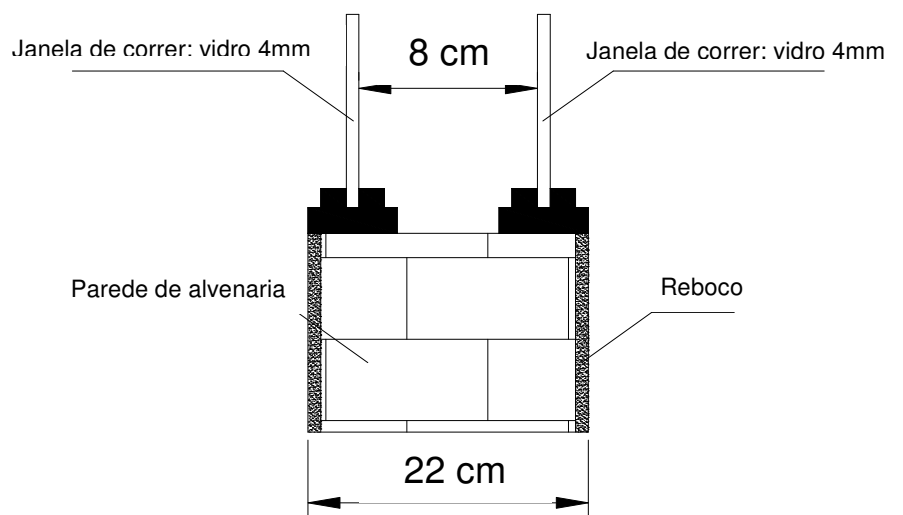
Ensaio n° 03:

Material ensaiado: duas janelas de correr com tecnologia regional.

Característica da amostra: uma janela de correr com caixilho de alumínio branco, com duas folhas móveis, na dimensão de 1,40 m (base) x 1,60 m (altura) tendo vidro de 4 mm, sobreposta à uma segunda janela de correr com caixilho de alumínio branco, com duas folhas móveis, na dimensão de 1,40 m (base) x 1,60 m (altura) e vidro de 4 mm.



Freqüência	R das janelas
100	19,1
125	16,9
160	16,4
200	20,2
250	22,3
315	21,4
400	25,4
500	27,3
630	27,3
800	27,8
1000	25,2
1250	22,7
1600	23,5
2000	25,7
2500	26,3
3150	34,4

