

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**SCHEILA SIMONE WINCK**

**AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DE RUÍDO EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
ADMISSÃO DE AR EXTERNO POR VENTILAÇÃO FORÇADA, USADAS EM  
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS**

**CURITIBA**

**2010**

**SCHEILA SIMONE WINCK**

**AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DE RUÍDO EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
ADMISSÃO DE AR EXTERNO POR VENTILAÇÃO FORÇADA, USADAS EM  
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Construção Civil, Área de concentração: Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid**

**CURITIBA**

**2010**

**Winck, Scheila Simone**

**Avaliação da atenuação de ruído em diferentes sistemas de  
admissão de ar externo por ventilação forçada, usadas em edificações  
residenciais / Scheila Simone Winck. – Curitiba, 2010.**

**127 f. : il.; graf., tab.**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.**

**Orientador: Aloísio Leoni Schmid**

**1. Acústica arquitetônica. 2. Ventiladores (Maquinas). I. Schmid,  
Aloísio Leoni. II. Título.**


**CDD 693.834**


**TERMO DE APROVAÇÃO**

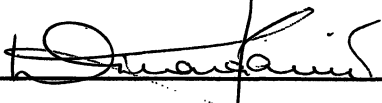
**SCHEILA SIMONE WINCK**

**AVALIAÇÃO DA ATENUAÇÃO DE RUÍDO EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
ADMISSÃO DE AR EXTERNO POR VENTILAÇÃO FORÇADA, USADAS EM  
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Construção Civil, ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:   
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid  
Universidade Federal do Paraná

Examinadores:   
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Angela Ribas  
Universidade Tuiuti do Paraná

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Dinara Xavier da Paixão  
Universidade Federal de Santa Maria

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares  
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 29 de outubro de 2010

## **AGRADECIMENTOS**

Manifesto o meu agradecimento,

Ao Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid, pela orientação e dedicação.

Ao PPGCC, em especial a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa, pelo apoio nos vários momentos de dificuldade.

À Ziza, secretária do PPGCC, por estar sempre bem disposta.

À empresa Westafex do Brasil, por acreditar neste projeto e auxiliar com a doação de diversos materiais de ventilação, necessários para a construção do protótipo.

À empresa Vamapal Ind. e Com. de lã de vidro, por acreditar neste projeto e auxiliar com a doação de fibras de vidro, necessárias para a construção do protótipo.

Ao Sr. e Sra. Sinani Marcondes, por cederem o espaço utilizado como câmara de testes. E por auxiliarem na preparação do ambiente e realização dos testes.

A CAPES/ REUNI, pela concessão de uma bolsa de pesquisa.

Aos meus pais, que acreditaram verdadeiramente em mim.

Ao meu marido, que sempre me apoiou, ajudou e compartilhou.

Enfim, a toda minha família, amigos e colegas. Muitas pessoas contribuíram. Todas de maneira importante.

## RESUMO

Esta pesquisa aborda a problemática da propagação do ruído através da ventilação, e o seu objetivo foi avaliar a atenuação de ruído em diferentes sistemas de admissão de ar externo por ventilação forçada, para uso em edificações residenciais. Partiu-se do pressuposto de que um grande número de residências, ao utilizar a ventilação natural, por meio de janelas abertas, sofre com o ruído vindo do ambiente externo. Sendo assim, para mitigar o problema deste ruído intrusivo, deixa-se de ventilar, em detrimento da qualidade do ar. Portanto, este projeto propõe avaliar a atenuação de ruído por um dispositivo que permita ventilar e ao mesmo tempo reduz a passagem do ruído do meio externo para o meio interno, contribuindo com a melhora da qualidade do ambiente interno. O método adotado foi o uso de levantamento de dados bibliográficos existentes sobre o assunto e pesquisa experimental, quanto à avaliação da capacidade de isolamento acústico do dispositivo de ventilação. Para a avaliação do desempenho acústico foram utilizadas as recomendações da norma ABNT NBR 10151 – acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento. As considerações levantadas na literatura especializada também foram bastante relevantes. Foram testadas cinco variações de um protótipo e também o uso de um renovador de ar de acordo com instruções do fabricante. Com os resultados foi possível identificar que todos os protótipos do dispositivo tiveram desempenho superior ao renovador de ar. Dentre as variações do protótipo, identificou-se aquele que teve melhor desempenho acústico. No entanto, são necessários ajustes de forma a melhorar seu desempenho técnico e arquitetônico. Também são necessários ensaios de capacidade de renovação de ar. A pesquisa mostrou poder contribuir com a promoção da melhora da qualidade de isolamento acústico em ambientes residenciais internos.

**Palavras-chave:** Atenuação de ruído. Isolamento acústico. Acústica arquitetônica. Ventilação forçada.

## ABSTRACT

This research addresses the problem of noise propagation associated with the ventilation, and its objective was to assess the noise attenuation in different air intake systems by forced ventilation, for use in residential buildings. It starts with the assumption that a large number of households, by using natural ventilation through open windows, suffer from the noise coming from the external environment. Therefore, to mitigate the problem of intrusive noise, ventilation is reduced at the expense of air quality. This project proposes to assess the noise of a device which can ventilate and at the same time reduce the transmission of outdoor noise to the internal environment, contributing to the improvement of quality of the internal environment. The method adopted was a bibliographic research on the subject followed by an experimental research in order to evaluate the sound insulation capacity of the ventilation device. For the evaluation of acoustic performance the recommendations of the ABNT NBR 10151 standard – assessment of noise in inhabited areas, seeking the comfort of Community – procedure were used. The considerations raised in the literature were also relevant. Five variations of the prototype were tested, as well as the use of an air renewal in accordance with manufacturer's instructions. With the results it was possible to identify that all device prototypes had superior performance to the air renewal device. Among the variations of the prototype, that one with the best acoustic performance was identified. However, adjustments steel are needed to improve their technical and architectural performance. Tests are regarding air renewal capacity are also needed. Research has shown to be able improve the quality of sound insulation in residential environments.

**Keywords:** Noise attenuation. Acoustic insulation. Architectural acoustics. Forced ventilation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01	Vista externa de um condomínio de sobrado geminado em Curitiba, Paraná. Detalhe para a proximidade entre habitações – alta densidade.....	19
FIGURA 02	Vista interna da janela de um sobrado geminado em Curitiba, Paraná. Detalhe para a proximidade entre habitações (cada desnível de telhado é uma residência independente) – alta densidade.....	19
FIGURA 03	Sistema trinário de transporte em Curitiba, Paraná.....	20
FIGURA 04	Esquema do sistema trinário de transportes da cidade de Curitiba, Paraná.....	21
FIGURA 05	Sistema de condicionamento de ar e de ventilação.....	29
FIGURA 06	Esquema das aberturas do sistema de ventilação existente e a solução proposta.....	30
FIGURA 07	Esquema de uma câmara absorvente simples.....	30
FIGURA 08	Expressão empírica de Wells para o cálculo de atenuação sonora.....	31
FIGURA 09	Valores previstos e valores medidos de atenuação sonora na câmara absorvente.....	31
FIGURA 10	Atenuação sonora dentro da câmara e no exterior da câmara.....	32
FIGURA 11	Esquema de controle ativo de ruído.....	33
FIGURA 12	Esquema de controle passivo de ruído.....	34
FIGURA 13	Faixa de frequência de atenuação sonora útil para tratamentos de controle de ruído de baixa resistência de fluxo para uso em entradas ou saídas de sistemas de ventilação natural.....	36
FIGURA 14	Venezianas acústicas.....	37
FIGURA 15	Detalhe esquemático de uma veneziana acústica.....	38
FIGURA 16	Elemento vazado acústico tipo 1 e 2.....	39
FIGURA 17	Elemento vazado acústico tipo 3 e 4.....	40
FIGURA 18	Elemento (ressonador) instalado como vazado.....	40
FIGURA 19	Composição dos blocos dos elementos vazados acústicos ensaiados na pesquisa.....	41
FIGURA 20	Elemento vazado acústico tipo 3 montado na fachada de testes..	42
FIGURA 21	Espectros em bandas de 1/3-oitava do R45 das variações do bloco caixa (C) e bloco caixa grande (CG).....	42
FIGURA 22	Configurações de peitoril ventilado utilizadas para testes.....	45
FIGURA 23	Resultados do Índice de Isolamento Sonoro (R') em dB para as diferentes configurações analisadas.....	46
FIGURA 24	Representação esquemática de uma cobertura verde sobre uma edificação.....	47
FIGURA 25	Sistema de admissão de ar externo por ventilação passiva. Com atenuador de ruído tipo ressonador – Silenceair.....	48

FIGURA 26	Desenho esquemático do Silenceair® tipo 1 - 240 mm.....	48
FIGURA 27	Índice de Redução Sonora para o sistema Silenceair® tipo 1 - 240 mm.....	49
FIGURA 28	Desenho esquemático do Silenceair® tipo 2 – 140 mm.....	49
FIGURA 29	Índice de Redução Sonora para o sistema Silenceair® tipo 2 – 140 mm.....	50
FIGURA 30	Desenho esquemático do protótipo (vista frontal).....	58
FIGURA 31	Desenho esquemático do protótipo (corte transversal).....	58
FIGURA 32	Renovador de ar modelo 1 (RA1).....	59
FIGURA 33	Tubo modelo 1 (T1).....	60
FIGURA 34	Tubo acústico modelo 2 (TA2).....	61
FIGURA 35	Tubo acústico modelo 3 (TA3).....	61
FIGURA 36	Veneziana auto-fechante 15,2x15,2 cm.....	62
FIGURA 37	Caixa metálica de suporte do protótipo.....	62
FIGURA 38	Detalhes internos da caixa metálica de suporte do protótipo.....	63
FIGURA 39	Localização da câmara de testes na cidade de Curitiba, Paraná..	65
FIGURA 40	Desenho esquemático da câmara de testes e câmara de acesso	67
FIGURA 41	Abertura para acesso à câmara de testes.....	68
FIGURA 42	Vedação da abertura de acesso da câmara de testes com tapume.....	68
FIGURA 43	Vista externa e interna da câmara de testes.....	69
FIGURA 44	Vista interna da câmara de testes.....	69
FIGURA 45	Execução de abertura na câmara de acesso.....	70
FIGURA 46	Detalhamento do método de medição nível de pressão sonora....	72
FIGURA 47	Estrutura de madeira para desenvolvimento do protótipo.....	73
FIGURA 48	Vista frontal do protótipo 50x40x20 cm com porta deslizante.....	74
FIGURA 49	Vista dos fundos do protótipo 50x40x20 cm.....	74
FIGURA 50	Vista frontal do protótipo com porta deslizante aberta.....	74
FIGURA 51	Tubulação acústica TA2 com estrangulamento na curva.....	75
FIGURA 52	Suporte da veneziana para encaixe da tubulação.....	76
FIGURA 53	Medidor de nível de pressão sonora DL-4020 marca Icel, utilizado no ensaio.....	77
FIGURA 54	Equipamentos utilizados nos ensaios.....	78
FIGURA 55	Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 1 e 2.....	80
FIGURA 56	Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 3 e 4.....	81
FIGURA 57	Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 4.....	81
FIGURA 58	Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 5.....	82
FIGURA 59	Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 6.....	83

FIGURA 60	Detalhe da fixação do protótipo na alvenaria.....	83
FIGURA 61	Posicionamento da tubulação T1 para medição 6 (PR1) e 7 (PR2).....	84
FIGURA 62	Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 7 (PR2).....	84
FIGURA 63	Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 8 (PR3).....	85
FIGURA 64	Posicionamento da tubulação TA2 para medição 9 (PR4).....	85
FIGURA 65	Posicionamento da tubulação TA3 para medição 10 (PR5) e 11 (PR6) .....	86

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 01	Legenda das linhas representadas nos gráficos de nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ).....	89
-----------	---	----

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01	Nível de pressão sonora equivalente do ambiente, medido antes de cada um dos 11 ensaios realizados.....	66
GRÁFICO 02	Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR1, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR).....	88
GRÁFICO 03	Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR2, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR).....	91
GRÁFICO 04	Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR3, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR).....	93
GRÁFICO 05	Nível de pressão sonora equivalente para os protótipos PR1, PR2 e PR3.....	94
GRÁFICO 06	Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR4, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR).....	96
GRÁFICO 07	Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR5, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR).....	98
GRÁFICO 08	Nível de pressão sonora equivalente para os protótipos PR1, PR2, PR3, PR4 e PR5.....	100
GRÁFICO 09	Nível de pressão sonora equivalente para os protótipos PR5 e PR6.....	101
GRÁFICO 10	Nível de pressão sonora equivalente para a abertura do renovador de ar (AbV1) e RA1 instalado e ligado( V1), parede fechada (PF), externo (EX) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR).....	103
GRÁFICO 11	Nível de pressão sonora equivalente para todos os ensaios realizados.....	104

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

$D_{nt}$  – Redução de Ruído Padrão

$D_{ntw}$  – Índice de Redução de Ruído Padrão Global

EVA – Espuma Vinílica Acetinada

LAC – Laboratório do Conforto no Ambiente Construído

$L_{Aeq}$  – Nível de Pressão Sonora Equivalente

MDF – Medium Density Fiberboard

NCA – Nível de Critério de Avaliação

PMC – Prefeitura Municipal de Curitiba

PVC – Cloreto de Polivinila

RIT – Rede Integrada de Transporte

$R'_{45}$  – Índice de Redução Sonora Aparente

$R_w$  – Índice de Redução Sonora Global

SPL – Nível de Pressão Sonora

UFPR – Universidade Federal do Paraná

ZR4 – Zona Residencial 4

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2	HIPÓTESE.....	17
1.3	OBJETIVO.....	17
1.4	JUSTIFICATIVAS .....	17
1.4.1	Justificativas sociais.....	18
1.4.2	Justificativas ambientais, econômicas e tecnológicas.....	22
1.5	ESCOPO E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	24
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	24
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	26
2.1	VENTILAÇÃO ASSOCIADA AO ISOLAMENTO ACÚSTICO.....	26
2.2	CONCLUSÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	51
<b>3</b>	<b>ESTRATÉGIA E MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	53
3.1	DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA.....	53
3.2	SELEÇÃO DO UNIVERSO DE ANÁLISE.....	53
3.3	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	54
3.4	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ANÁLISE.....	54
3.5	VALIDAÇÃO DA PESQUISA.....	55
3.5.1	Validade do constructo.....	55
3.5.2	Validade externa.....	56
3.5.3	Validade interna.....	56
3.6	DEFINIÇÃO DO SISTEMA E EQUIPAMENTOS.....	56
3.6.1	Definição do protótipo.....	57
3.6.2	Definição da câmara de testes.....	64
3.6.3	Protocolo de coleta de dados.....	70
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS</b> .....	77
4.1	INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.....	77
4.2	AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO.....	79
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	87
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	106
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b> .....	109
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	110

<b>ANEXO 1 - FICHA TÉCNICA DAS PEÇAS QUE COMPÕEM OS PROTÓTIPOS.....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE 1 - PLANILHAS COM RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....</b>	<b>120</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o dicionário Michaelis, conforto é definido como:

“(ô) sm (de regressiva de confortar) **1** Ato ou efeito de confortar. **2** Bem-estar. **3** Comodidade material; cômodo, aconchego. **4** Consolação ou auxílio nas aflições. Antônimo (acepções 1, 2 e 3): desconforto. Confortos de enforcado: benefícios tardios”.

Aqui se pretende discorrer sobre o conforto voltado para as edificações, onde as definições anteriores: bem-estar, comodidade material, cômodo, aconchego e consolo, podem se enquadrar. Dentre as várias definições para conforto, a que mais importa para a Arquitetura e a Engenharia Civil, é a do conforto ambiental, em que segundo Schmid (2005) os aspectos relativos à temperatura, luz, som, odor, cor, mobiliário, paisagem, etc. são importantes.

E em se tratando de edificações, a casa é o ambiente que está mais intimamente ligada ao termo conforto. É na casa fundamentalmente que o ser humano busca abrigo e proteção.

Então, é neste ambiente que o conforto recupera seu significado de consolo (SCHMID, 2005), como uma das definições do dicionário.

Também as necessidades que o ser humano tem de descanso, repouso e lazer (PAIXÃO, 2002), em especial as duas primeiras, podem ser descritas como funções que uma casa deve exercer. E na avaliação sob o prisma ambiental, os odores poluentes ou simplesmente desagradáveis, a temperatura em desequilíbrio e o ruído excessivo que são aspectos relacionados a conforto, podem prejudicar ou até mesmo impedir a casa de atender a estas necessidades.

Para evitar que os odores e poluentes contaminem um ambiente interno é necessário que haja ventilação. Nos ambientes domésticos, esta geralmente visa manter ou proporcionar uma boa qualidade do ar e também auxiliar para que haja adequada sensação térmica.

Contudo, para que haja ventilação, é necessário contato entre o ambiente interno e o externo. Este contato quando feito por meio de aberturas, como é o caso das janelas, permite grande penetração de ruído.

Aqui se torna necessário definir o que é o ruído. Assim, numa busca ao dicionário Michaelis, encontra-se que ruído é:

*“sm (lat rugidu) 1 Som inarmônico produzido por corpo que cai ou estala. 2 Estrondo, fragor, rumor. 3 Notícia de ação notável; fama, renome. 4 Boato. 5 Aparato, estardalhaço, fausto, ostentação, pompa”.*

Então, ao que interessa nesta pesquisa, pode-se definir o ruído, através de uma abordagem fisiológica, como sendo um som desagradável ou inarmônico, que causa incômodo, ou então um som que não é desejado.

Neste contexto, é clara a necessidade da busca por ambientes que se enquadrem na definição de conforto. E em se tratando de ventilação e ruído em ambientes residenciais, percebe-se que são termos que levam ao antagonismo, pois a ventilação, que é necessária, traz consigo o ruído, que é indesejável, causando assim o desconforto.

Portanto, torna-se evidente a importância de estudos que visem soluções de ventilação que tenham condições de impedir a penetração de ruído. Sendo assim, esta pesquisa propõe um estudo com este intuito.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Esta pesquisa parte da premissa de que as edificações residenciais tradicionais não conseguem combinar ventilação satisfatória e um bom isolamento acústico.

**Como fazer para que as edificações residenciais tenham ventilação que mantenha boas condições de higiene, associada a um dispositivo de atenuação do ruído do meio externo?**

## 1.2 HIPÓTESE

As edificações residenciais têm como principal característica o uso de aberturas (portas/ janelas) para realizar a ventilação dos seus ambientes internos. No entanto, quando a densidade de tráfego ou a densidade de habitações geminadas no entorno é alta, o conforto acústico pode ser comprometido.

Sendo assim, este projeto adota a hipótese de que é possível desenvolver, a partir de componentes existentes, um sistema de admissão de ar externo por ventilação forçada com eficaz atenuação do ruído, para instalação nas fachadas de edificações residenciais.

## 1.3 OBJETIVO

O objetivo principal desta pesquisa consiste em desenvolver e testar o isolamento acústico de um sistema de admissão de ar externo por ventilação forçada conciliando-o com um dispositivo de atenuação do ruído, evitando a passagem do ruído do meio externo para o meio interno.

## 1.4 JUSTIFICATIVAS

Esta pesquisa tem o intuito de colaborar no processo de aumento do conforto do ambiente em edificações residenciais.

Serão apresentadas justificativas sob aspectos sociais, ambientais, econômicos e também tecnológicos.

#### 1.4.1 Justificativas sociais

Para alcançar boa qualidade do ar, é necessária a oferta de oxigênio e a eliminação de monóxido de carbono. Outra necessidade é o controle da umidade, que influencia na sensação de frio e calor (SCHMID, 2005). A ausência ou pouca ventilação, causando excesso de umidade, propicia o aparecimento de fungos, desencadeando sensações alérgicas, ou então, com taxas muito baixas de umidade, facilitam o surgimento de doenças, conforme detalhado por Schmid (2005). Outros contaminantes comumente existentes nos ambientes internos de residências, e que podem ser eliminados através da ventilação, são os odores desagradáveis, os compostos orgânicos voláteis, presentes e emanados de móveis como os estofados, e o *medium density fiberboard* (MDF), carpetes e forrações, cortinas, *cloreto de polivinila* (PVC) e produtos de limpeza como as ceras e tintas.