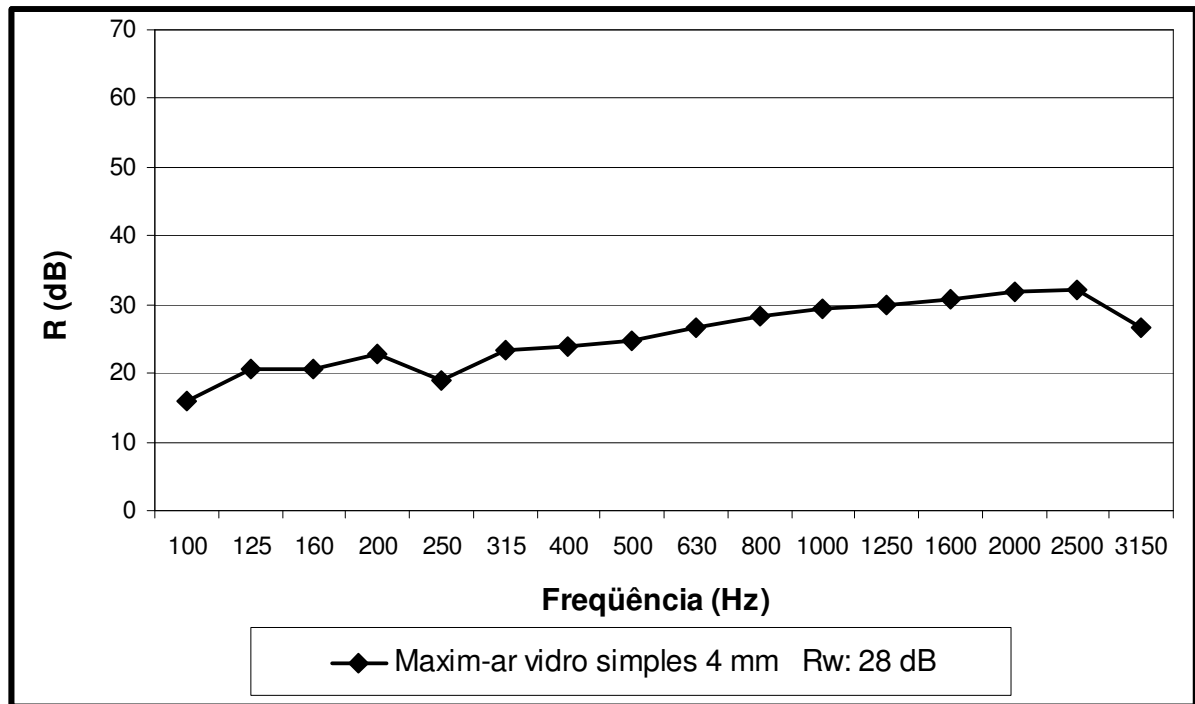


$$R_w = 26 \text{ dB}$$

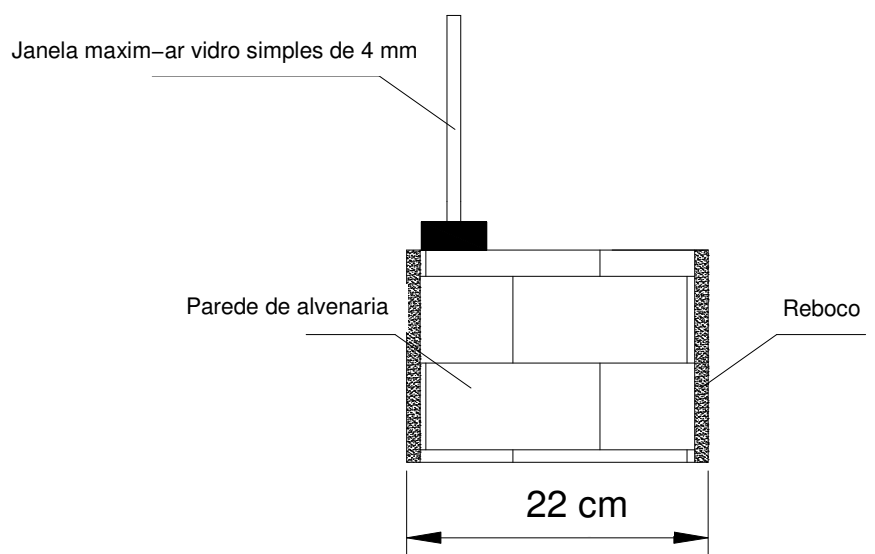
Ensaio n° 04:

Material ensaiado: janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 4 mm.

Característica da amostra: uma janela maxim-ar de PVC, com vidro simples de 4 mm, tendo boa estanqueidade ao ar, na dimensão de 1,40 x 1,60 m.



Freqüência	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

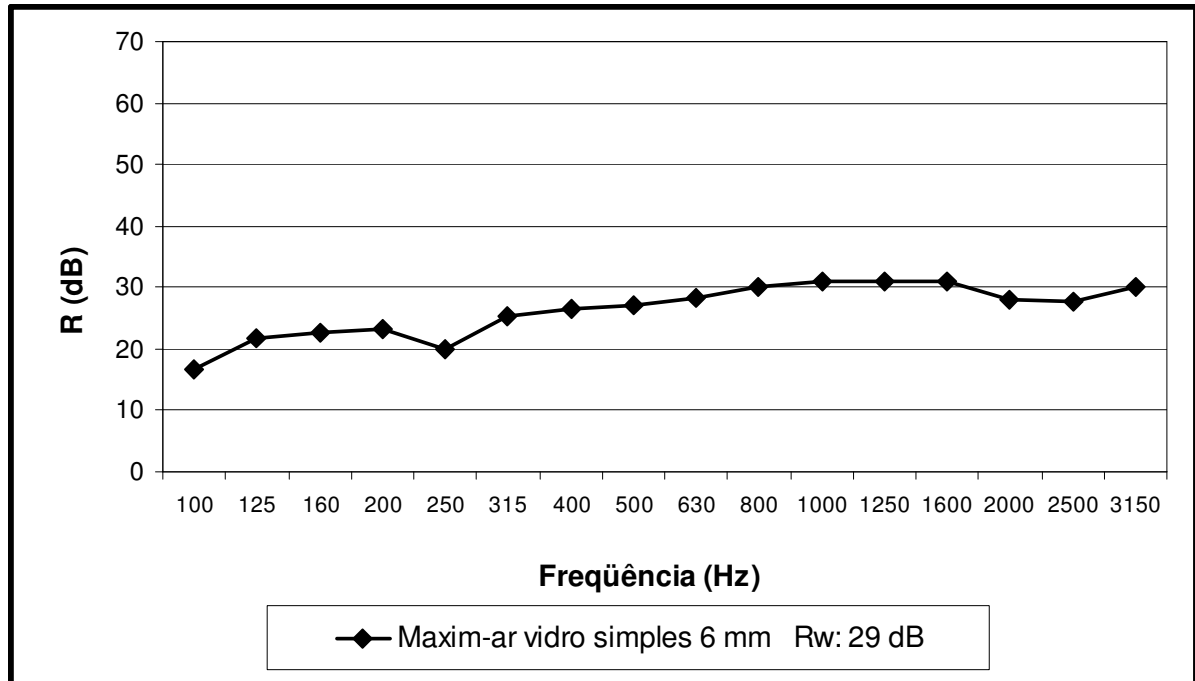


$$R_w = 28 \text{ dB}$$

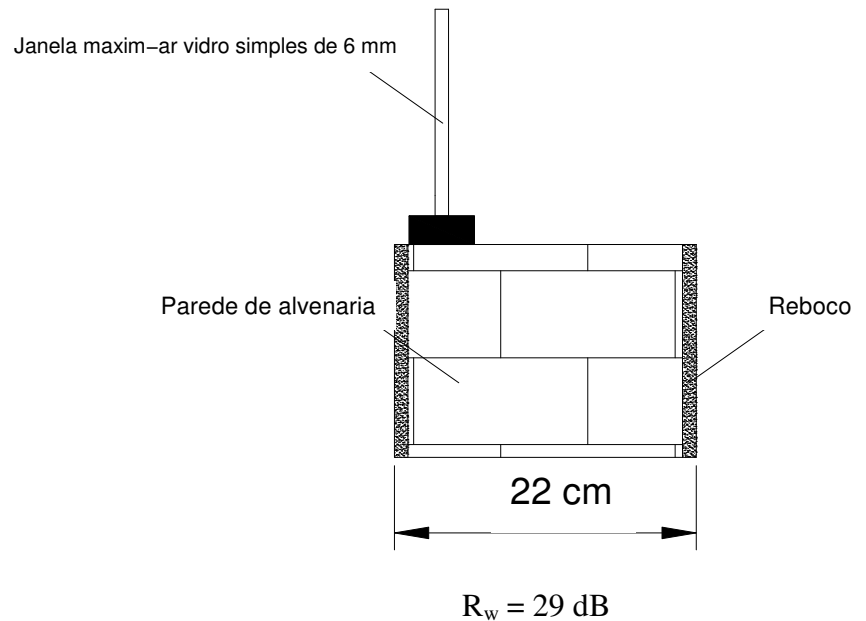
Ensaio n° 05:

Material ensaiado: janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm.

Característica da amostra: uma janela maxim-ar de PVC, com vidro simples de 6 mm, tendo boa estanqueidade ao ar, na dimensão de 1,40 x 1,60 m.



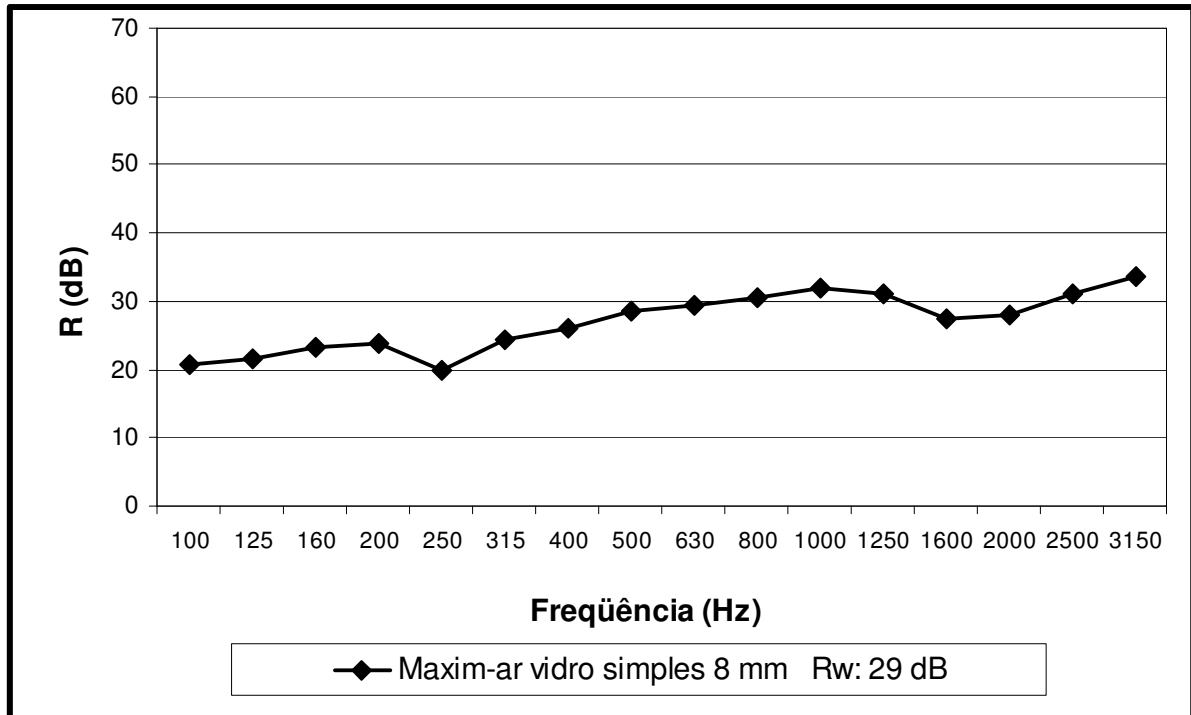
Freqüência	R do vidro
100	16,6
125	21,8
160	22,5
200	23,3
250	20,1
315	25,4
400	26,6
500	27,1
630	28,2
800	30,0
1000	31,1
1250	31,1
1600	31,0
2000	28,1
2500	27,6
3150	30,0