Também os agentes biológicos, como os ácaros, que podem facilmente ser transportados para os ambientes internos através de animais de estimação, são considerados contaminantes do ar. Do ponto de vista do conforto ambiental, de acordo com autores citados por Schmid (2005), os mais importantes são os *Dermatophagoides*, que vivem nas frestas de assoalhos e nos cantos dos ambientes.

No entanto, para que haja ventilação é necessário contato do meio externo com o meio interno. No caso de ventilação natural, este contato geralmente é feito através das aberturas de esquadrias. O problema é que juntamente com esta ventilação entra o ruído existente no meio externo, pois o ar é a forma mais simples de transmissão do som. Uma vez que barreiras acústicas são reduzidas, aumentam as possibilidades de transmissão de ruído. Além do problema de ruído, a abertura de janelas provoca a exposição do patrimônio a assaltos e roubos.

Quando os ambientes internos de uma casa ficam expostos a estes ruídos indesejados, então se tem uma situação grave do ponto de vista do conforto acústico.

É esta a situação encontrada em residências do tipo sobrado geminado, onde a densidade de habitações é bastante alta, como se pode observar nas figuras 01 e 02.



Figura 01: Vista externa de um condomínio de sobrado geminado em Curitiba, Paraná. Detalhe para a proximidade entre habitações – alta densidade.

Fonte: [www.figueiredoimoveis.com](http://www.figueiredoimoveis.com) (2010)

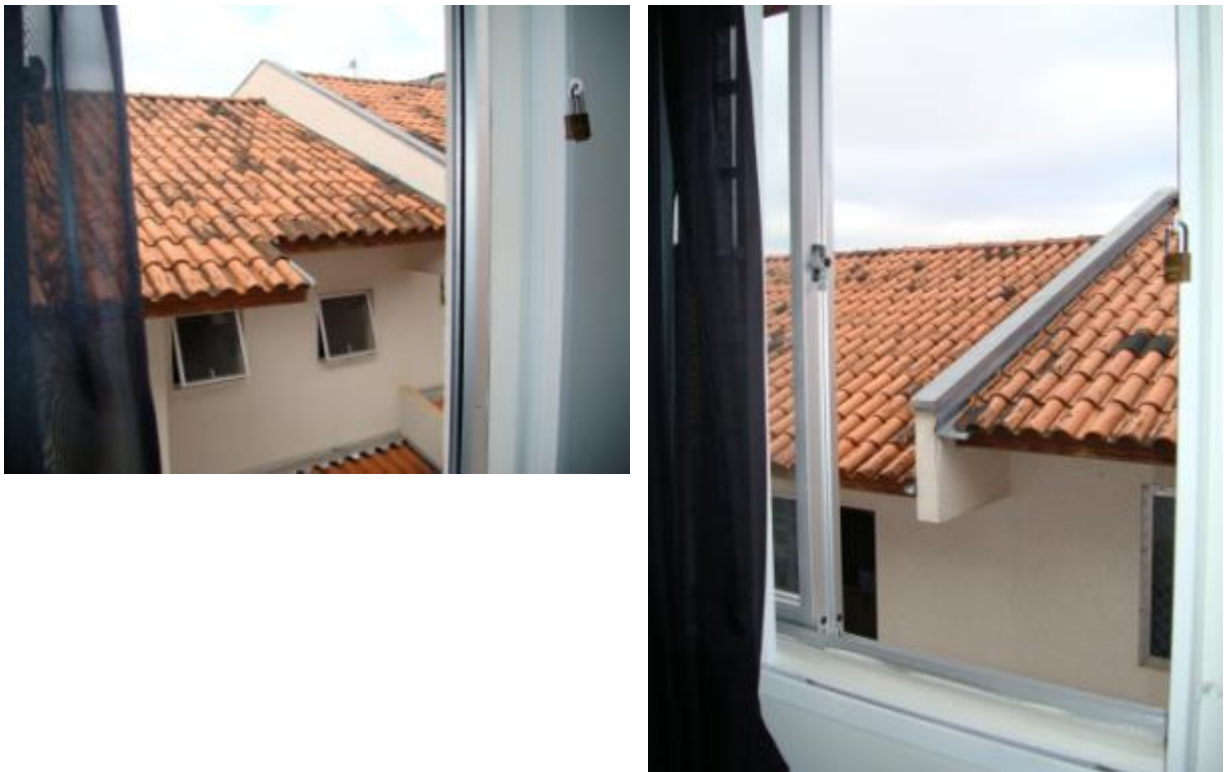


Figura 02: Vista interna da janela de um sobrado geminado em Curitiba, Paraná. Detalhe para a proximidade entre habitações – alta densidade.

Este problema também ocorre em edificações residenciais, sejam elas edifícios residenciais ou habitações unifamiliares, implantadas em vias de alto tráfego rodoviário, como as vias existentes no sistema trinário de transporte da cidade de Curitiba, conforme a figura 03.



Avenida Visconde de Guarapuava – via estrutural



Avenida Sete de Setembro – via central

FIGURA 03 – Sistema trinário de transporte em Curitiba, Paraná

Fonte: [www.luizbocian.blogspot.com.br](http://www.luizbocian.blogspot.com.br)

A Rede Integrada de Transporte (RIT) de Curitiba tem como principal característica a integração com o uso do solo e o sistema viário, configurando a cidade com um crescimento linear. Sendo que os setores especiais estruturais são os principais eixos de crescimento da cidade, com um sistema denominado trinário de circulação, se caracteriza pela existência de uma via central, composta por uma canaleta para a circulação exclusiva das linhas expressas (transporte de massa) e de duas vias lentas para acesso às atividades lindeiras, e as vias externas, as ruas paralelas com sentido único de tráfego, destinadas às ligações centro-bairro, para circulação dos veículos privados (PMC, 2000).

A figura 04 é um desenho esquemático do sistema trinário de transportes, onde se identifica o setor estrutural e o setor denominado Zona Residencial 4 (ZR4) como sendo o mais próximo deste sistema. Então, é possível verificar que o setor estrutural é densamente habitado, especialmente nos trechos mais antigos, como os mostrados nas figuras anteriores.

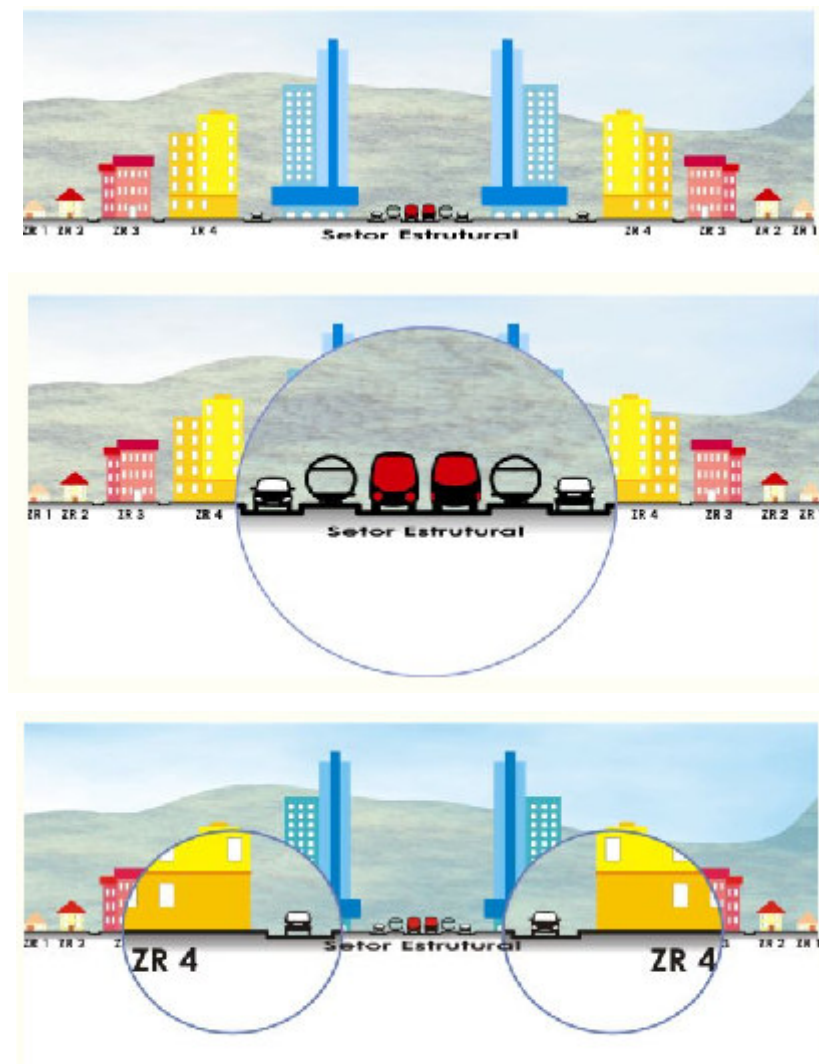


FIGURA 04 – Esquema do sistema trinário de transportes da cidade de Curitiba, Paraná  
 Fonte: [www.urbs.curitiba.pr.gov.br](http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br)

Ainda, em se tratando de edificações, vale a pena ressaltar que ao menos 75% do tempo das pessoas são passados dentro das edificações, podendo ser subdividido em: oito horas de sono, oito horas de trabalho ou estudo e ao menos duas horas para alimentação, higiene e outros cuidados pessoais ou com o próprio ambiente, conforme descrito na dissertação de Zaleski (2006).

A tentativa de subdividir esta estatística de forma simplificada, em ambiente residencial e não-residencial, conclui que, destes 75%, aproximadamente 56% (ou 42% do total de tempo) correspondem à permanência em ambiente residencial, tendo sido considerado para o cálculo oito horas de sono e duas horas para atividades diversas dentro deste ambiente.

Então, fica clara a importância da valorização da qualidade do conforto nestes ambientes. E como já abordadas anteriormente as questões de ventilação e acústica, compreendeu-se a necessidade de propor um sistema para edificações residenciais em que possa haver ventilação, proporcionando qualidade do ar interno, sem que seja necessária a abertura das esquadrias. No entanto, mesmo um sistema de admissão de ar externo por ventilação forçada, tem ligação do meio externo com o interno, permitindo a transmissão de ruído. Portanto, o uso de um dispositivo de atenuação do ruído externo é importante e necessário para que o objetivo principal, de ventilar impedindo a penetração do ruído excessivo, seja alcançado.

#### 1.4.2 Justificativas ambientais, econômicas e tecnológicas

Esta pesquisa aborda o combate da poluição do ar em ambientes internos residenciais quando propõe a concepção de um sistema de ventilação. Também trata da poluição sonora ao preocupar-se em aliar um silenciador ao dispositivo de ventilação.

A necessidade de ventilação dos ambientes internos para o combate da poluição, mantendo boa qualidade do ar, favorecendo assim o conforto ambiental, foi fato relatado anteriormente.

Ao tratar-se do controle do ruído, apesar dos avanços tecnológicos, Paixão (2002) escreveu que:

“O homem continua como o principal agente da geração da contaminação ruidosa [...]. As conseqüências negativas do ruído para o ser humano [...] estão comprovadas cientificamente.”

Outro problema relacionado com o ruído foi identificado por Paz *et al.* (2005):

“A exposição contínua do ser humano a ruídos acima de 65 dB pode causar distúrbios psico-fisiológicos tais como os distúrbios no sono, diminuição da performance laboral, hipertensão e agravamento de doenças cardiovasculares. Assim também, na infância, a exposição contínua ao ruído pode ser um fator de risco para o desenvolvimento do sistema auditivo.”

Desta forma, fica evidente a necessidade de combater a exposição contínua e excessiva ao ruído. Uma frente a ser estudada poderia ser a detecção e combate das fontes de ruído propriamente ditas.

No entanto, quando várias podem ser as fontes de ruído, então impedir que estes ruídos penetrem no ambiente em estudo é uma solução mais ágil e econômica, se tornando mais eficiente.

Marcon *et al.* (2005) apresentaram um trabalho que avaliou o isolamento acústico entre cômodos e de fachada em três residências na cidade de Curitiba.

Para as medições do isolamento de fachada, foi utilizado como fonte de ruído aquele produzido pelo tráfego viário para a medição do nível de pressão sonora no interior e exterior da residência. Concluiu-se que a qualidade dos materiais utilizados em portas e janelas e os defeitos na instalação desses elementos contribuem para o prejuízo da estanqueidade, resultando na diminuição do isolamento acústico. Observou-se ainda neste trabalho, que os valores dos coeficientes de isolamento acústico obtido e que refletem a realidade construtiva no Brasil, são ruins se comparados aos dados obtidos para países mais desenvolvidos, com maiores investimentos na construção civil e situados em regiões climáticas diferentes.

Ferreira e Zannin (2007) publicaram uma pesquisa em que foi medido *in situ* o isolamento acústico em onze residências em Curitiba. Os índices de isolamento acústico medidos entre cômodos e de fachada de todas as residências avaliadas apresentaram valores abaixo do recomendado para conforto de acordo com a norma alemã DIN 4109.

Ribas (2007) realizou sua pesquisa com o intuito de compreender como se dá a percepção da poluição sonora pela população e qual a relação existente entre som (ruído) – saúde (auditiva) – ambiente (urbano). A pesquisa focou os setores estruturais especiais da cidade de Curitiba, onde o ruído é intenso.

Para a pesquisa de Ribas (2007), foram selecionados 100 pontos nos setores estruturais especiais, onde foi realizada uma pesquisa empírica, composta pela medição do ruído presente no interior das residências e pelas entrevistas voltadas à coleta de dados sobre a percepção do ruído. Os resultados desta pesquisa mostram que o ruído urbano encontra-se acima dos níveis recomendados pelas normas tendo em vista as medições realizadas.

Ainda de acordo com Ribas (2007) o valor do ruído medido extrapola o máximo permitido pela legislação municipal de Curitiba, lei nº 10.625 que dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público, que é de 65 dB(A) para a região, em período diurno, em 86% da amostra.

Então, a identificação de que as residências na cidade de Curitiba possuem deficiências em suas fachadas, possibilitando a penetração de ruídos em excesso no seu interior, visualiza a necessidade de mais estudos sobre o assunto, de maneira a criar dispositivos que neutralizem este problema.

## 1.5 ESCOPO E DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A base de dados deste estudo constitui-se de uma pesquisa bibliográfica seguida da concepção de um novo sistema de admissão de ar externo por ventilação forçada com atenuação de ruído e execução de experimentos para testar este sistema.

A aplicação do sistema é proposta para edificações residenciais diversas, tais como: sobrados geminados, casas geminadas, casas e edifícios residenciais, todos expostos ao ruído externo.

O estudo está delimitado em verificar a capacidade de isolamento sonoro da solução de ventilação proposta, considerando que o mesmo atinge capacidade de ventilação higiênica.

## 1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente capítulo apresenta a introdução ao trabalho, onde estão descritos: o problema de pesquisa; a hipótese; o objetivo; as justificativas sociais, ambientais, econômicas e tecnológicas; a delimitação da pesquisa e esta estrutura da dissertação.

O capítulo 2 é composto por uma fundamentação teórica em que se faz uma revisão bibliográfica do tema abordado, ressaltando a ventilação associada ao isolamento acústico.

O capítulo 3 trata da estratégia e do método. Nele é abordado o método de pesquisa adotado, a validação, a seleção do universo de análise, a delimitação do tema, a caracterização da unidade de análise com definição do sistema e equipamentos criados para os experimentos.

O capítulo 4 apresenta os resultados e a análise dos resultados obtidos. E o capítulo 5 aborda as conclusões e sugestões para possíveis trabalhos futuros que poderão ser realizados partindo-se desta pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Losso (2003) as edificações brasileiras, em sua maioria não são construídas adequadamente em se tratando da proteção ao ruído intrusivo. Isto reforça todo o exposto até aqui, e faz ser possível concluir que as condições acústicas necessárias para proporcionar baixos níveis de ruído, andam na contramão da necessidade de ventilação. Isto se deve ao fato de que é necessário vedar o ambiente interno em relação ao meio externo para evitar ou minimizar a entrada de ruídos externos. No entanto, se ocorrer esta vedação, não é possível ventilar de forma natural e adequada o ambiente.

Por meio destas avaliações foram definidos os objetivos deste projeto, que é o de criar um sistema de admissão de ar externo por meio de ventilação forçada que concilie a necessidade de ventilação para manter o ambiente salubre, com dispositivos que minimizem a passagem dos ruídos.

Assim surge a necessidade de investigação sobre a existência de estudos relativos à ventilação, quando não deixado de lado o propósito de impedir a penetração de ruídos externos ao ambiente interno.

### 2.1 VENTILAÇÃO ASSOCIADA AO ISOLAMENTO ACÚSTICO

Martín Monroy (1997) realizou uma pesquisa em que analisa as necessidades contraditórias de condicionamento ambiental das habitações urbanas implantadas em climas quentes e ruidosos, avaliando a necessidade de ventilação e renovação do ar, e sua compatibilidade com um adequado isolamento acústico.

Foi realizada uma pesquisa na cidade de Las Palmas de Gran Canária, nas ilhas Canárias, Espanha. Por ser esta uma região de clima subtropical quente e úmido, existe a necessidade de ventilação das edificações com intuito não apenas de manter a higiene do ambiente, mas também de melhorar a sua qualidade térmica. No entanto, por ser esta uma grande cidade, com clima urbano afetado por um

elevado ruído ambiental, surge uma contradição entre a necessidade de ventilar e ao mesmo tempo isolar acusticamente os seus ambientes.

O estudo de Martín Monroy (1997) resume o resultado da análise de qualidade do ambiente, considerando o ruído e o calor, e desenvolve uma estratégia de construção das edificações que possa garantir uma qualidade adequada do ar e isolamento acústico para condições de clima quente e úmido.

São analisados sistemas de ventilação alternativos através de dutos. A pesquisa aponta para vantagens em se utilizar ventilação mecânica por impulsão com elevada qualidade ambiental e custo de instalação e manutenção reduzido. O sistema permite regulagem direta pelo usuário, sendo que o controle de volume do sistema proposto pode ser realizado através da modulação da potência do ventilador central. A estratégia proposta é capturar o ar de uma área subterrânea, a uma temperatura constante, para empurrar o ar com um atraso de 12 horas para o exterior.

O artigo não traz maiores detalhes de como funciona este sistema, bem como não mostra imagens do mesmo. Foram feitas tentativas de contato com o pesquisador no intuito de se obter maiores informações, no entanto, sem sucesso.

Losso e Viveiros (2003) publicaram os resultados de uma pesquisa sobre a acústica versus a ventilação natural em edificações brasileiras de ensino. O trabalho apresenta o estudo de dezoito escolas públicas em Santa Catarina. A avaliação foi subjetiva e realizada por meio de um questionário apresentado aos alunos e professores. O questionário induz a uma avaliação da escola, relativa ao seu conforto em termos de ventilação e níveis de ruído.

Os resultados mostraram que os estudantes e professores tem opinião semelhante sobre o assunto. Eles consideram que a ventilação tem um desempenho bom. Em contrapartida, o isolamento acústico não foi satisfatório. Assim, concluiu-se que os edifícios não proporcionam um ambiente protegido do ruído.

Este artigo teve como base a pesquisa gerada e publicada num trabalho mais extenso, que foi a dissertação de Losso (2003). Esta dissertação gerou diretrizes projetuais e construtivas para novas edificações de ensino.

Além dos questionários aplicados a alunos e professores, foram realizados levantamentos físico-construtivos das edificações e medições de parâmetros

acústicos de ruído de fundo, tempo de reverberação e tempo de decaimento inicial, para avaliar o nível de inteligibilidade da fala.

Segundo Losso (2003):

“As análises tipológicas e construtivas levaram a concluir que as escolas não são projetadas considerando aspectos acústicos. Existe inadequação entre as características físicas dos edifícios e a sua utilização como escola. As tipologias arquitetônicas desconsideram o entorno e suas fontes sonoras, bem como a disposição interna da planta dos edifícios, pois não há preocupação em se proteger as salas de aulas de ruídos externos a ela. Construtivamente, existem muitos problemas com materiais, dimensões e formas não adequados para as salas de aula, o que levam a tempos de reverberação e tempos de decaimento inicial altos. A precária manutenção de elementos como portas, fechaduras e janelas contribuem para a baixa capacidade de isolamento das partições.