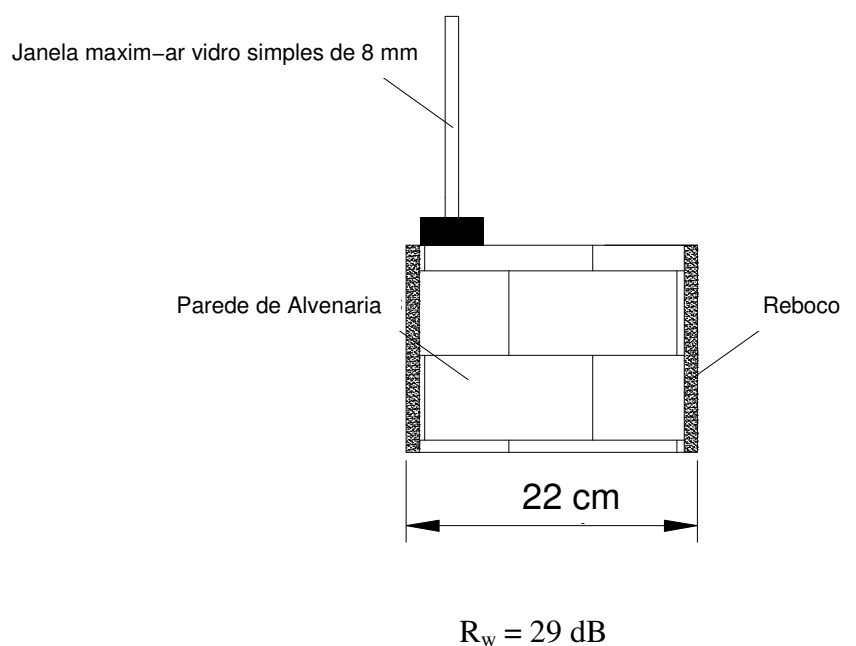
Ensaio n° 06:

Material ensaiado: janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 8 mm.

Característica da amostra: uma janela maxim-ar de PVC, com vidro simples de 8 mm, tendo boa estanqueidade ao ar, na dimensão de 1,40 x 1,60 m.



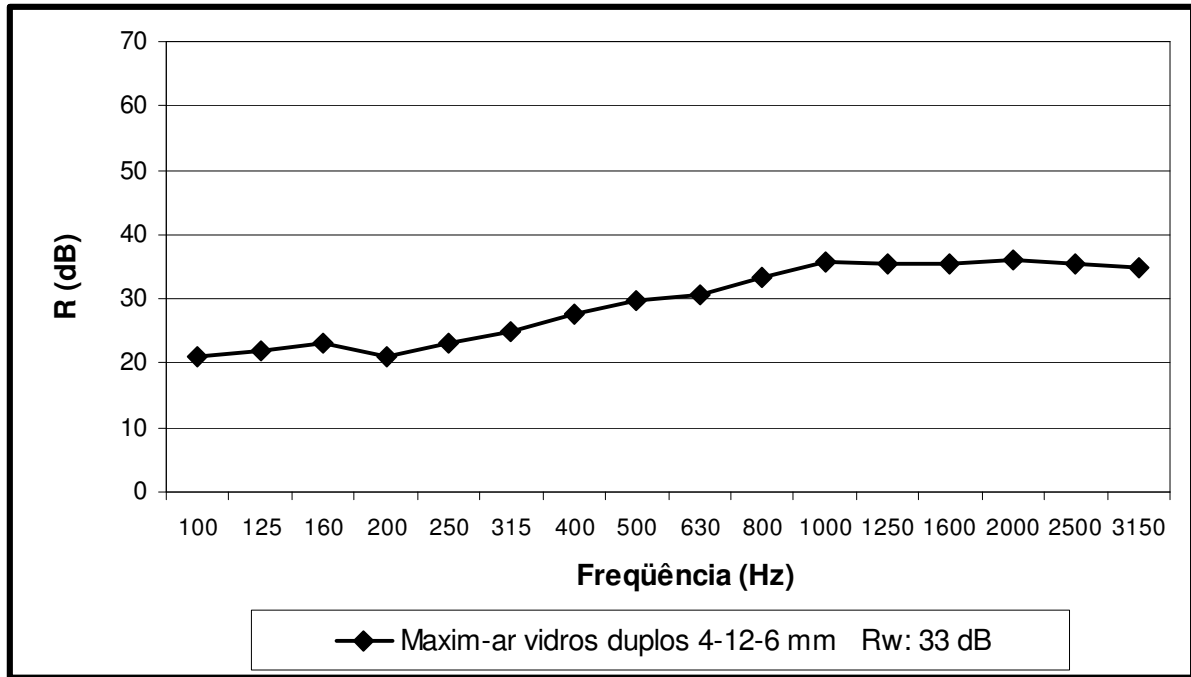
Frequência	R do vidro
100	20,8
125	21,5
160	23,2
200	23,8
250	20,0
315	24,4
400	26,1
500	28,6
630	29,4
800	30,4
1000	31,8
1250	31,1
1600	27,3
2000	27,9
2500	31,2
3150	33,5