Dentre as diretrizes geradas na publicação é importante ressaltar que quanto à localização das edificações sugere-se que as mesmas sejam implantadas de forma a proteger as áreas que requerem maior silêncio longe das áreas ruidosas. Também é necessário localizar as fontes sonoras do entorno e da própria edificação, antes da implantação do projeto.

Também foi sugerido que sejam feitas medições do nível de pressão sonora no terreno, como forma de prevenção dos níveis de ruído de fundo, para utilização na fase de projeto.

De uma forma geral é recomendado o uso de tijolos ou blocos maciços nas partições externas e internas, ou então, tijolos ou blocos mais densos. Para os tetos das salas de aula o uso de laje e quando houver mais de um pavimento, prever uma camada de material resiliente, formando um piso flutuante.

Ainda, recomenda-se evitar materiais metálicos nos panos dos telhados, pois as telhas metálicas produzem maior nível de ruído quando sofrem impacto da chuva.

Para os ambientes internos, dentre as principais recomendações elaboradas sugere-se evitar o uso de materiais leves como gesso e madeira, e cuidados com detalhes construtivos, evitando frestas e aberturas desnecessárias.

Também evitar o posicionamento de aparelhos sanitários em paredes que fazem divisa com salas de aula; uso de janelas com vidro duplo; caixilhos das portas com filete de borracha no batente; uso de portas e janelas de dimensões não muito grandes, fazem parte das diretrizes da pesquisa.

A pesquisa de Losso está voltada para edificações institucionais de uso comunitário. Mesmo assim, é relevante a sua citação neste projeto, pois mostra a preocupação com o assunto ventilação e isolamento acústico, e ao mesmo tempo, as diretrizes propostas, podem ser adaptadas para uso em edificações residenciais.

Já Bragança e Matos (2004) apresentaram um caso prático em que foi realizada uma experiência de acondicionamento acústico industrial com base no princípio de uma câmara de absorção sonora e do seu efeito dissipativo e reativo na absorção das ondas sonoras.

Após diversas medições do nível de pressão sonora equivalente dentro da indústria, no seu exterior imediato e na vizinhança, verificou-se que a causa do problema era o ruído produzido nas aberturas das entradas e saídas de ar do sistema de ventilação da edificação. A figura 05 mostra estas aberturas.



Parede traseira – abertura de admissão de ar

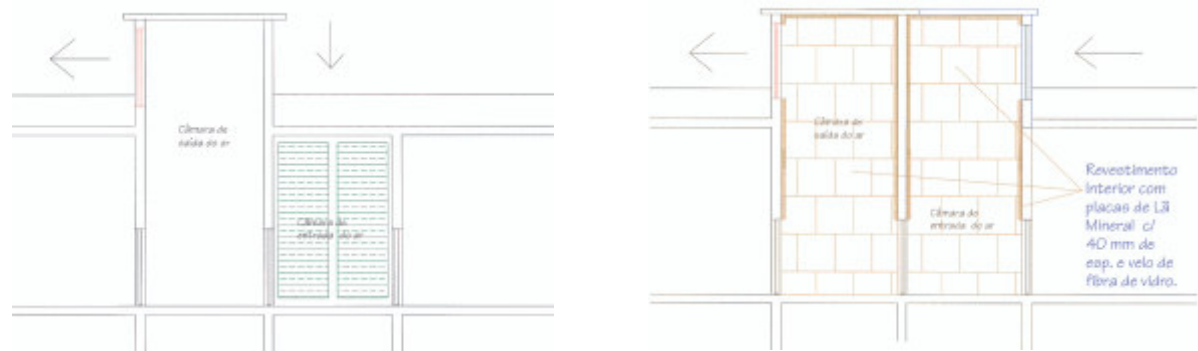
Cobertura da edificação – saídas de ar

FIGURA 05 – Sistema de acondicionamento de ar e de ventilação

Fonte: Bragança e Matos (2004)

A abertura traseira apresentou um nível de pressão sonora equivalente de 96,1 dB e de 96,8 dB medidos a dois metros da janela, da saída de ar.

A solução para este caso foi tapar as aberturas de admissão de ar com parede de concreto armado com 25 cm de espessura, e construir outra na cobertura, de forma semelhante à saída de ar já existente, conforme esquema da figura 06.



Sistema existente

Solução proposta

FIGURA 06 – Esquema das aberturas do sistema de ventilação existente e a solução proposta

Fonte: Bragança e Matos (2004)

As paredes e tetos da câmara já disposta conforme a solução proposta, foram revestidas com placas de lã de rocha de 50 mm de espessura, que é um material absorvedor sonoro. As torres funcionam como condutores verticais e internamente como câmara absorvedora e atenuadora de som, pelo efeito dissipador e reativo.

Foram considerados os níveis de pressão sonora medidos na câmara de exaustão. A câmara da figura 6 é semelhante ao esquema da figura 07, porém com a saída do fluxo situada no mesmo lado da entrada, portanto com ângulo  $\theta$  de  $90^\circ$ .

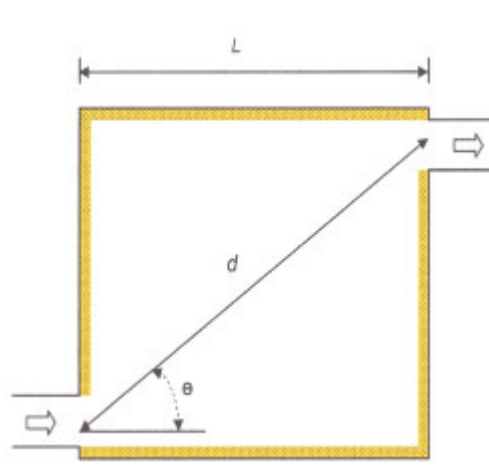


FIGURA 07 – Esquema de uma câmara absorvente simples

Fonte: Bragança e Matos (2004)

Para o cálculo da atenuação sonora desta câmara foi utilizada a expressão empírica de Wells, tendo sido simplificada devido ao ângulo de  $90^\circ$ , conforme a figura 08.

$$\Delta L = -10 \cdot \log \left\{ S_e \left| \frac{\cos \theta}{2\pi \cdot d^2} + \frac{1-\alpha}{a \cdot S_w} \right. \right\} \quad (dB)$$

Em que:

$S_e$  é a área da saída ( $m^2$ )

$S_w$  é a área de todas as paredes forradas da câmara ( $m^2$ )

$d$  é a distância direta entre a entrada e a saída (m)

$\theta$  é o ângulo entre a direção do fluxo de entrada e a reta que une a entrada à saída

$\cos \theta$  é o cosseno do ângulo  $\theta = L/d$  (sem unidade)

$\alpha$  é o coeficiente de absorção sonora do material que forra a câmara

$$\Delta L = -10 \cdot \log \left[ S_e \cdot \left( \frac{1-\alpha}{\alpha \cdot S_w} \right) \right] \quad (dB)$$

Expressão de Wells

Expressão simplificada

FIGURA 08 – Expressão empírica de Wells para o cálculo de atenuação sonora

Fonte: Bragança e Matos (2004)

Assim, através das expressões acima foi criada uma tabela, com os valores previstos para atenuação sonora em diversas frequências, e em seguida os valores medidos após conclusão das obras na câmara. Estes valores estão descritos nas tabelas da figura 09.

Tabela I – Valores previstos de atenuação sonora

Frequências (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0,16	0,50	0,86	0,90	0,93	0,95
$\Delta L$ (dB)	4	11	19	21	23	24

Tabela II – Diferenças de Nível Sonoro verificadas com o tratamento acústico

	$L_{Aeq}$ dB(A)			$\Delta L$ (dB)					
	Antes	Depois	Difer.	125	250	500	1000	2000	4000
No Interior da Câmara	101,5	99,1	-2,4	3,0	5,9	6,5	7,3	8,0	6,0
No Exterior da Câmara	96,8	76,6	-20,2	12,1	20,2	26,2	27,3	25,3	20,8

FIGURA 09 – Valores previstos e valores medidos de atenuação sonora na câmara absorvente  
Fonte: Bragança e Matos (2004)

A figura 10 apresenta os gráficos da potência sonora em bandas de oitava medidas antes e depois do tratamento acústico na câmara.

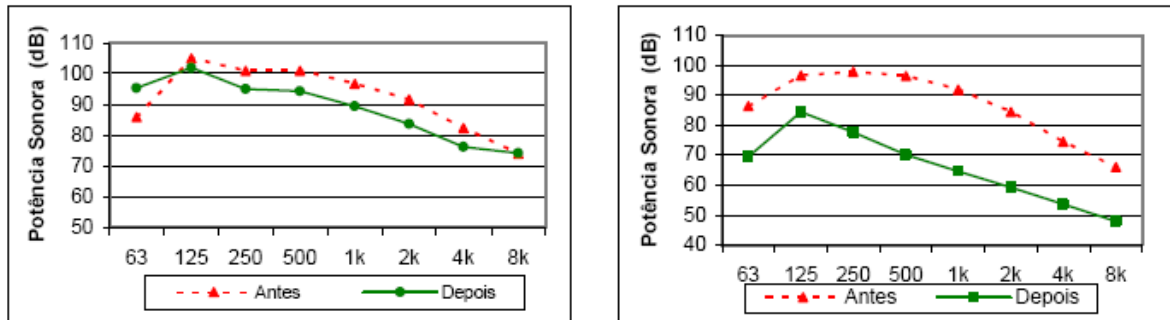


FIGURA 10 – Atenuação sonora dentro da câmara e no exterior da câmara  
Fonte: Bragança e Matos (2004)

Os resultados de atenuação sonora foram superiores aos previstos pela fórmula de Wells para frequências baixas e médias, fator este atribuído à imprecisão do método empírico e ao posicionamento da entrada e saída de ar na mesma parede favorecer a dissipação de energia no interior da câmara.

A construção de câmaras absorventes foi considerada de grande relevância neste trabalho, por ser uma solução muito eficaz para a resolução dos problemas de excesso de ruído provocado por tomadas e saídas de ar em sistemas industriais (BRAGANÇA E MATOS, 2004).

O trabalho de Bragança e Matos, mostrou relevância para esta pesquisa, pois apesar de se tratar de solução no âmbito industrial, apresenta técnicas para redução da penetração de ruído. O uso de absorvedores acústicos é uma técnica passiva de controlar o ruído, conforme explicado mais adiante.

Papini *et al.* (2008) desenvolveram e avaliaram o desempenho de um sistema de controle ativo de ruído para uso em sistemas de exaustão utilizando filtragem adaptativa. Este sistema é constituído por um microfone de referência, um alto-falante como atuador e um microfone de erro.

Este é um sistema utilizado para atenuação da onda sonora propagando-se em um duto de exaustão, e foi utilizada a versão filtrada do algoritmo LMS (FXLMS) para controle. Para a identificação do ruído foi utilizado o ruído branco, e os resultados apresentaram uma atenuação de 15 dB na banda de 250 Hz.

Através das explicações sobre controle ativo e controle passivo de ruído encontradas na pesquisa de Papini *et al.* (2008) foi criado o esquema da figura 11.

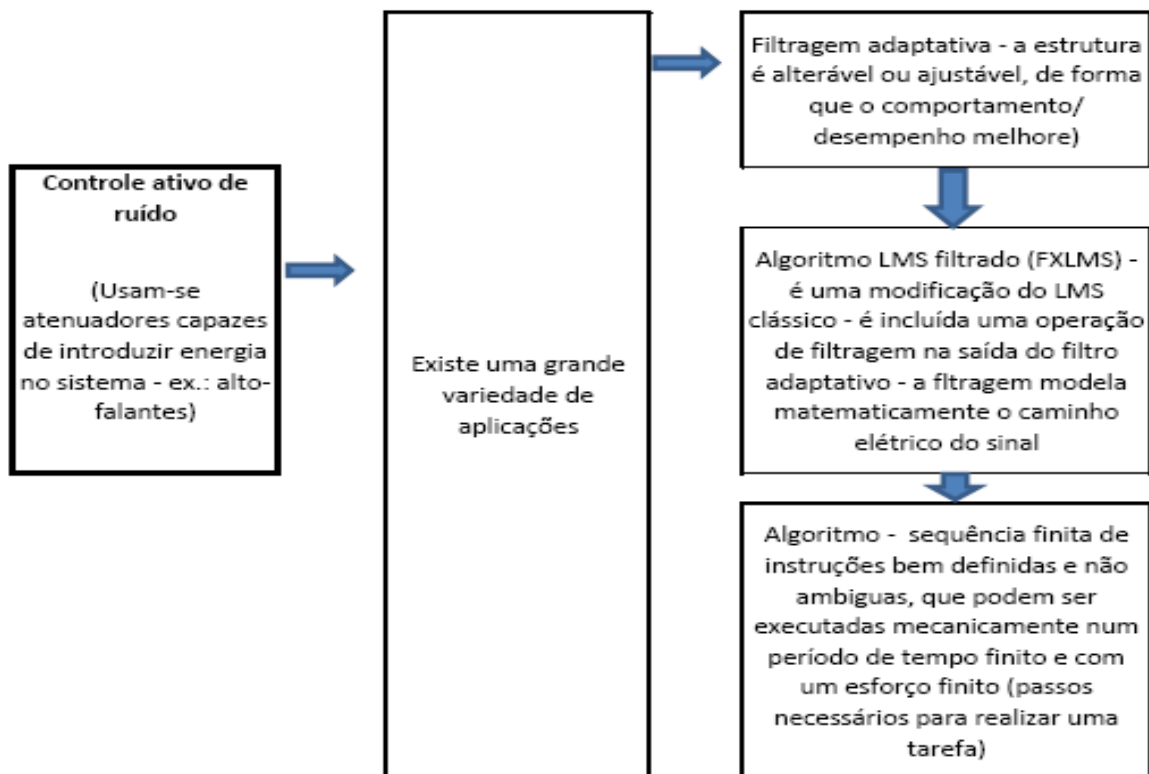


FIGURA 11 – Esquema de controle ativo de ruído  
Fonte: compilado pela autora, baseado em Papini *et al.* (2008)

A figura 11 resume o funcionamento do controle ativo de ruído, e a figura 12 resume o funcionamento do controle passivo de ruído.

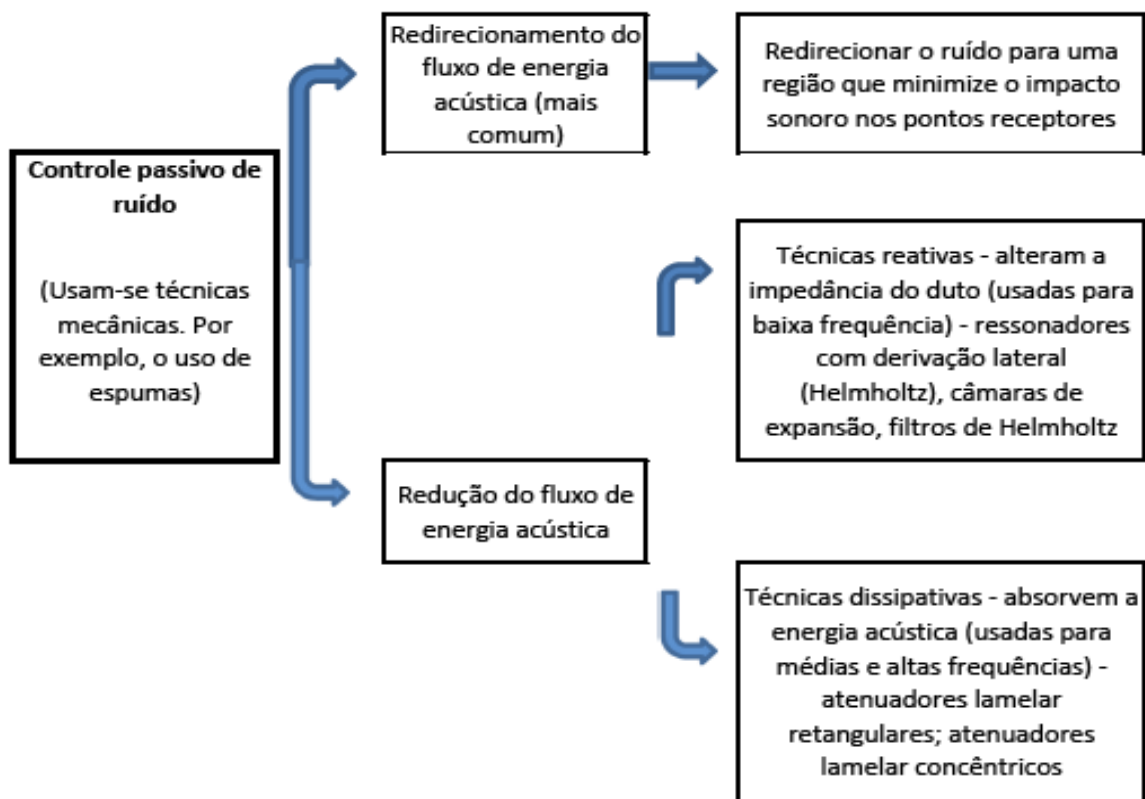


FIGURA 12 – Esquema de controle passivo de ruído  
 Fonte: compilado pelo autor, baseado em Papini *et al.* (2008)

Como conclusões para o trabalho realizado por Papini *et al.* (2008) pode-se afirmar que os resultados preliminares estão de acordo com os objetivos traçados inicialmente. Foi criado um protótipo para controle ativo de ruído em dutos de exaustão, sendo necessário concluir ainda outras etapas relacionadas às soluções de engenharia aplicada, para que esta seja uma alternativa viável técnica e economicamente.

Ainda segundo Papini *et al.* (2008) a atenuação de 15 dB para 250 Hz observados no protótipo representa um desempenho satisfatório, uma vez que, para se conseguir valores desta grandeza com controles passivos de ruído, são necessários dispositivos de grandes dimensões geométricas.

Também Oliveira (2007) pesquisou sobre o uso de técnica de controle ativo de ruído. O foco de sua pesquisa foi o uso desta técnica para controle de ruído em veículos, verificando também o seu impacto na qualidade sonora.

Segundo Oliveira (2007) o uso de técnicas de controle passivo demanda muito espaço e geralmente são pesadas. Assim, a sua pesquisa propõe

metodologias de simulação para o projeto de sistemas de controle ativo de ruído, tendo como objetivo a redução de custo e tempo de projeto.

Outro aspecto avaliado foi o impacto do controle ativo de ruído na percepção dos ocupantes do veículo por meio de métricas objetivas de qualidade sonora (tonalidade e nível de pressão sonora). Como resultado, obteve que houve uma redução na sensação de volume do ruído em baixas frequências.

Salis *et al.* (2001) apresentaram um extenso trabalho em que analisaram as técnicas de controle de ruído ambiental, e avaliaram a variação do fluxo de ar com as características de isolamento acústico ao ruído de tráfego rodoviário, em fachadas com incorporação de aberturas de ventilação.

O trabalho desenvolve um método para relacionar desempenho acústico e fluxo de ar em uma abertura de ventilação.

Diversas conclusões importantes foram encontradas neste projeto. Sendo assim, é possível citar que o grande problema dos sistemas de atenuação de ruído existentes é que eles geralmente funcionam para uma faixa limitada de frequências.

O ruído de tráfego rodoviário abrange uma grande faixa de frequências, sendo necessário estabelecer um sistema que possa isolar o ruído para várias frequências.

Assim, foi proposto por Salis *et al.* (2001) utilizar sistemas híbridos, envolvendo técnicas passivas e técnicas ativas, podendo completar a atenuação passiva convencional, em especial para regiões de baixa frequência, para uso em sistemas de ventilação natural.

A técnica passiva compreende o uso de forros de absorção e controla o ruído em altas frequências, enquanto a técnica ativa controla o ruído em baixas frequências.