Ensaio n° 07:

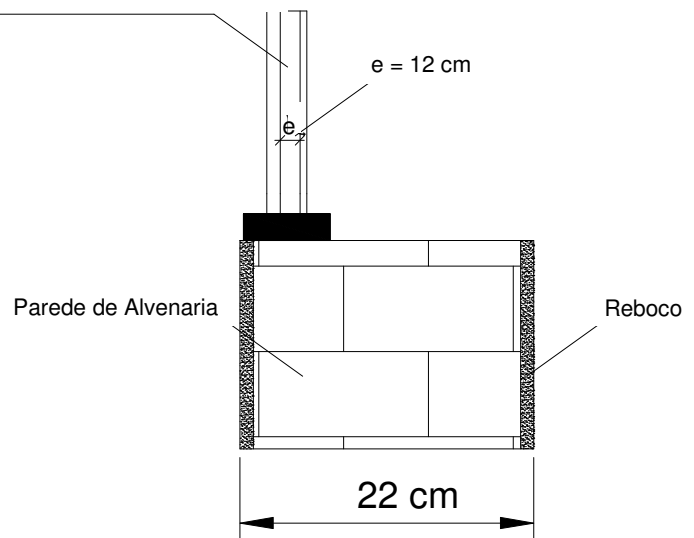
Material ensaiado: janela maxim-ar de PVC com vidros duplos e boa estanqueidade.

Característica da amostra: uma janela maxim-ar de PVC com vidros duplos de 4 e 6 mm, separados em 12 mm, tendo boa estanqueidade ao ar, na dimensão de 1,40 x 1,60 m.



Freqüência	R da janela
100	21,1
125	21,8
160	23,2
200	20,9
250	23,2
315	24,9
400	27,6
500	29,8
630	30,7
800	33,2
1000	35,7
1250	35,6
1600	35,6
2000	36,2
2500	35,5
3150	34,8