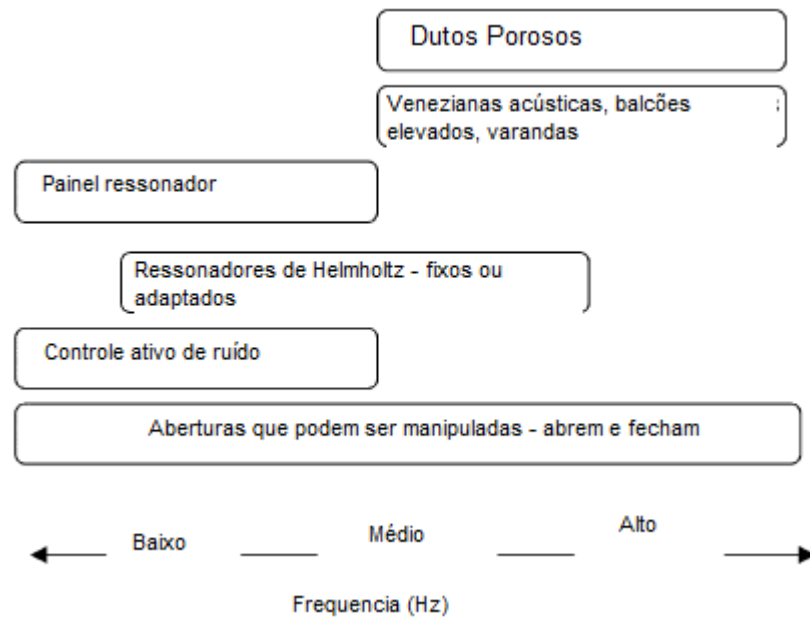


FIGURA 13 – Faixa de frequência de atenuação sonora útil para tratamentos de controle de ruído de baixa resistência de fluxo para uso em entradas ou saídas de sistemas de ventilação natural  
Fonte: Salis. *et al.* (2001)

A figura 13 apresenta alguns tipos de sistemas de ventilação com atenuação de ruído e a sua eficiência de acordo com a faixa de frequência em que se enquadra. Porém, são necessárias mais investigações sobre os sistemas híbridos para que seja possível identificar a eficiência acústica e de ventilação de cada um deles.

Viveiros (1998) apresentou sua tese de doutorado em que avalia o desempenho de venezianas acústicas pela resposta de análise impulsiva.

Venezianas acústicas são elementos de edificação que oferecem atenuação sonora ao mesmo tempo em que permitem o fluxo de ar pela abertura. A figura 14 é uma veneziana acústica.



FIGURA 14 – Venezianas acústicas

Fonte: [http://www.kingfisherlouvres.com/acoustic\\_louvres.html](http://www.kingfisherlouvres.com/acoustic_louvres.html)

De acordo com Viveiros (1998) as venezianas acústicas geralmente cobrem toda a fachada de um edifício permitindo a ventilação natural, preservando a privacidade interna e fornecendo proteção contra intempéries. No Brasil e em outros países tropicais são usados os *brise soleil*, que são venezianas com a função de evitar ou minimizar a radiação solar, sem função acústica.

As venezianas acústicas no Brasil geralmente têm seu uso restringido para controle de ruído industrial, não sendo disseminado seu uso em edificações residenciais por questões culturais e devido ao fato de terem custo ainda relativamente elevado.

A figura 15 é um desenho esquemático das venezianas acústicas. Basicamente elas são constituídas por filetes ocios, executados com lâmina metálica lisa na face superior e perfurada na face inferior (face voltada para a fonte de ruído). Internamente cada filete é preenchido com material absorvedor acústico, como por exemplo, a fibra de lã de vidro.

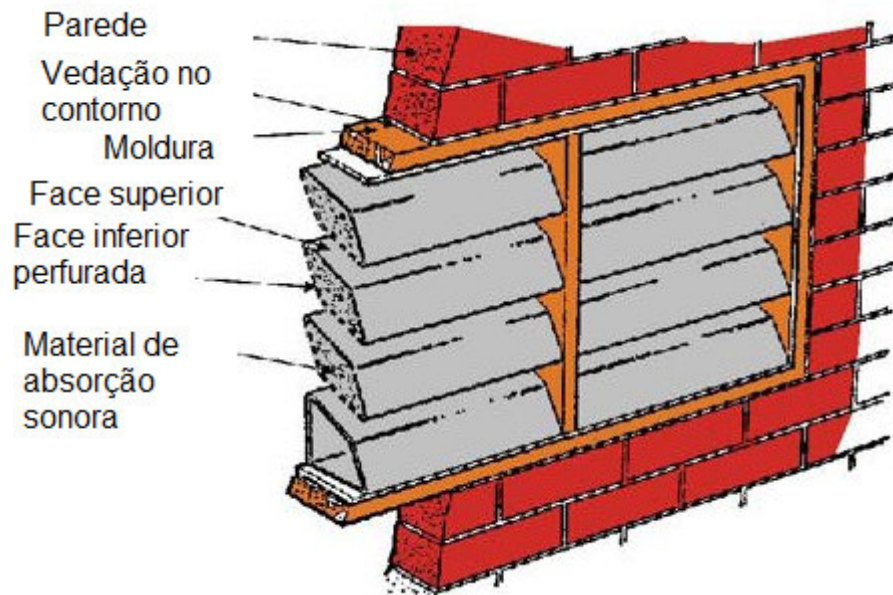


FIGURA 15 – Detalhe esquemático de uma veneziana acústica

Fonte: [http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide\\_ref/pump\\_sys\\_20.html](http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/pump_sys_20.html)

A pesquisa de Viveiros (1998) teve como objetivo investigar o desempenho acústico destas venezianas utilizando um método alternativo: análise impulsiva. Neste método o coeficiente de perda de transmissão sonora é obtido diretamente, sem necessidade de correções.

O método de medição mais comum usado no Reino Unido é a norma ISO 140. Porém, de acordo com Viveiros (1998), este método superestima o isolamento sonoro, devido à realimentação de energia pela abertura das venezianas. A investigação por análise impulsiva se mostrou eficiente, sendo que a instrumentação é simples e usa equipamentos portáteis.

Araújo (2010) apresentou sua tese de doutorado em que trata da análise das variáveis envolvidas no desenvolvimento de um elemento vazado acústico para uso em locais quentes e úmidos. A pesquisa mostra o estudo geométrico e apresenta as justificativas.

Segundo Araújo (2010) o objetivo do projeto está em utilizar o elemento vazado na minoração do problema da dicotomia entre os aspectos térmicos e acústicos envolvidos. Foi utilizada a Norma ISO 140-5 para avaliar o desempenho acústico dos elementos, e o desempenho da ventilação natural através de simulações computacionais, utilizando métodos da dinâmica dos fluidos computacional – CFD.

Foram desenvolvidos quatro tipos de blocos, avaliados em diferentes montagens, fechados e abertos, com e sem material absorvente. A figura 16 apresenta os elementos tipo 1 e tipo 2.



Figura 29. Foto dos elementos tipo 1 (menor, P) e 2 (maior, G)

Foto do elemento vazado acústico tipo 1 (menor) e tipo 2 (maior)

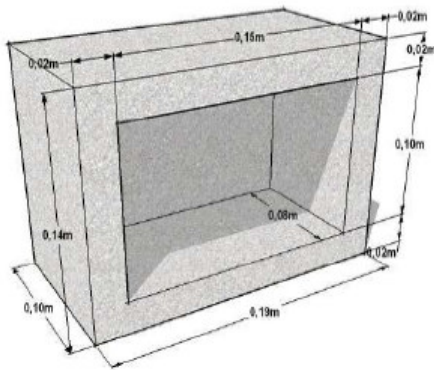


Figura 35. Croqui esquemático das dimensões do bloco pequeno (P)

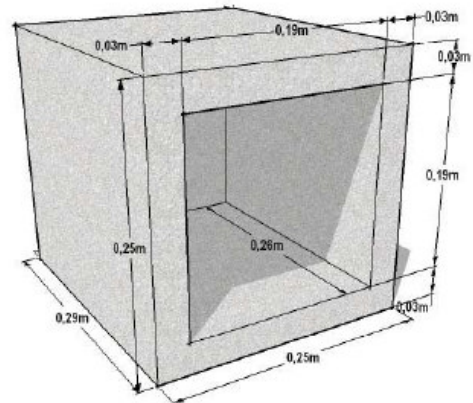


Figura 36. Croqui esquemático das dimensões do bloco grande (G)

Geometria e dimensões do elemento tipo 1  
 FIGURA 16 – Elemento vazado acústico tipo 1 e 2  
 FONTE – Araújo (2010)

Geometria e dimensões do elemento tipo 2

A figura 17 apresenta um desenho esquemático dos elementos vazados tipo 3 e 4, que variam entre si apenas pelas dimensões.

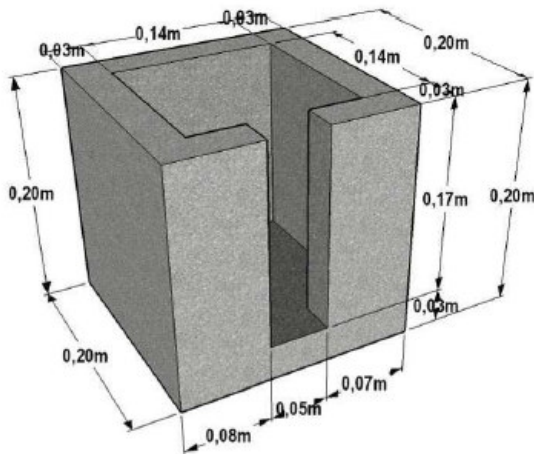


Figura 37. Croqui esquemático das dimensões do bloco tipo caixa (C)

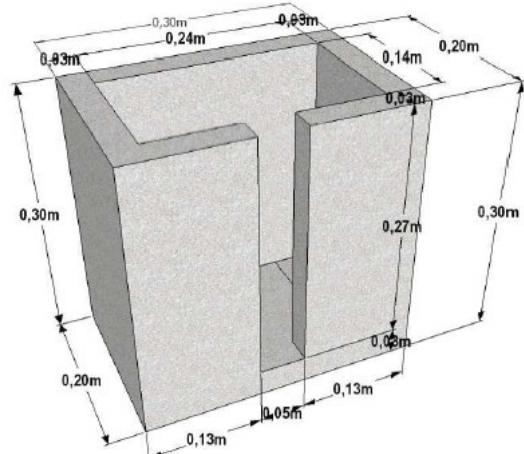


Figura 38. Croqui esquemático das dimensões do bloco tipo caixa grande (CG)

Geometria e dimensões do elemento tipo 3  
 FIGURA 17 – Elemento vazado acústico tipo 3 e 4  
 FONTE – Araújo (2010)

Geometria e dimensões do elemento tipo 4

A aplicação do bloco como ressonador prevê a instalação da fenda para dentro do ambiente, a qual cria a cavidade que funciona como mola a partir do preenchimento da mesma com a massa de ar. Para transformar o elemento, com a geometria exata do ressonador, em vazado partiu-se da instalação do mesmo com a fenda em lados opostos e com a cavidade coincidente, conforme a figura 18.

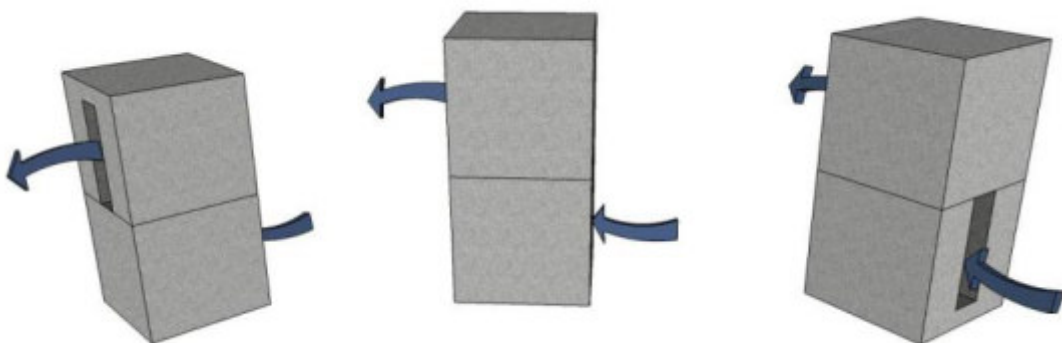


FIGURA 18 – Elemento (ressonador) instalado como vazado  
 FONTE – Araújo (2010)

As medições foram feitas com variações inserindo material absorvente nas cavidades, tendo sido utilizado manta de lã de vidro 50 mm. A inserção desse material absorvente foi realizada para identificar a contribuição da absorção em detrimento do isolamento acústico.

Para o desenvolvimento destes elementos vazados foram usados os princípios dos Ressonadores de Helmholtz.

Os blocos foram testados mediante diversas composições, conforme a figura 19.

TIPO DE BLOCO	CONDIÇÃO	ABERTURA	SIGLA	% DE ÁREA ABERTA*
Existente	Sem lã de vidro	5 cm	Exist	49%
Tipo 1 Pequeno	Fechado	-	Pfechado	0%
	Com lã de vidro	5 cm	P5 c/Lã	19%
	Sem lã de vidro	5 cm	P5 s/Lã	19%
Tipo 2 Grande	Fechado	-	Gfechado	0%
	Com lã de vidro	5 cm	G5 c/Lã	8%
	Sem lã de vidro	5 cm	G5 s/Lã	8%
Tipo 2 Grande	Fechado	-	Gfechado	0%
	Com lã de vidro	10 cm	G10 c/Lã	13%
	Sem lã de vidro	10 cm	G10 s/Lã	13%
Tipo 3 Caixa	Fechado	-	Cfechado	0%
	Com lã de vidro	5 cm	C c/Lã	12%
	Sem lã de vidro	5 cm	C s/Lã	12%
Tipo 4 Caixa Grande	Sem lã de vidro	5 cm	CG	9%

\* A percentagem de área aberta se refere à relação da área total da composição de elemento vazado e sua área permeável à ventilação.

FIGURA 19 – Composição dos blocos dos elementos vazados acústicos ensaiados na pesquisa  
FONTE – Araújo (2010)

Os resultados revelaram o quão susceptível é a transmissão do ruído em aberturas de ventilação (ARAÚJO, 2010).

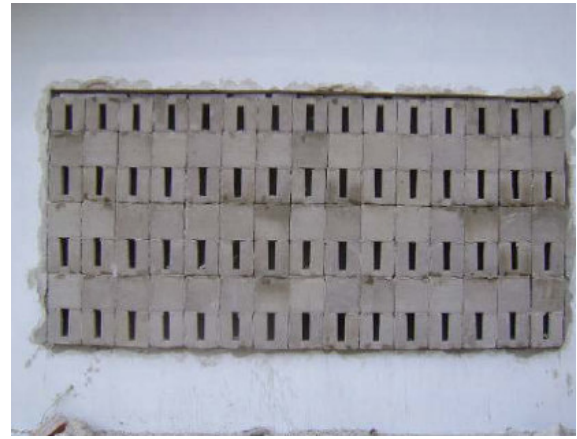
De acordo com Araújo (2010):

“Esta montagem apresenta relação de área aberta satisfatória para promover a ventilação natural dentro de um ambiente (confirmada pelo melhor desempenho comparativo de ventilação dos blocos simulados), além de apresentar isolamento sonoro superior ao de outros (poucos) elementos existentes no mercado, com o objetivo de promover a ventilação natural e reduzir a transmissão de ruído para se obter bom desempenho.”

A figura 20 apresenta o bloco tipo 3 montado com lã de vidro e sem lã de vidro.



Bloco tipo 3 sendo montado com lâ de vidro



Bloco tipo 3 montado sem lâ de vidro

FIGURA 20 – Elemento vazado acústico tipo 3 montado na fachada de testes

FONTE – Araújo (2010)

A figura 21 apresenta o Índice de Redução Sonora Aparente ( $R'_{45}$ ) para as variações do bloco caixa e bloco caixa grande.

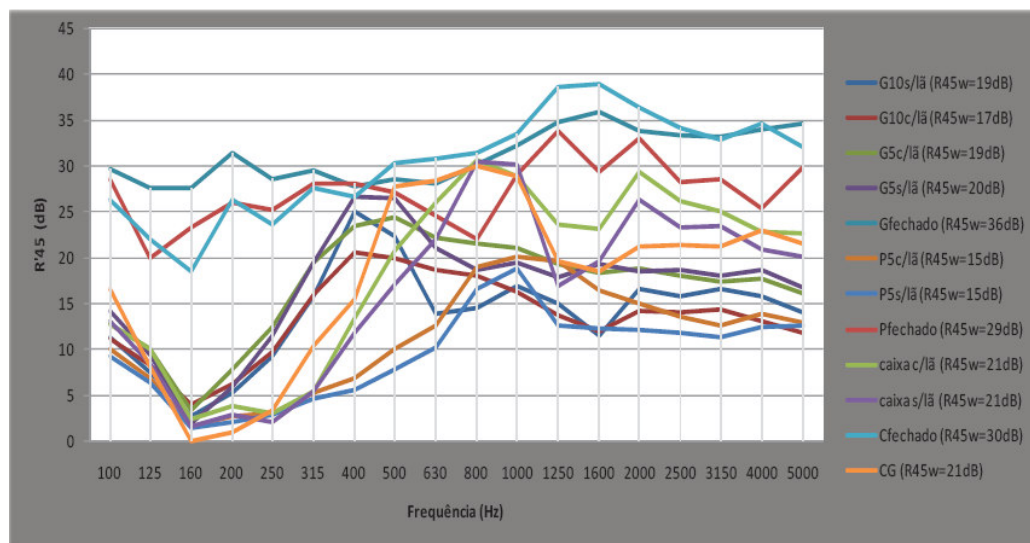


FIGURA 21 – Espectros em bandas de 1/3-oitava do  $R'_{45}$  das variações do bloco caixa (C) e bloco caixa grande (CG)

FONTE – Araújo (2010)

Os resultados mais satisfatórios para isolamento sonoro foram obtidos com o bloco tipo 3, caixa, que teve desempenho similar ao bloco fechado com um Índice de Redução de Ruído Padrão Global ( $D_{ntw}$ ) de 27 dB.

O desempenho do bloco tipo caixa com lâ se destaca nas altas frequências, atingindo o maior isolamento sonoro em 800 e 1000 Hz, porém caindo abaixo de 800 Hz.

O bloco tipo caixa grande apresenta um comportamento interessante, quando se observa que ele mantém o desempenho uniforme (bem próximo ao bloco caixa) em uma faixa maior de frequências (de 500 Hz a 1000 Hz), mas com isolamento nas altas frequências abaixo aproximadamente 5 dB do bloco caixa. Ambos os blocos apresentam o mesmo Índice de Redução Sonora Global ( $R_w$ ), que são os maiores dentre todos os blocos estudados.

Foi observado pouco isolamento sonoro nas baixas frequências de todos os blocos, principalmente abaixo de 350 Hz com Índice de Redução Sonora Aparente ( $R'_{45}$ ) abaixo de 20 dB e Redução de Ruído Padrão ( $D_{nt}$ ) abaixo de 25 dB.

A relação de abertura é fator preponderante para a promoção de ventilação natural através dos elementos sendo, de uma maneira generalista, quanto maior a abertura, maior a capacidade de permeabilidade dos ventos dentro de um ambiente.

O uso destes elementos vazados acústicos é especialmente interessante e indicado para regiões de clima quente e úmido, por permitir a ventilação de forma permanente. Para climas de temperaturas mais amenas, como os subtropicais (caso de Curitiba), é necessário que o sistema de ventilação possa ser controlado pelo usuário, devido aos períodos de baixas temperaturas.

Viegas (2007) apresentou um estudo propondo o uso de elementos arquitetônicos nas fachadas das edificações como alternativas para diminuir o ruído e proporcionar ventilação natural.

Foi feita avaliação de diferentes tipos de fachadas:

- Varandas – ajuda a reduzir ruído externo;
- Cobogós – auxilia na ventilação natural (pouco isolamento acústico);
- Marquises verticais, horizontais e reentrâncias – ajuda na redução de ruído externo;
- Janelas híbridas e ressonadores também foram estudados.

Foi aplicado questionário para moradores para avaliar o incômodo causado pelo ruído. As principais conclusões estão relacionadas com a dificuldade de concentração, prejuízo em conversas e ao assistir TV e na hora do sono.

Apesar de diversas tentativas de contato com a pesquisadora, não foi possível ter acesso ao estudo completo, impossibilitando desta forma, uma análise mais aprofundada.

Brandão e Martins (2008) apresentaram um estudo em que foram avaliadas as contribuições do uso de varandas para a sustentabilidade.

O uso de varandas em projetos de edificações residenciais é uma técnica passiva que traz conforto térmico, lumínico e acústico aos ambientes.

Elas são especialmente indicadas para uso em regiões de clima tropical quente e úmido.

Em se tratando de conforto térmico, a varanda permite ventilar vãos maiores, mesmo em dias de chuva, para o caso de climas quentes.

Do ponto de vista lumínico, ela reduz incidência de luz direta (ofuscamento), e permite luz refletida e difusa. E sob enfoque acústico, a varanda serve de anteparo às ondas sonoras.

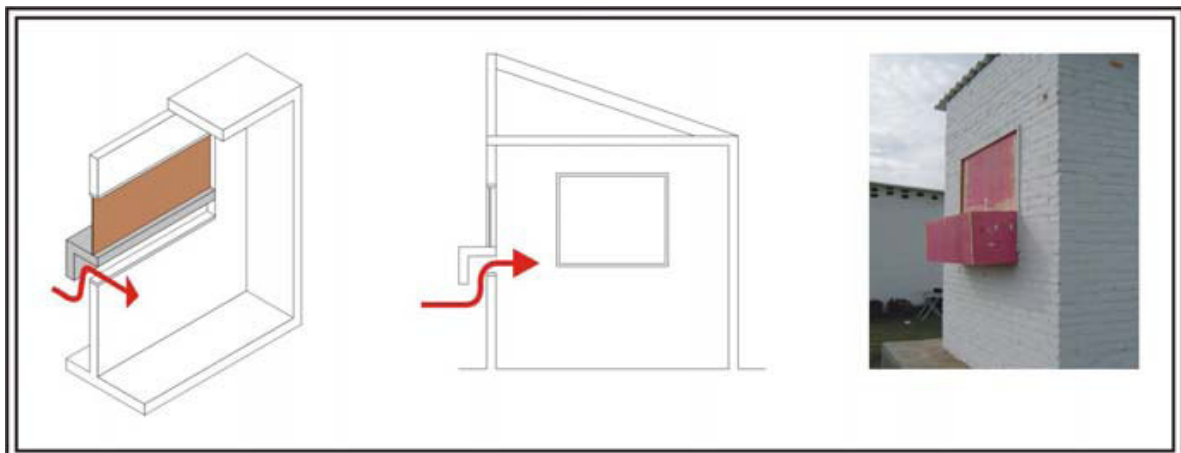
Oiticica e Bertoli (2008) publicaram os resultados de sua pesquisa em que avaliaram o comportamento acústico do peitoril ventilado em edificações de clima quente úmido.

Esta pesquisa investigou a atenuação do ruído de fachadas com peitoril ventilado para diferentes configurações de peitoril. A figura 22 apresenta duas configurações de peitoril estudadas (C e D).

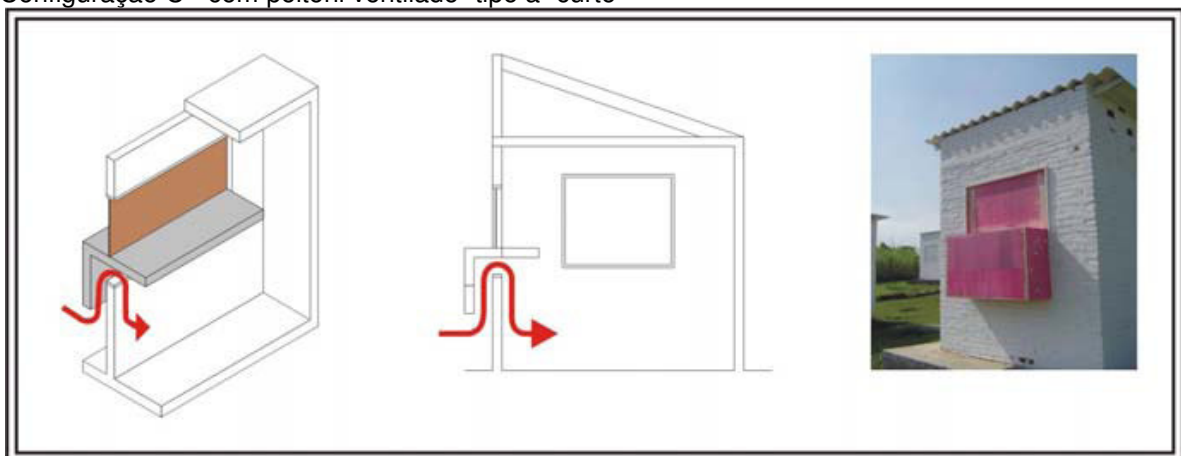
A pesquisa avaliou a atenuação do ruído para a fachada sem nenhum tipo de peitoril, e com a abertura de janela fechada (configuração A). Num segundo momento (configuração B) mantendo a mesma configuração anterior, porém com a janela com uma abertura pré-estabelecida de 1,0 x 0,18 m.

A terceira configuração (configuração C) testou a janela com abertura conforme configuração B e uso de peitoril curto, sendo a sua largura, sem elemento interno, com apenas elemento externo de 0,50 m, e altura do peitoril de 0,40 m.

E por fim, a configuração D, mantendo novamente a abertura de janela conforme configuração B, e uso de peitoril longo, tendo largura de 0,40 m interno e 0,50 m externo, e altura de 0,70 m.



Configuração C - com peitoril ventilado "tipo a" curto



Configuração D – com peitoril ventilado "tipo b" longo

FIGURA 22 – Configurações de peitoril ventilado utilizadas para testes  
 FONTE – Oiticica e Bertoli (2008)

O peitoril ventilado é uma técnica passiva, assim como as varandas.

Por definição, o peitoril ventilado é um dispositivo de concreto em formato geralmente "L" invertido, sobreposto a uma abertura, no peitoril abaixo das janelas.

A figura 23 apresenta um gráfico com os resultados obtidos nas medições realizadas.

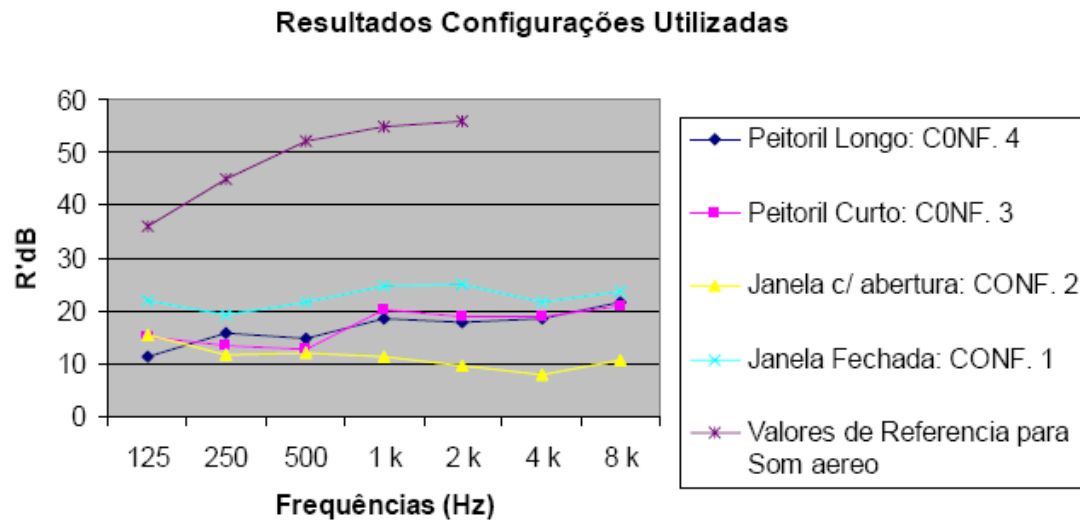


FIGURA 23 – Resultados do Índice de Isolamento Sonoro (R') em dB para as diferentes configurações analisadas  
 FONTE – Oiticica e Bertoli (2008)

O peitoril ventilado atua como fonte complementar da ventilação e o isolamento acústico varia conforme a sua configuração.

O índice de isolamento sonoro da janela fechada é em geral superior ao das outras configurações, no entanto, o índice de isolamento das configurações de peitoril é superior ao da janela aberta em qualquer frequência.

A janela com peitoril longo apresentou melhores resultados nas medias frequências quando comparados com o peitoril mais curto.

A janela com peitoril mais curto teve nas frequências mais altas uma pequena melhora do desempenho do que quando usadas com janelas de peitoril mais longo.

De maneira geral ocorre uma melhora considerável do desempenho acústico do ambiente quando implantado o peitoril ventilado na janela, que representou uma melhora de 6 dB embora apresente uma perda de 6 dB quando comparada com uma janela totalmente fechada.

Ocorreu uma pequena variação de isolamento entre os dois tipos de peitoril ventilado utilizados.

Renterghem e Botteldooren (2009) apresentaram os resultados de uma análise da redução da carga acústica do tráfego rodoviário em fachadas com o uso de coberturas verdes.

Foi investigada a influência de um telhado verde sobre a carga de ruído da fachada para o tráfego rodoviário de curta distância. A pesquisa apontou para um

resultado positivo na redução do ruído (tráfego leve) com a presença de coberturas verdes.

A figura 24 apresenta um esquema de cobertura verde.

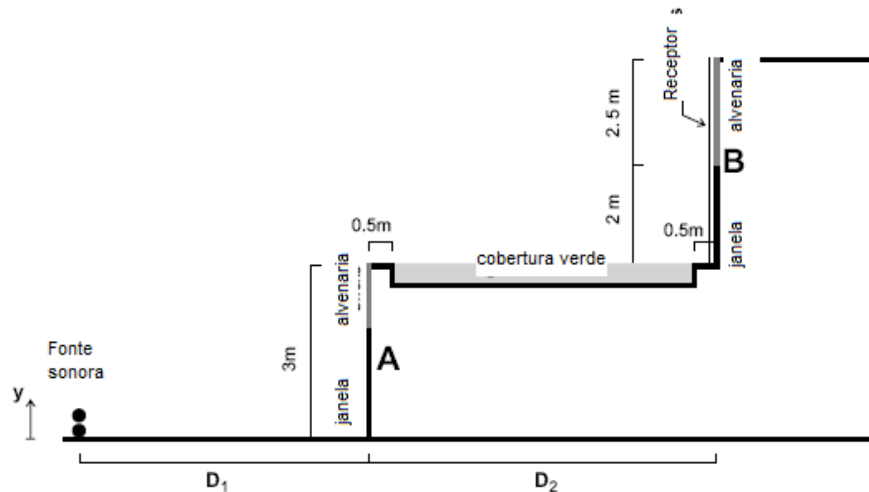


FIGURA 24 – Representação esquemática de uma cobertura verde sobre uma edificação  
 FONTE – Renterghem e Botteldooren (2009)

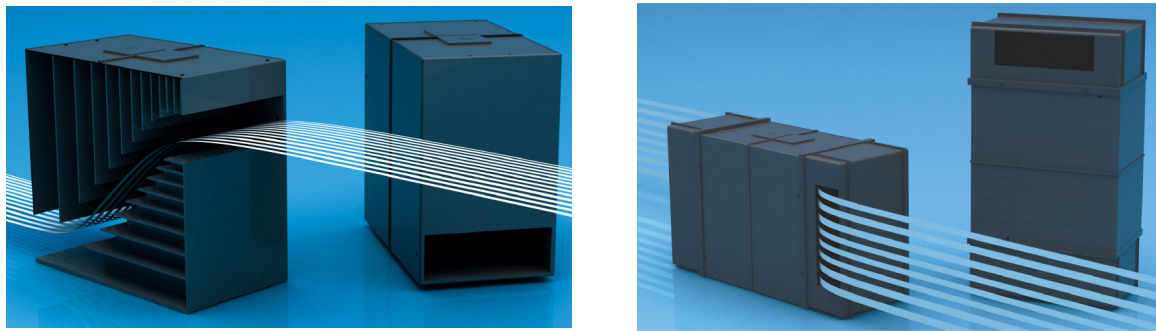
A redução do ruído é influenciada tanto pela inclinação do telhado quanto pela presença de uma cobertura verde. A cobertura plana geralmente resulta na melhor média de isolamento acústico.

A presença de coberturas verdes traz resultados positivos para as fachadas não diretamente expostas ao ruído.

Por fim, uma pesquisa de grande relevância para este estudo foi desenvolvida por Chris Field, em sua tese de doutorado, sob orientação de Fergus Fricke, pela Universidade de Sydney, na Austrália, em 2004.

Trata-se de um sistema de ventilação passiva, para ser instalado tanto em edificações novas como em já existentes.

O sistema, vendido comercialmente pelo nome de *Silenceair®*, é constituído de uma caixa de polipropileno reciclável e apresentado em dois formatos, conforme a figura 25.



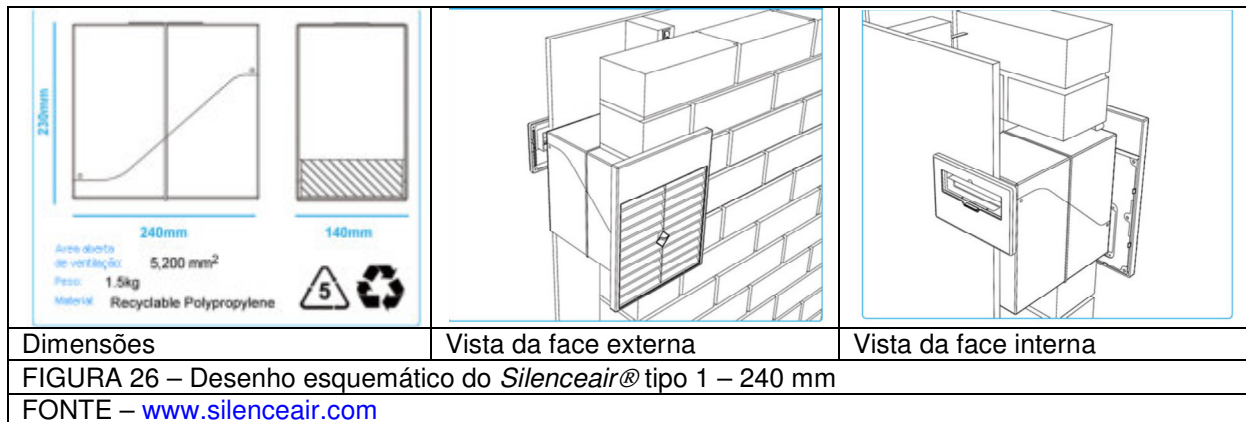
Silenceair tipo 1 – 240 mm

Silenceair tipo 2 – 140 mm

FIGURA 25 – Sistema de admissão de ar externo por ventilação passiva. Com atenuador de ruído tipo ressonador - Silenceair®  
 FONTE – [www.silenceair.com](http://www.silenceair.com)

Silenceair® tem a preocupação de permitir a ventilação dos ambientes internos, reduzindo a penetração dos ruídos do meio externo, por meio de pequenas cavidades que funcionam como ressonadores.

A figura 26 é um desenho esquemático do sistema tipo 1, de 240 mm, com suas medidas e forma de instalação.



A figura 27 apresenta um gráfico do Índice de Redução Sonora para o sistema tipo 1. O Índice de Redução Sonora Global ( $R_w$ ) é de 38 dB quando o sistema está fechado, e de 25 dB quando está aberto. Possui uma capacidade de redução do ruído de até 85%. O tamanho compacto elimina a necessidade de grandes dutos acústicos, sendo que ele é instalado diretamente em alvenaria de fachada (SILENCEAIR, 2009).

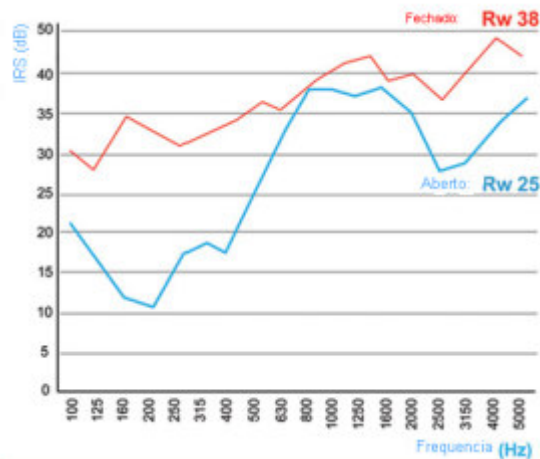
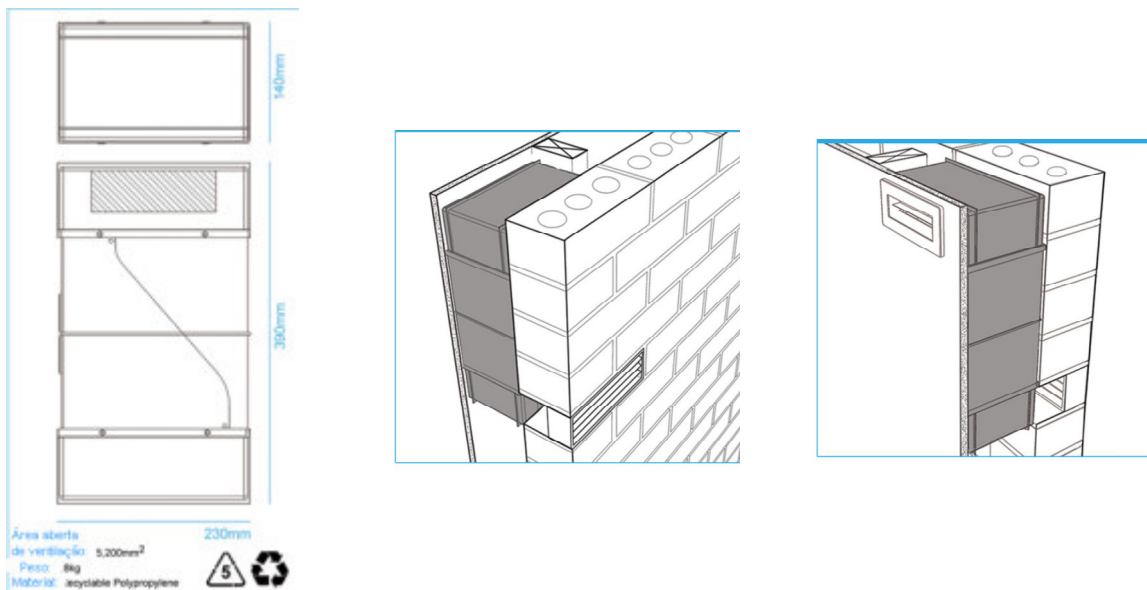


FIGURA 27 – Índice de Redução Sonora para o sistema *Silenceair@* tipo 1 – 240 mm  
 FONTE – [www.silenceair.com](http://www.silenceair.com)

Quanto à capacidade de ventilação, o sistema tipo 1 permite, por exemplo, a passagem de 25m³/h de ar para uma pressão de 2 Pascal. É possível aumentar a taxa de renovação de ar aumentando a quantidade de unidades instaladas (SILENCEAIR, 2009).

A figura 28 é um desenho esquemático do sistema tipo 2, de 140 mm, com suas medidas e forma de instalação.



Dimensões

Vista da face externa

Vista da face interna

FIGURA 28 – Desenho esquemático do *Silenceair@* tipo 2 – 140 mm

FONTE – [www.silenceair.com](http://www.silenceair.com)

A figura 29 apresenta um gráfico do Índice de Redução Sonora para o sistema tipo 2. O Índice de Redução Sonora Global ( $R_w$ ) é de 39 dB quando o sistema está fechado, e de 28 dB quando está aberto. Possui uma capacidade de redução do ruído de até 85%. O tamanho compacto elimina a necessidade de grandes dutos acústicos, sendo que ele é instalado diretamente em alvenaria de fachada (SILENCEAIR, 2009).



FIGURA 29 – Índice de Redução Sonora para o sistema *Silenceair*® tipo 2 – 140 mm  
 FONTE – [www.silenceair.com](http://www.silenceair.com)

Quanto à capacidade de ventilação, o sistema tipo 2 permite, por exemplo, a passagem de 20m<sup>3</sup>/h de ar para uma pressão de 2 Pascal. É possível aumentar a taxa de renovação de ar aumentando a quantidade de unidades instaladas (SILENCEAIR, 2009).