Janela maxim-ar: vidros 4-6 mm

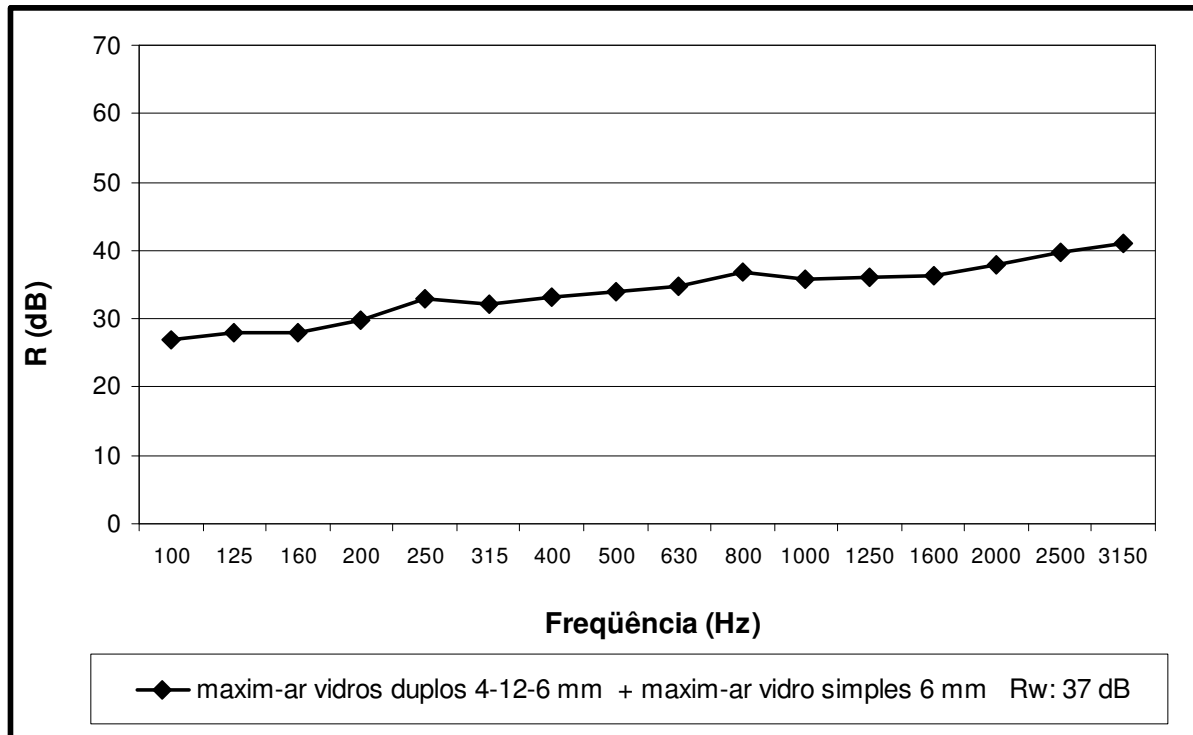


$R_w = 33$ dB

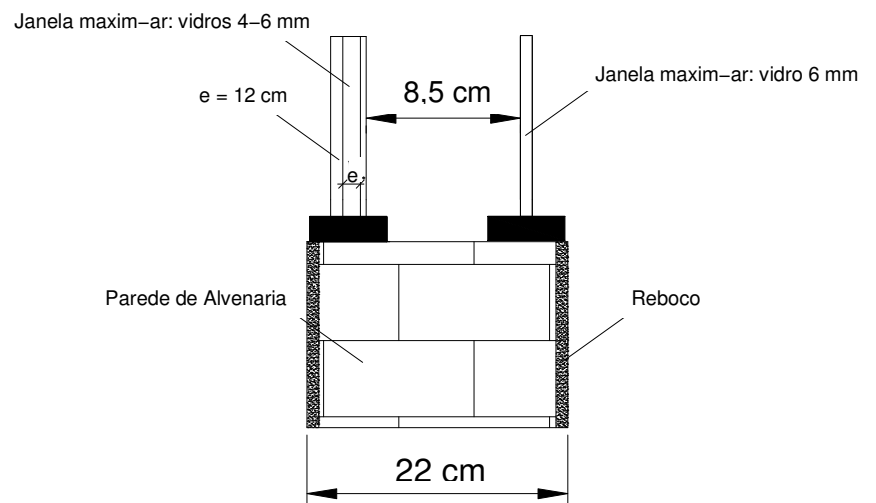
Ensaio n° 08:

Material ensaiado: duas janelas maxim-ar de PVC com boa estanqüidade.

Característica da amostra: uma janela maxim-ar de PVC com vidros duplos de 4 e 6 mm, com câmara de ar de 12 mm, com boa estanqüidade e batentes duplos de borracha, na dimensão de 1,40 m x 1,60 m, sobreposta e separada 8,5 cm de uma segunda janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm, com boa estanqüidade e mesma dimensão.



Frequência	R das janelas
100	26,8
125	27,9
160	28,0
200	29,8
250	32,9
315	32,1
400	33,2
500	33,8
630	34,6
800	36,8
1000	35,9
1250	36,1
1600	36,4
2000	37,8
2500	39,6
3150	41,0