O sistema *Silenceair*® apresentado acima foi desenvolvido na cidade de Sydney, Austrália. Com um clima subtropical úmido, semelhante ao de Curitiba, pode-se dizer que ele se aplica então para esta cidade brasileira. Testes com o sistema deveriam ser executados para Curitiba no intuito de se ter respostas conclusivas sobre a possibilidade de uso para esta região.

## 2.2 CONCLUSÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O embasamento teórico feito através da revisão bibliográfica possibilitou identificar que as edificações brasileiras, em sua maioria, não são construídas com proteção adequada ao ruído intrusivo (LOSSO, 2003), que é o ruído vindo do ambiente externo para o ambiente interno.

Foram identificados diversos sistemas alternativos de ventilação com proteção a este ruído. A pesquisa de Martín Monroy (1997) apresenta um sistema de ventilação mecânica por impulsão através de dutos para aplicação em climas quentes. Bragança e Matos (2004) apresentam um sistema de câmara de absorção sonora para o acondicionamento acústico industrial.

Papini *et al.* (2008) desenvolveram um sistema de controle ativo de ruído para sistemas de exaustão.

Salis *et al.* (2001) estudaram as fachadas com incorporação de aberturas de ventilação, e concluíram que a maioria dos sistemas de atenuação de ruído existentes funciona para uma faixa limitada de frequências, enquanto o ruído de tráfego abrange uma grande faixa de frequências. Com base nestas informações Salis *et al.* (2001) propõe o uso de sistemas híbridos.

Outro sistema de ventilação com controle de ruído existente foi citado na pesquisa de Viveiros (1998). Trata-se de venezianas acústicas, uma espécie de veneziana que geralmente cobre toda a fachada da edificação, e oferece atenuação sonora enquanto permite a ventilação. O uso deste sistema não é disseminado no Brasil por questões culturais, uma vez que interfere de forma considerável na estética das fachadas, e também por terem um elevado custo de instalação.

Elementos vazados projetados para funcionarem como ressonadores foram sugeridos na pesquisa de Araújo (2010). Eles funcionam para locais de clima quente e úmido.

Diversos outros elementos arquitetônicos podem funcionar como atenuadores de ruído, como citado na pesquisa de Viegas (2009): varandas, cobogós, marquises verticais, horizontais e reentrâncias, janelas híbridas e ressonadores.

Os peitoris ventilados também podem contribuir para a ventilação com atenuação sonora, conforme detalhado no estudo de Brandão *et al.* (2008). São sistemas indicados para climas quentes e úmidos.

O uso de coberturas verdes também pode contribuir para a redução acústica de fachadas, conforme as pesquisas de Renterghem e Botteldooren (2009).

Um sistema de ventilação passiva desenvolvido na Austrália e denominado comercialmente de *Silenceair*, tem grande relevância para esta pesquisa, pois é indicado para ser usado em regiões de clima subtropical úmido, semelhante ao de Curitiba. Trata-se de um equipamento de dimensões relativamente pequenas, o que pouco interfere na arquitetura das fachadas, e pode ser instalado tanto em edificações novas quanto as já existentes.

### **3 ESTRATÉGIA E MÉTODO DE PESQUISA**

O presente capítulo apresenta o método de pesquisa adotado, explica as etapas do trabalho e a estratégia de análise adotada.

#### **3.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA**

Com base nos procedimentos técnicos, de acordo com Gil (2002) trata-se de uma pesquisa bibliográfica e experimental. Bibliográfica, pois é necessário desenvolvimento com base em material já elaborado sobre o assunto. E é experimental, pois consiste em determinar o objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

O emprego dos experimentos serve para contrapor o estudo teórico, feito através do levantamento bibliográfico, com o contexto da vida real. A partir dos resultados obtidos no estudo teórico, foi desenvolvido um novo sistema de ventilação forçada, com isolamento acústico como barreira para o ruído vindo do ambiente externo.

#### **3.2 SELEÇÃO DO UNIVERSO DE ANÁLISE**

Para atingir-se o objetivo proposto, foram estipulados os seguintes critérios de seleção:

- Desenvolvimento de um sistema de admissão de ar externo por ventilação forçada como protótipo, com algumas variáveis, de acordo com o estabelecido no item “definição do sistema e equipamentos”, para executar o experimento;

- Escolha de um ambiente adequado para funcionar como câmara de testes, para instalação do protótipo e execução dos experimentos;
- A câmara de testes tem a função de simular os ambientes residenciais propostos como local de utilização do sistema de ventilação;
- A simulação em câmara de testes nesta etapa de desenvolvimento do sistema permite maior controle das variáveis.

### 3.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O levantamento bibliográfico limitou-se a investigar estudos que relacionem a ventilação com a penetração de ruído do meio externo para o meio interno.

O protótipo proposto como novo sistema de admissão de ar externo por meio de ventilação forçada tem seis variáveis, para execução dos testes e análise dos resultados, sendo que foram feitas três medições com cada variável.

A câmara para a realização dos testes deve ser construída ou selecionada de acordo com o estabelecido no item 3.6. DEFINIÇÃO DO SISTEMA E EQUIPAMENTOS, e os testes devem ser executados exclusivamente em seu interior.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ANÁLISE

- Criar um sistema de ventilação forçada com isolamento acústico para atenuação do ruído vindo do ambiente externo, com base em sistemas e equipamentos comercialmente existentes, definido neste estudo como *protótipo*.
- Testar este sistema, quanto a sua capacidade de funcionamento, com medição de nível de pressão sonora.

### 3.5 VALIDAÇÃO DA PESQUISA

A validação da presente pesquisa foi feita com base na validade do constructo, validade externa e validade interna, conforme descrito a seguir.

#### 3.5.1 Validade do constructo

Para analisar a validade de *constructo* foram utilizadas várias fontes de evidências tais como:

a) Documentações – retiradas de fontes bibliográficas como artigos, teses e dissertações que tenham relevância;

b) Equipamentos

- Construir o protótipo do sistema de ventilação silenciado, alimentado por energia elétrica, para realizar os experimentos;
- Selecionar a câmara de testes para realizar os experimentos;
- Selecionar equipamento de medição de ruído para determinar nível de pressão sonora dentro e fora do ambiente. Para esta medição foram feitas medições fora do ambiente e dentro do ambiente, sem a instalação do protótipo e com o protótipo instalado. Utilizar norma NBR 10151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento;
- Definir posição dos equipamentos – meio ou canto da parede, distância do equipamento em relação à parede e em relação à posição do protótipo e apoio do equipamento. Esta definição foi pré-estabelecida no projeto.
- Utilizar máquina fotográfica digital para registrar os ambientes físicos avaliados.
- Utilizar computador portátil para registrar os dados obtidos.

### 3.5.2 Validade externa

A pesquisa foi realizada através de experimentos sobre um protótipo criado no campus da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com base para aplicação em edificações residenciais. Foram utilizados parâmetros de análise pré-estabelecidos para estas medições na validade do *constructo*, sendo que o mesmo procedimento pode ser aplicado em qualquer outra unidade de análise similar, independentemente da localidade.

Os resultados obtidos poderão servir como base de dados para novas pesquisas que tenham o objetivo de sugerir soluções de melhoria dos sistemas de ventilação silenciada.

### 3.5.3 Validade interna

O levantamento de dados foi analisado em etapas, que foram feitas em uma unidade de análise pré-estabelecida e aqui denominado protótipo, em número de no mínimo 3 e no máximo 5 medições para cada teste, para cada variação do protótipo.

Posteriormente foi feito o cruzamento dos dados obtidos, fundamentados nos parâmetros de pesquisa.

## 3.6 DEFINIÇÃO DO SISTEMA E EQUIPAMENTOS

A definição do sistema e dos equipamentos deste projeto está subdividida conforme descrito abaixo e detalhado na sequência.

- definição do protótipo, onde são apresentadas de forma detalhada todas as etapas da construção do mesmo;

- definição da câmara de testes, onde é apresentada a escolha desta câmara, bem como os ajustes executados para que ela receba o protótipo para execução dos experimentos;
- Protocolo de coleta de dados, com a função de definir as etapas para coleta dos dados obtidos nos experimentos.

### 3.6.1 Definição do protótipo

A partir das relações identificadas na pesquisa bibliográfica, foi desenvolvido o protótipo para aplicação na pesquisa. O sistema de admissão de ar externo por ventilação forçada foi confeccionado com uso de equipamentos existentes no catálogo de uma indústria fabricante de produtos e equipamentos de ventilação, e outros, como a caixa de suporte (60x40x20cm), desenvolvida exclusivamente para o estudo, executada em chapa metálica galvanizada.

O sistema consiste no estabelecimento de técnicas de controle passivo de ruído, uma vez que foi utilizada uma tubulação com o intuito de absorver o ruído externo de forma a minimizar a sua penetração no meio interno.

A figura 30 mostra de forma detalhada e em vista o desenho esquemático do protótipo.

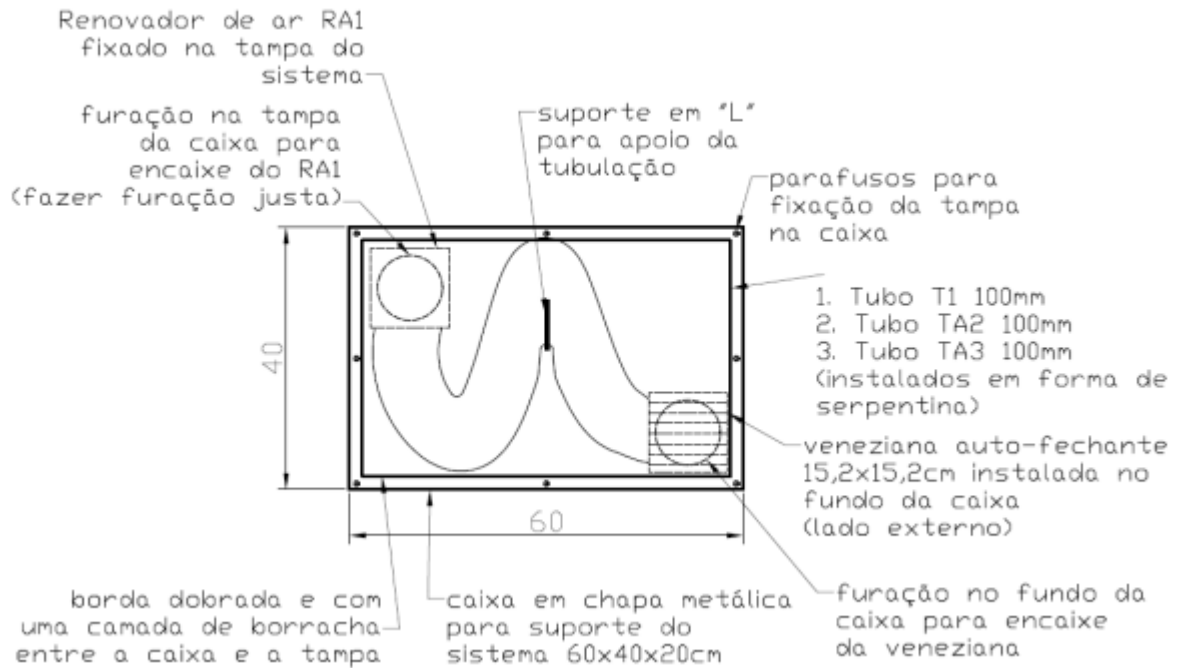


FIGURA 30 – Desenho esquemático do protótipo (vista frontal)

Já a figura 31 apresenta um corte transversal do protótipo, onde se observa a espessura da caixa que é de 20 cm.

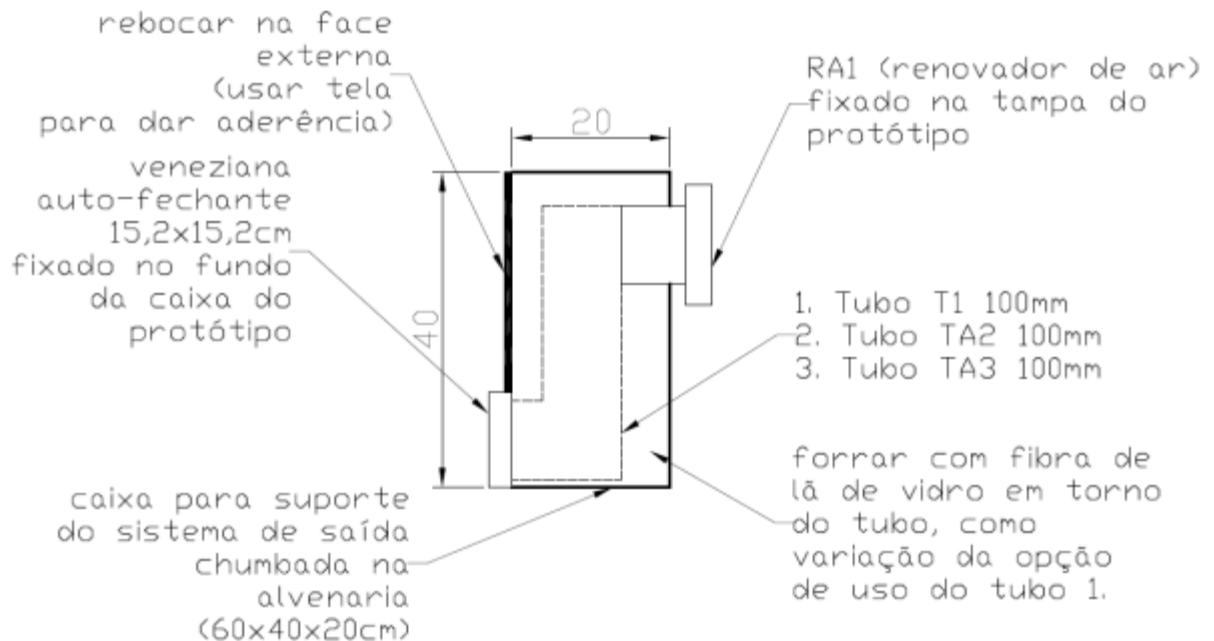


FIGURA 31 – Desenho esquemático do protótipo (corte transversal)

Os itens que compõem este protótipo são basicamente: um renovador de ar, tubos de modelos e materiais variados, veneziana auto-fechante, fibra de lã de vidro e caixa metálica como suporte, conforme observado nas figuras 29 e 30 anteriores.

A seguir estão descritos todos os itens utilizados para a construção deste protótipo.

Para a entrada de ar foi utilizado um renovador de ar, denominado RA1, que tem capacidade de renovação nominal de 80 m<sup>3</sup>/h de acordo com o fabricante, e é recomendado para ambientes de até 5 m<sup>2</sup> (ver APÊNDICE 1 – ficha técnica das peças que compõem o protótipo). O renovador de ar foi fixado na caixa metálica e posicionado na parte interna da câmara de testes. Para o sistema final poderão ser criados sistemas com renovadores de ar de diversas capacidades. A figura 32 ilustra o equipamento descrito.



FIGURA 32 – Renovador de ar modelo 1 (RA1)

Para compor o sistema foram testados três tipos de tubos, com comprimento de aproximadamente 1,5 metros, instalados dentro da caixa metálica em forma de serpentina. A função desta tubulação é permitir a entrada do ar externo para o ambiente interno de forma a minimizar a entrada de ruído.

Os três tubos variam entre si pela sua composição física e recomendação de utilização pelo fabricante. Sendo assim, o primeiro tubo testado é recomendado para utilização em renovadores de ar, e não tem qualidades absorvedoras acústicas. O segundo tubo é um duto poroso com propriedade de conduzir ar com atenuação

acústica, indicado para uso automotivo. E o terceiro é um tubo perfurado, composto por uma camada de absorção termo acústica.

Foram testados três tubos com o objetivo de verificar a influência direta deles na atenuação do ruído, sendo que dois deles foram projetados para este fim.

Foram realizadas medições de nível de pressão sonora, para obter-se a capacidade de isolamento sonoro do sistema.

O primeiro teste com o protótipo foi realizado utilizando-se um tubo aqui denominado T1, com diâmetro interno de 100 mm, conforme a figura 33. Este é um tubo flexível e compactável, utilizado para estabelecer a ligação entre ambiente interno e externo, possibilitando a condução de ar. É recomendado para utilização com os renovadores de ar, como o que está sendo utilizado neste sistema.



FIGURA 33 – Tubo modelo 1 (T1)

Em seguida foi realizado o segundo teste com o protótipo, utilizando-se ainda o tubo T1, agora com a face externa do protótipo rebocada.

O terceiro teste utilizou da mesma forma que os anteriores, o tubo T1, com a face externa do protótipo rebocada, e internamente à caixa metálica, uma camada de fibra de lã de vidro envolvendo o tubo, uma vez que este tubo não tem características de isolamento acústico.

O quarto teste foi realizado utilizando-se como condutor de ar um tubo acústico denominado TA2, conforme a figura 34, de diâmetro interno de 100 mm. Este tubo é flexível e pertence à linha automotiva da indústria A. É um duto poroso com propriedade de conduzir ar com atenuação acústica. Ideal para aplicações onde o sistema de ar passa em regiões de temperatura média e com percurso de curvas

acentuadas. Tem ondas altas que permitem alta absorção de vibração. É recomendado para utilização em sistema de aspiração de ar sujo e ar limpo em automóveis.



FIGURA 34 – Tubo acústico modelo 2 (TA2)

O tubo acústico de modelo 3 (TA3) foi utilizado no quinto teste do protótipo. Este tubo tem igualmente aos demais, diâmetro interno de 100 mm e é representado pela figura 35. Ele é um tubo perfurado, com camada de absorção termo acústica, composto por um conjunto flexível indicado para conduzir o ar atenuando ruídos provocados tanto pelo equipamento quanto pelo fluxo de ar. É recomendado para utilização em equipamentos de ar condicionado.

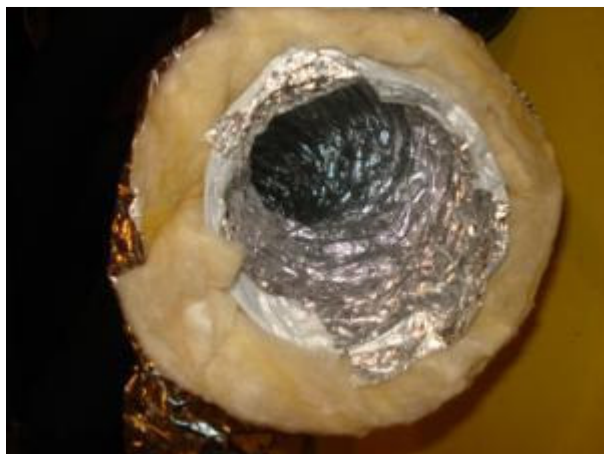


FIGURA 35 – Tubo acústico modelo 3 (TA3)

Para dar acabamento ao tubo de condução de ar, na face externa da caixa do protótipo foi utilizada uma veneziana auto-fechante, medindo 15,2x15,2 cm,

conforme a figura 36. Por ser auto-fechante ela impede o retorno de ar e a entrada de insetos no interior do ambiente.



FIGURA 36 – Veneziana auto-fechante 15,2x15,2 cm

E para dar suporte ao sistema de ventilação foi confeccionada uma caixa medindo 60x40x20 cm, conforme a figura 37.



Vista interna da caixa



Vista interna da tampa da caixa

FIGURA 37 – Caixa metálica de suporte do protótipo

Esta caixa foi confeccionada utilizando-se chapa metálica galvanizada, e faz parte do sistema completo de ventilação, devendo apenas ser chumbada na alvenaria, e em seguida rebocada, dando acabamento.

A figura 38 mostra de forma detalhada os componentes internos da caixa.



Detalhe do encaixe da veneziana auto- fechante



Detalhe do encaixe do renovador de ar RA1



Detalhe do gancho de suporte da tubulação



Detalhe da vedação dos cantos internos

FIGURA 38 – Detalhes internos da caixa metálica de suporte do protótipo

Os cantos internos da caixa foram vedados com espuma expansiva de poliuretano, com o objetivo de maximizar o isolamento acústico.

Da mesma forma, o contorno de encaixe tanto do renovador de ar RA1 quanto da veneziana auto-fechante, e o suporte em “L” da tubulação foram vedados.

Entre a tampa que recebe o renovador de ar RA1 e a caixa metálica é feito uma vedação com borracha de EVA (espuma vinílica acetinada).

Para melhorar o encaixe da tubulação no suporte da veneziana, foi adaptado um tubo de PVC diâmetro 100 mm, com comprimento de aproximadamente 7 cm, conforme se pôde observar na figura 37.

### 3.6.2 Definição da câmara de testes

A câmara de testes tem a função de receber o protótipo, simulando um ambiente real, onde foram executados todos os testes deste experimento.

Alguns cuidados foram tomados quanto à escolha do ambiente para realização dos testes, sendo eles:

- Necessidade de um ambiente inteiramente de concreto, ou então, paredes de alvenaria rebocada;
- Ambiente sem aberturas para o meio externo;
- O piso deve ser de concreto;
- A cobertura, preferencialmente em concreto, ou laje rebocada;
- Ausência de obstáculos no interior da câmara de testes.

A escolha da câmara adequada para realização dos experimentos e o desenvolvimento do projeto e execução do protótipo ocorreram paralelamente.

Quanto à escolha do recinto para servir como câmara de testes, inicialmente planejou-se construir um ambiente especificamente para este fim, onde o controle das variáveis que influenciariam nos resultados seria maior. No entanto, aqui surgiu a primeira limitação, e a ausência de recursos financeiros adequados impossibilitou esta construção.

Então foi realizada uma busca por locais já existentes, onde fosse possível realizar estes testes, mantendo ainda um bom controle de variáveis.

O local escolhido trata-se de um porão residencial, recém construído, e que estava com todas as paredes vedadas, conforme foi descrito anteriormente no item “definição da câmara de testes”, e foi gentilmente cedido pelo proprietário para a realização dos experimentos.

Esta câmara de testes localiza-se na cidade de Curitiba, na Rua Sabina Lupinski, bairro Boa Vista, conforme indicado na figura 39.



FIGURA39 – Localização da câmara de testes na cidade de Curitiba, Paraná  
 FONTE - <http://maps.google.com.br/>

Trata-se de uma região predominantemente residencial, sendo a rua de pouco movimento, o que contribuiu para a escolha do local. Esta área é relativamente silenciosa, com nível de pressão sonora equivalente médio na fachada da câmara de testes de 50,9dB (A). Sempre antes do início de cada ensaio (total de 11 ensaios) foi realizada a medição do ruído do ambiente externo. Estes valores estão em conformidade com a norma brasileira NBR 10151, que estabelece Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, em 55 dB (A), diurno, para o caso de área mista, predominantemente residencial.

O gráfico 01 apresenta o nível de pressão sonora equivalente, medido antes de cada ensaio.

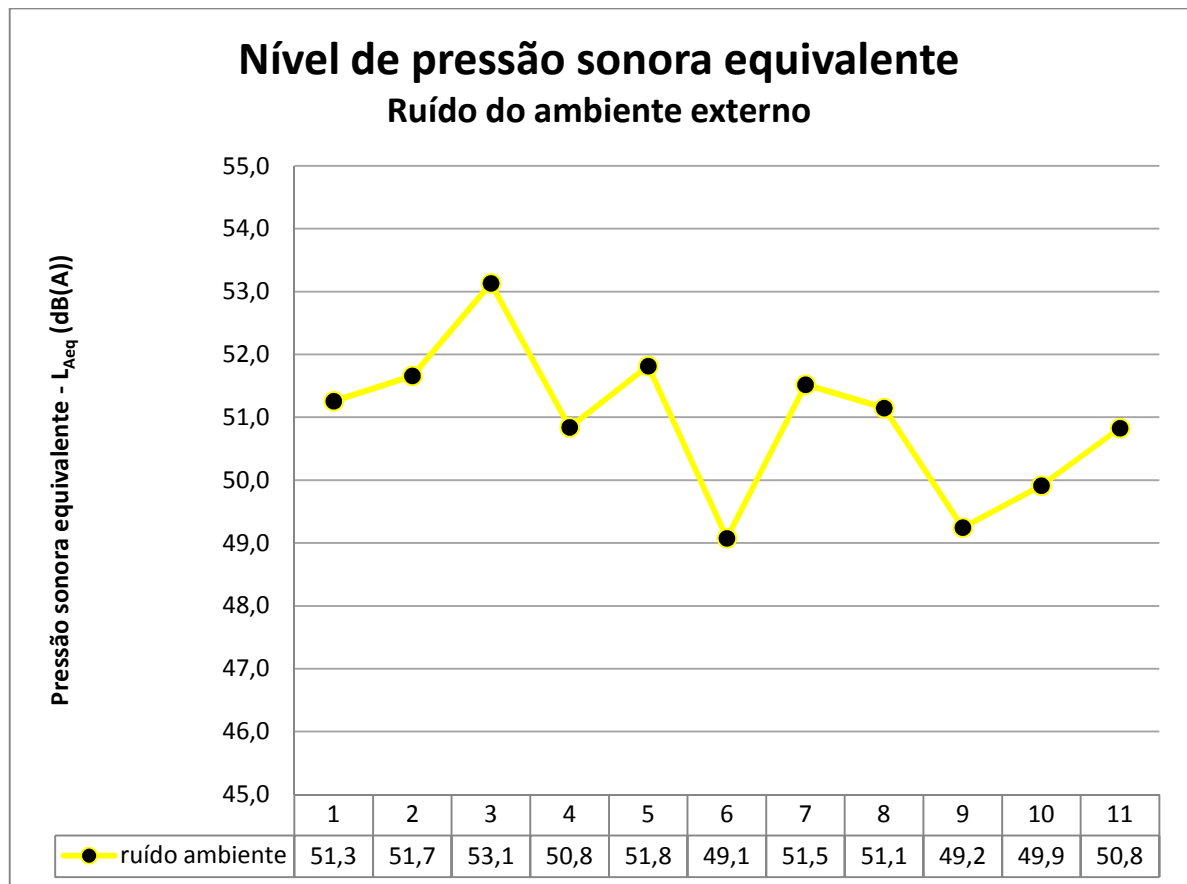


GRÁFICO 01 – Nível de pressão sonora equivalente do ambiente, medido antes de cada um dos 11 ensaios realizados.

No item 4.2. desta pesquisa, denominado *Avaliação do Isolamento Acústico* é feita uma descrição detalhada sobre como foram realizadas as medições de nível de pressão sonora e as respectivas transformações em nível de pressão sonora equivalente.

Sendo assim, a câmara de testes escolhida constitui-se de uma caixa com volume de 14,6 m<sup>3</sup> (2,65x2,75x2,00 m) e 7,3 m<sup>2</sup> de área superficial. Sendo composta por paredes de tijolo cerâmico seis furos, rebocada interna e externamente, com espessura de 15 cm. E uma câmara de acesso, posicionada ao lado da câmara de testes, para receber o protótipo a ser analisado. O piso de ambas as câmaras é de concreto e a cobertura de laje de concreto rebocada.

A figura 40 é um desenho esquemático em planta da câmara de testes e da câmara de acesso.

A parede frontal das câmaras (parede em que foi posicionada a fonte de ruído) é livre. A parede dos fundos (parede que aparece na parte de baixo na figura) está apoiada no solo (porão).

As paredes laterais (lateral esquerda e direita da figura) estão parcialmente apoiadas no solo.

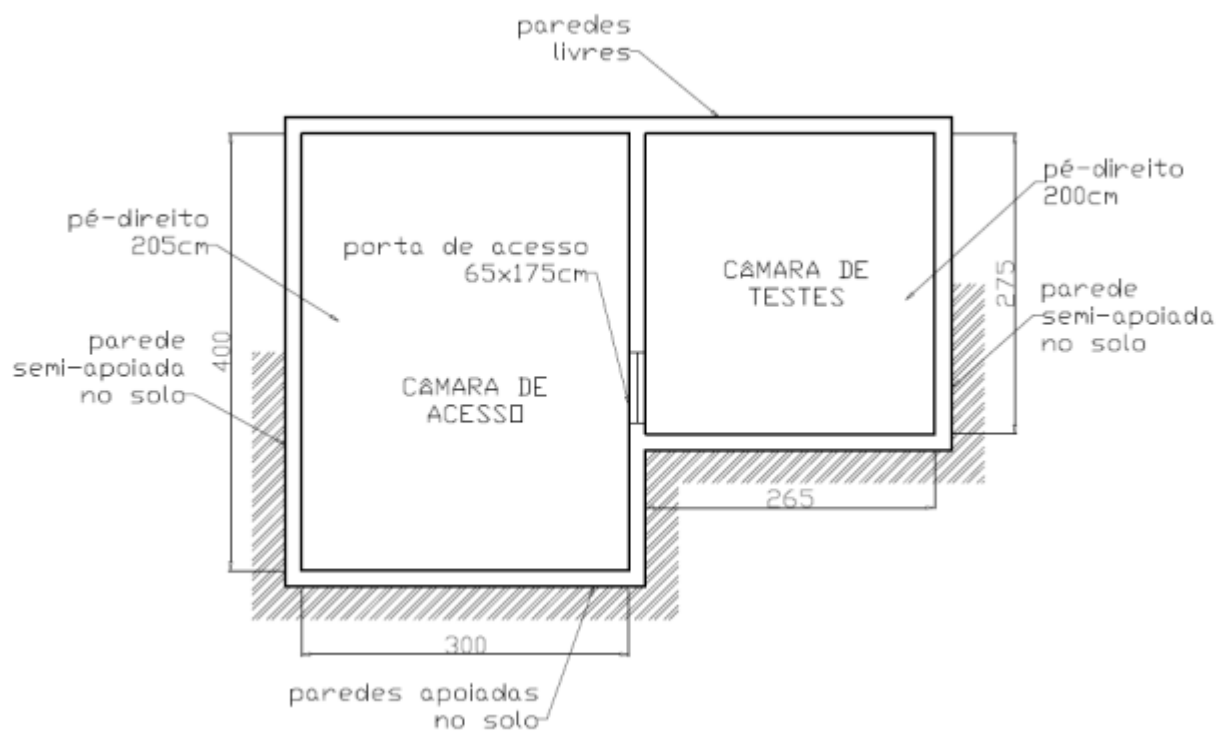


FIGURA 40 – Desenho esquemático da câmara de testes e câmara de acesso

A câmara de testes tem apenas uma abertura para a câmara de acesso, e nenhuma abertura para o exterior. Esta característica foi fundamental na escolha do local para realização dos testes.

Esta abertura consiste em uma porta de metal e vidro com dimensões de 65x175 cm, conforme a figura 41.



Vista da câmara de testes

Vista da câmara de acesso

FIGURA 41 – Abertura para acesso à câmara de testes

O tapume que se encontra ao lado da porta na foto da direita, foi utilizado para vedação da mesma durante as medições, minimizando assim interferências nos resultados. A caixa de passagem existente ao lado da porta também foi vedada, conforme observado na figura 42.



FIGURA 42 – Vedação da abertura de acesso da câmara de testes com tapume

As demais paredes da câmara de testes não têm nenhum tipo de abertura, conforme se observa na figura 43 abaixo.



Vista externa da câmara de testes e de acesso

Vista interna da câmara de testes

FIGURA 43 – Vista externa e interna da câmara de testes

E também na figura 44.



Vista interna da câmara de testes (parede da frente, lado direito)

Vista interna da câmara de testes (parede dos fundos, lado direito)

FIGURA 44 – Vista interna da câmara de testes

Foi executada uma pequena abertura na câmara de acesso (no ponto mais distante da câmara de testes), para possibilitar acesso ao meio interno para manutenção e posicionamento de equipamentos de medição, conforme a figura 45.



Abertura de acesso sendo executada

Abertura de acesso

FIGURA 45 – Execução de abertura na câmara de acesso

Para a realização das medições as aberturas de acesso, tanto na câmara de acesso quanto entre as câmaras, foram vedadas com o uso de tapumes.

### 3.6.3 Protocolo de coleta de dados

Tem como objetivo identificar as etapas da pesquisa levantando questões e hipóteses que podem aparecer no estudo, analisados pela validade de constructo, validade interna e validade externa.

A coleta de dados foi realizada no protótipo construído seguindo diversas etapas, conforme detalhado na sequência:

- a. Finalização do projeto do dispositivo de ventilação silenciada;
- b. Construção do protótipo do equipamento;
- c. Otimização do projeto do protótipo (modelo, diâmetro e comprimento de tubos absorvedores; utilização de isolamento acústico em outras partes; aperfeiçoamento dos sistemas de montagem; aperfeiçoamento da aparência do produto);

- d. Escolha da câmara para realização dos testes;
- e. Escolha de parâmetros variáveis para varredura dos testes, em busca de solução ótima;
- f. Estabelecimento da seqüência dos testes;
- g. Detalhamento do teste de nível de pressão sonora;
- h. Realização do teste de nível de pressão sonora;
- i. Relatório final com análise dos resultados obtidos.

Para a realização das medições, foi posicionada uma fonte sonora de emissão de ruído a dois metros e meio (2,5 m) da fachada, e a medição externa foi feita em três pontos, dois nos limites laterais da amostra e um no centro da mesma, sendo a medição registrada de um minuto em cada ponto, com três leituras, resultando em nove leituras para cada faixa de frequência.

Dentro da câmara de testes foram utilizadas distâncias mínimas de 0,50 m entre cada posição do microfone e os limites da sala, sendo que foram determinados cinco pontos para medição, um no centro da sala e os demais nos cantos. Em cada ponto foram tomadas três medições em leitura no período de um minuto, resultando em quinze medições para cada faixa de frequência.

A figura 46 detalha o método utilizado para realização das medições.

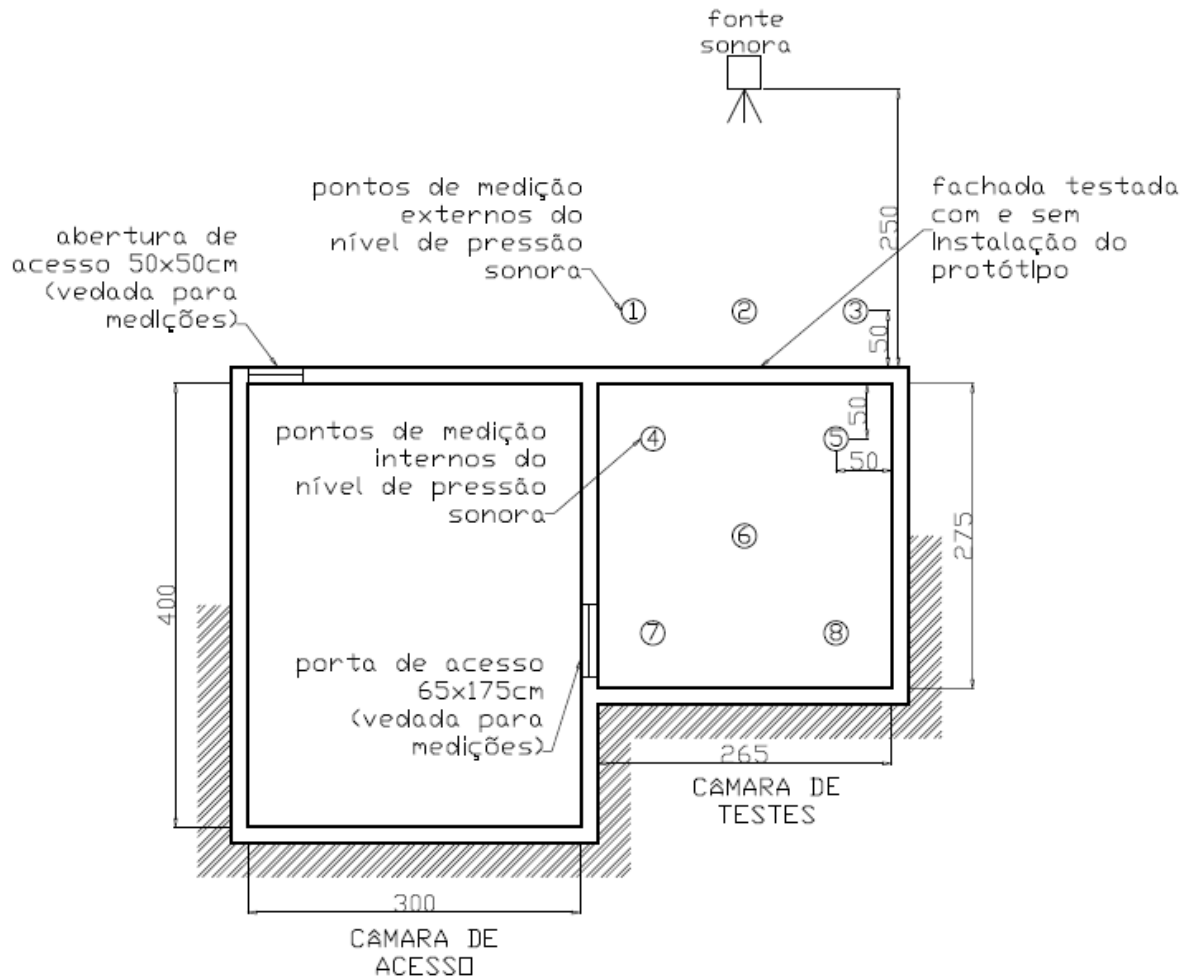
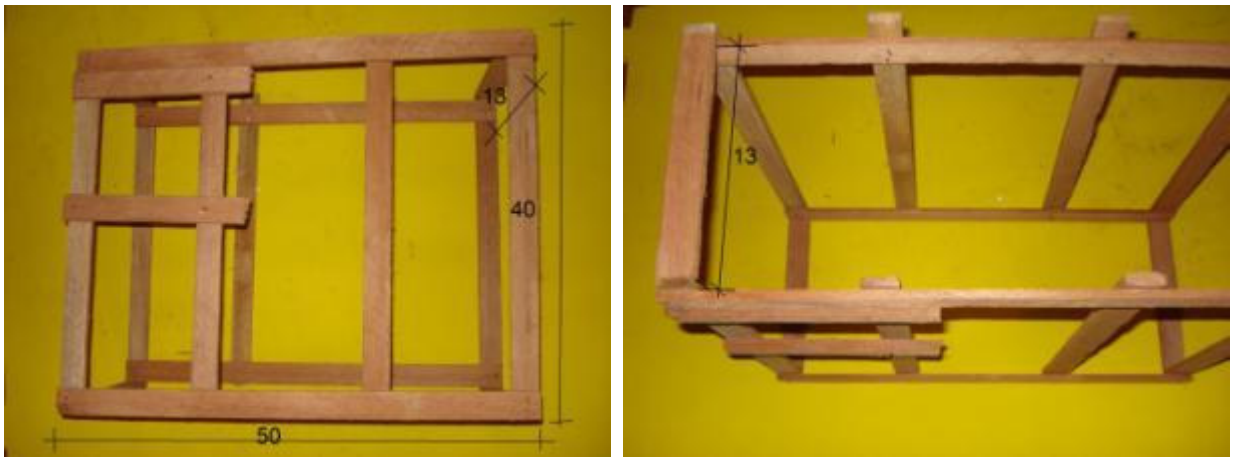


FIGURA 46 – Detalhamento do método de medição nível de pressão sonora

Quanto ao desenvolvimento do protótipo, as principais dificuldades encontradas referem-se às dimensões do mesmo e forma de acesso à parte interna para posicionar a tubulação.

A finalização do projeto do protótipo se deu paralelamente com a construção do mesmo. Sendo assim, com os primeiros desenhos criados, foi construída uma estrutura de madeira medindo 50x40x13 cm, conforme se observa na figura 47, para determinação mais precisa das dimensões da caixa de suporte do sistema de ventilação.



Vista frontal da estrutura

Vista de topo da estrutura

FIGURA 47 – Estrutura de madeira para desenvolvimento do protótipo

A construção desta estrutura foi fundamental para determinar a espessura da caixa, inicialmente projetada em 13 cm.

Esta espessura foi determinada levando em consideração a espessura da tubulação utilizada para conduzir o ar, que é de 100 mm de diâmetro, e da espessura das paredes de alvenaria encontradas nas edificações residenciais.