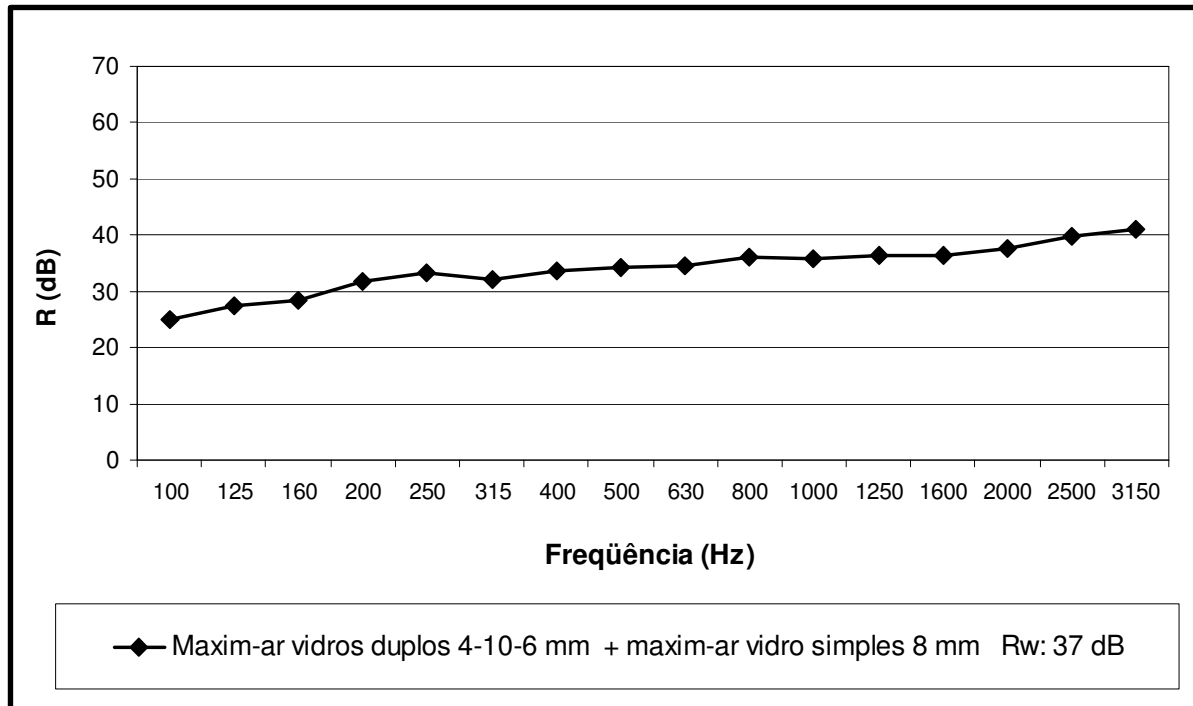


$$R_w = 37 \text{ dB}$$

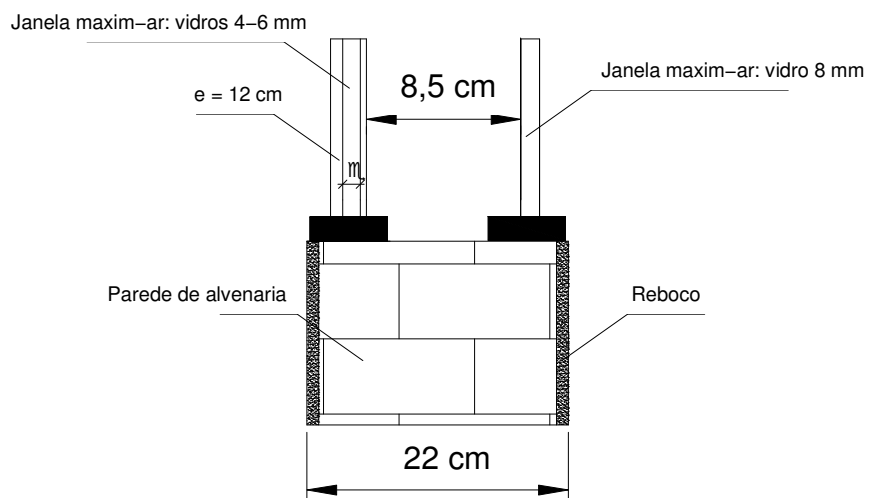
Ensaio n° 09:

Material ensaiado: duas janelas maxim-ar de PVC com boa estanqueidade.

Característica da amostra: uma janela maxim-ar de PVC com vidros duplos de 4 e 6 mm, com câmara de ar de 12 mm, com boa estanqueidade e batentes duplos de borracha, na dimensão de 1,40 m x 1,60 m, sobreposta e separada 8,5 cm de uma segunda janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 8 mm de mesma dimensão.



Frequência	R das janelas
100	24,9
125	27,4
160	28,5
200	31,8
250	33,2
315	32,0
400	33,5
500	34,2
630	34,6
800	36,0
1000	35,9
1250	36,3
1600	36,5
2000	37,7
2500	39,7
3150	41,0

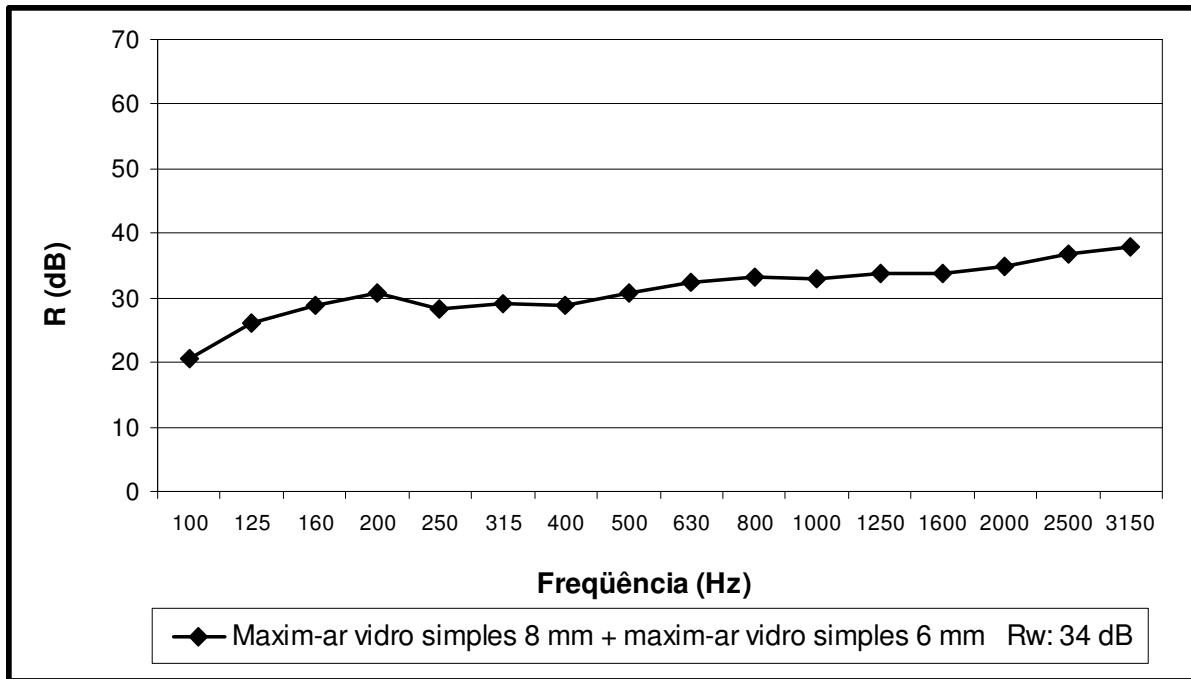


$$R_w = 37 \text{ dB}$$

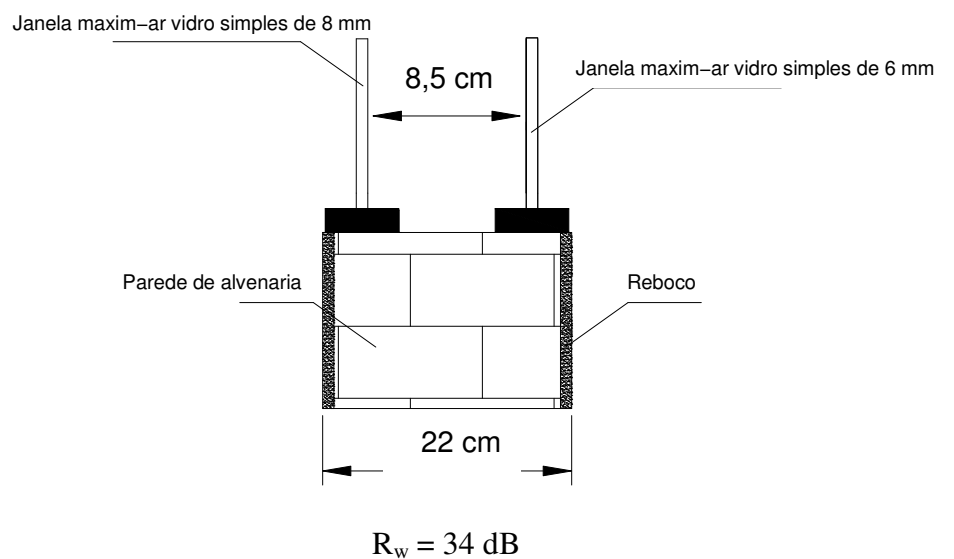
Ensaio n° 10:

Material ensaiado: duas janelas maxim-ar de PVC com boa estanqüidade.

Característica da amostra: uma janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 8 mm, com boa estanqüidade e batentes duplos de borracha, na dimensão de 1,40 m x 1,60 m, sobreposta e separada 8,5 cm de uma segunda janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm, com boa estanqüidade e batentes duplos de borracha, na dimensão de 1,40 m x 1,60 m.



Freqüência	R das janelas
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



APÊNDICE B – Fotografias dos ensaios realizados



Figura 36 - Fonte Sonora



Figura 37 – Microfone



Figura 38 – Analisador acústico



Figura 39 – Sala de Ensaios - LaTA



Figura 40 – Instalação de uma janela com tecnologia regional



Figura 41 – Instalação de duas janelas com tecnologia regional