Segundo a norma brasileira ABNT NBR-15270-1 Componentes cerâmicos parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos, um dos padrões de dimensionamento dos blocos cerâmicos é de 9 cm de largura e altura de 14 cm. Este padrão é bastante encontrado em edificações.

Sendo que, as paredes externas são geralmente executadas com bloco assentado deitado, ou seja, com 14 cm de espessura, a caixa do protótipo com espessura de 13 cm se encaixaria nesta parede, podendo ser rebocada para dar acabamento.

No entanto, quando as peças componentes do sistema foram testadas, observou-se que são necessários no mínimo 20 cm de espessura para a acomodação das mesmas.

Então foi construída a caixa metálica das figuras 48, 49 e 50, medindo 50 cm de comprimento, 40 cm de altura e espessura de 20 cm. O acesso interno, para fixação do renovador de ar RA1, tubulação T1, TA2 e TA3 e veneziana auto-fechante, foi feito por meio de uma porta deslizante.



FIGURA 48 – Vista frontal do protótipo 50x40x20 cm com porta deslizando



FIGURA 49 – Vista dos fundos do protótipo 50x40x20 cm



FIGURA 50 – Vista frontal do protótipo com porta deslizando aberta

Nesta etapa, foram observados problemas quanto à forma de abertura da caixa. O espaço reduzido da abertura prejudica o acesso para fixação do renovador de ar e da tubulação. Também houve problemas quanto ao comprimento da caixa que é de 50 cm quando se utilizou a tubulação acústica TA2. Conforme se observa na figura 51 a seguir, por se tratar de uma tubulação pouco flexível, o pequeno espaço causa estrangulamento na curva.



FIGURA 51 – Tubulação acústica TA2 com estrangulamento na curva

Também o encaixe da tubulação na veneziana não se mostrou adequado e confiável, conforme mostra a figura 52.



Tubulação encaixada na veneziana

Suporte original da veneziana

FIGURA 52 – Suporte da veneziana para encaixe da tubulação

Para solucionar os problemas descritos anteriormente, optou-se pela substituição da caixa metálica por outra, nova.

Sendo assim, a abertura da nova caixa é feita através de uma tampa de encaixe parafusada no corpo da caixa. O comprimento da caixa passou de 50 cm para 60 cm e a veneziana auto-fechante recebeu um adaptador feito com uma peça de tubulação de PVC de diâmetro 100 mm e comprimento de 7 cm, conforme descrito no item 3.6.1. denominado *definição do protótipo*.

## 4 EXPERIMENTOS

Este capítulo tem como objetivo detalhar como foram executados todos os experimentos do projeto.

Assim são detalhados todos os instrumentos de medição utilizados no experimento, e posteriormente detalha como foi executada a avaliação do isolamento sonoro.

### 4.1 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

O equipamento utilizado para medir os Níveis de Pressão Sonora (SPL) foi o medidor de nível de pressão sonora modelo DL-4020, marca Icel (figura 53), que segue o padrão das normas IEC-651 tipo 2 e ANSI S1.4 tipo 2, obedecendo o estipulado na norma brasileira ABNT NBR 10151.



FIGURA 53 – Medidor de nível de pressão sonora DL-4020 marca Icel, utilizado no ensaio

Este equipamento possui funções de medição do nível de pressão sonora, com precisão de  $\pm 1,5\text{dB}$  (94 dB/ 1 KHz).

Para as medições de pressão sonora foi utilizada a curva de resposta A, e tempo de resposta rápida (*Fast*). As medições feitas na área externa (em frente à câmara de testes) foram feitas com protetor de microfone, para prevenir o efeito de ventos.

O equipamento veio com calibração de fábrica e o ciclo de calibrações é de 1 ano. A aquisição do mesmo foi feita em 19 de agosto de 2010 especialmente para realizar as medições desta pesquisa pelo professor Dr. Aloísio Leoni Schmid.

Para a amplificação do som foram utilizadas duas caixas acústicas marca Riote e um *mixer* amplificado modelo RX-405 marca Riote (figura 54) pertencentes ao Laboratório de Ambiente Construído (LAC) do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Paraná.



FIGURA 54 – Equipamentos utilizados nos ensaios

Para a geração de ruído foi utilizado um computador portátil, conectado ao mixer e às caixas acústicas.

Com o auxílio do programa *Multi Tone Generator*, um software gerador de freqüências sonoras, foram produzidas ondas sonoras em forma de sino (senoidal), num espectro de freqüência em banda 1/1 de oitava entre 63 e 8000 Hz.

A escolha destas freqüências se deve ao fato de o ruído de tráfego rodoviário, uma das principais fontes geradoras de ruído em ambientes residenciais localizados

em áreas de concentração elevada de ruídos, tem a característica de abranger uma grande faixa de frequências, de acordo com Salis *et al.* (2001).

#### 4.2 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO

Para a avaliação do isolamento acústico foi utilizada a norma brasileira ABNT NBR 10151- Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.

Sendo que o aparelho utilizado nas medições mede o nível de pressão sonora em A (dB (A)), foi feito o cálculo do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ), de acordo com a expressão abaixo, conforme instruções da norma ABNT NBR 10151:

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

Onde:

$L_i$  é o nível de pressão sonora, em dB (A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído;

$n$  é o número total de leituras.

A transformação do nível de pressão sonora medido para um nível de pressão sonora equivalente é necessária, pois os valores medidos representam valores momentâneos da variação de pressão atmosférica devido à vibração causada pelo som emitido. Portanto, para se ter um valor que represente a “média” dos ruídos, é necessário o uso do nível equivalente sonoro  $L_{eq}$  ponderado em A ( $L_{Aeq}$ ), e não simplesmente a média aritmética dos valores obtidos.

O nível sonoro equivalente é um nível constante que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído, durante o período de medição. Assim, é definido um valor único, chamado nível equivalente de pressão sonora,  $L_{eq}$  ponderado em A, que é o nível sonoro médio integrado durante um intervalo de tempo.

Sendo assim, o nível sonoro equivalente, ou nível de pressão sonora equivalente é o valor apresentado nos gráficos dos resultados das medições realizadas nesta pesquisa.

A primeira medição foi realizada em frente à câmara de testes para identificar o ruído externo, e a segunda medição identificou o ruído dentro da câmara, com as paredes vedadas, conforme indicado na figura 55.



Medição na fachada da câmara de testes

Fonte sonora posicionada para medição

FIGURA 55 – Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 1 e 2

Em seguida, foi executada uma pequena abertura de cerca de 110 mm de diâmetro, conforme a figura 56 e realizada nova medição. A quarta medição foi realizada com o renovador de ar RA1 instalado diretamente na fachada da câmara de testes.



Abertura para instalação do renovador de ar RA1      Renovador de ar RA1 instalado  
 FIGURA 56 – Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 3 e 4

A figura 57 é uma vista do lado externo, com o renovador de ar RA1 instalado (lado interno) e veneziana auto-fechante instalada no lado externo. A fixação do RA1 e da veneziana foi feita com uso de espuma expansiva de poliuretano, e a ligação entre as duas peças foi executada com o uso do tubo T1.



Veneziana auto-fechante instalada      Fonte sonora  
 FIGURA 57 – Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 4

Em seguida foi executada uma abertura de aproximadamente 60 cm de largura por 40 cm de altura, para posteriormente instalar-se o protótipo. Sendo assim, a figura 58 mostra a quinta medição, que foi realizada com a abertura do protótipo.



Requadramento da abertura para instalação do protótipo

Abertura para instalação do protótipo

FIGURA 58 – Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 5

Com a conclusão da quinta medição, iniciaram-se as medições com o protótipo instalado, com variações conforme já descrito anteriormente. Portanto, a sexta medição (primeira do protótipo) refere-se ao protótipo instalado, com o uso da tubulação T1, sem uso de fibra de lã de vidro e sem reboco na caixa metálica, conforme se observa na figura 59.



Vista externa do protótipo instalado – sem reboco      Vista interna do protótipo instalado  
 FIGURA 59 – Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 6

A fixação do protótipo na abertura da alvenaria foi executada com o uso de espuma de poliuretano expandido em todo o contorno, tomando-se o cuidado de preencher todos os espaços. A figura 60 é uma imagem detalhada desta fixação.

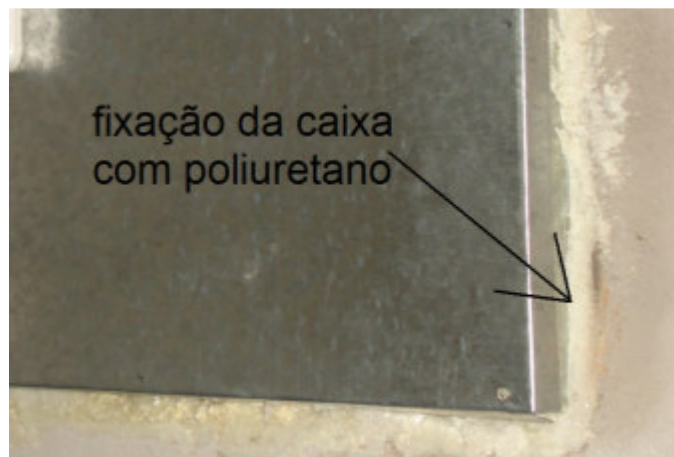


FIGURA 60 – Detalhe da fixação do protótipo na alvenaria

A figura 61 refere-se ainda à sexta medição, onde é observado o posicionamento da tubulação T1, aqui denominado de protótipo 1 (PR1).



FIGURA 61 – Posicionamento da tubulação T1 para medição 6 (PR1) e 7 (PR2)

A sétima medição (protótipo 2 – PR2) manteve a mesma configuração interna do protótipo, sendo que a variação se deve à aplicação de reboco na face externa da caixa metálica, conforme visto na figura 62.



Execução de reboco na face externa da caixa      Face externa da caixa metálica rebocada  
 FIGURA 62 – Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 7 (PR2)

A oitava medição (protótipo 3 – PR3) teve como diferença a instalação de fibras de lã de vidro no interior da caixa metálica, envolvendo inteiramente a tubulação T1, conforme visto na figura 63.



Fibra de lã de vidro sendo posicionada

Tubulação T1 envolta em fibra de lã de vidro

FIGURA 63 – Medição do nível de pressão sonora na fachada da câmara de testes – medição 8 (PR3)

A nona medição (protótipo 4 - PR4) substituiu a tubulação T1 pela tubulação acústica TA2, sem o uso de fibra de lã de vidro, porém mantendo o reboco na face externa da caixa metálica, conforme observado na figura 64.



FIGURA 64 – Posicionamento da tubulação TA2 para medição 9 (PR4)

Após a substituição da tubulação TA2 pela tubulação TA3 foi realizada a décima medição (protótipo 5 – PR5), que manteve as demais características da medição anterior. A figura 65 abaixo é uma imagem da caixa metálica aberta, com a tubulação TA3 sendo posicionada.



FIGURA 65 – Posicionamento da tubulação TA3 para medição 10 (PR5) e 11 (PR6)

Cabe ressaltar que todas as medições realizadas até este momento, tanto do renovador de ar RA1, quanto do protótipo com todas as suas variações, foram realizadas com o renovador de ar ligado em energia elétrica. Sendo assim, a décima primeira (protótipo 6 – PR6), e última medição realizada, teve como objetivo verificar a influência que este renovador de ar causa na curva de pressão sonora.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados neste item referem-se à descrição do desempenho acústico do protótipo desenvolvido nesta pesquisa, com suas variações. Também estão descritos os desempenhos da parede fechada, da abertura para instalação do renovador de ar RA1 e da abertura para instalação do protótipo.

As medições de nível de pressão sonora por faixa de frequência foram registradas em planilhas no *software Excel*, conforme o apêndice 2 (planilhas com resultados das medições de nível de pressão sonora).

Após o registro dos valores medidos, os dados foram trabalhados, obtendo-se os níveis de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ) conforme detalhado no item *Avaliação do Isolamento Acústico*, e então foram gerados gráficos, apresentados a seguir, com estes resultados, de acordo com a frequência utilizada.

Nestes gráficos, encontram-se os resultados de cada variação do protótipo, comparado com o resultado medido na área externa, e com o desempenho acústico da parede fechada e da parede com abertura de 60x40cm.

Assim, o gráfico 02 apresenta o resultado para o protótipo 1 (PR1), comparando-o com os demais desempenhos descritos anteriormente.

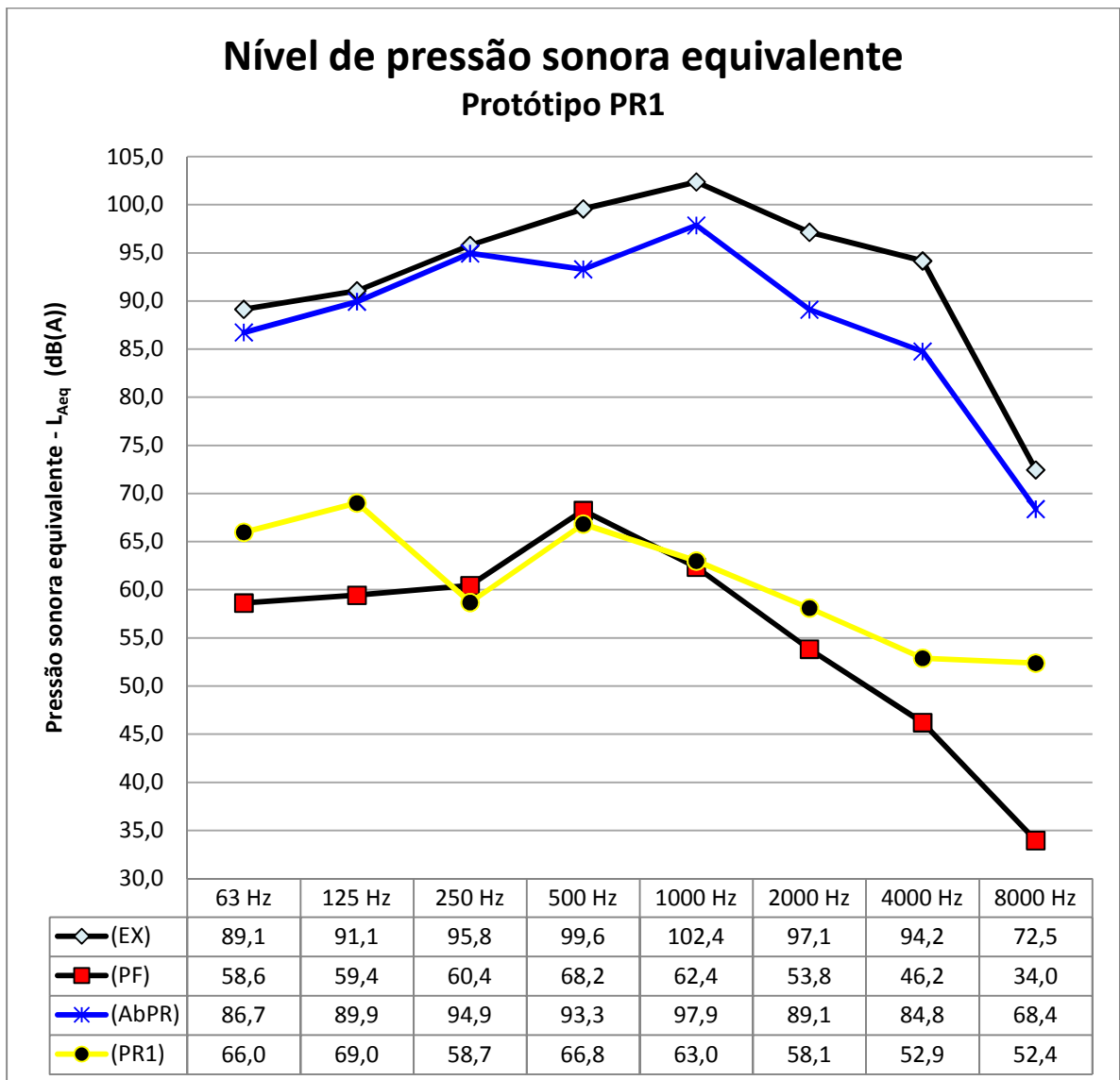













GRÁFICO 02 – Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR1, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR)

O quadro 01 auxilia na identificação das linhas representadas no gráfico da tabela 01 e dos demais gráficos detalhados posteriormente.

ITEM	LEGENDA
 (EX)	Externo (medição 1)
 (PF)	Interno - parede fechada (medição 2)
 (AbV1)	Interno - abertura para instalação do ventilador (medição 3)
 (V1)	Interno - ventilador instalado (medição 4)
 (AbPR)	Interno - abertura de 60x40cm para instalação do protótipo (medição 5)
 (PR1)	Interno - protótipo instalado - tubo 1, sem manta, sem reboco (medição 6)
 (PR2)	Interno - protótipo instalado - tubo 1, sem manta, com reboco externo (medição 7)
 (PR3)	Interno - protótipo instalado - tubo 1, com manta, com reboco externo (medição 8)
 (PR4)	Interno - protótipo instalado - tubo 2, sem manta, com reboco externo (medição 9)
 (PR5)	Interno - protótipo instalado - tubo 3, sem manta, com reboco externo (medição 10)
 (PR6)	Interno - protótipo instalado - tubo 3, sem manta, com reboco externo, ventilador desligado (medição 11)

QUADRO 02 – Legenda das linhas representadas nos gráficos de nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ )

A análise do gráfico 02, deixa evidenciado, como era de se esperar, que o nível de pressão sonora equivalente na área externa registrou os maiores valores, sendo que para a frequência de 1000 Hz obteve-se o valor de 102,4 dB(A). A pressão sonora equivalente dentro da câmara de testes, com a abertura de 60x40 cm registrou valores próximos aos encontrados na área externa, tendo uma variação máxima entre os valores registrados no externo e interno de 9,4 dB(A) para a frequência de 4000 Hz, e mínima de 0,8 dB(A) para 250 Hz.

No entanto, quando a comparação é feita entre a medição externa e a interna com a parede fechada, então se tem uma variação grande, sendo a máxima registrada de 48,0 dB(A) na frequência de 4000 Hz, e mínima de 30,5 dB(A) na frequência 63Hz.

Ao se comparar os valores encontrados na medição realizada dentro da câmara de testes com a parede fechada, e a medição com o protótipo PR1 instalado, observa-se que os valores registrados são próximos para algumas frequências, alterando a ordem em algumas delas. Assim, para as frequências de

250 Hz e 500 Hz, os valores para o protótipo foram menores do que os encontrados para a parede fechada, sendo a diferença 1,8 dB(A) e 1,4 dB(A), respectivamente. Também, para a frequência de 1000 Hz encontrou-se valor muito próximo entre as duas medições (o protótipo PR1 manteve-se com 0,6 dB(A) acima da parede fechada). Para as demais frequências houve diferenças maiores, sendo que para 8000 Hz, a diferença foi de 18,4 dB(A), que pode ser considerada grande.

O valor máximo de  $L_{Aeq}$  encontrado para o PR1 foi de 69,0 dB(A) na frequência de 125 Hz, e o valor mínimo encontrado foi de 52,4 dB(A) na frequência de 8000 Hz.

As maiores diferenças entre os resultados para o PR1 e a parede fechada se encontram nas frequências mais baixas (63 e 125 Hz) e nas mais altas (2000 a 8000 Hz). As menores diferenças estão entre 250 e 1000 Hz.

Para as frequências mais altas (4000 Hz e 8000 Hz), é possível observar que a curva do gráfico muda de inclinação, sinalizando alguma interferência. Para estas frequências, o nível de pressão sonora equivalente aumenta um pouco, em relação à sua tendência. Este fenômeno pode ser explicado pelo fato de o renovador de ar RA1 estar ligado, e assim o ruído do motor interferiu nos resultados.

Quando se analisou os valores de nível de pressão sonora equivalente do protótipo PR2, comparando-o com os resultados da medição externa, interna com parede fechada e interna com a abertura do protótipo, obteve-se o gráfico 03.

Os níveis de pressão sonora equivalente para a medição realizada na área externa e dentro da câmara de testes com a parede fechada se repetem em todos os gráficos, e servem para auxiliar na leitura dos demais valores obtidos.

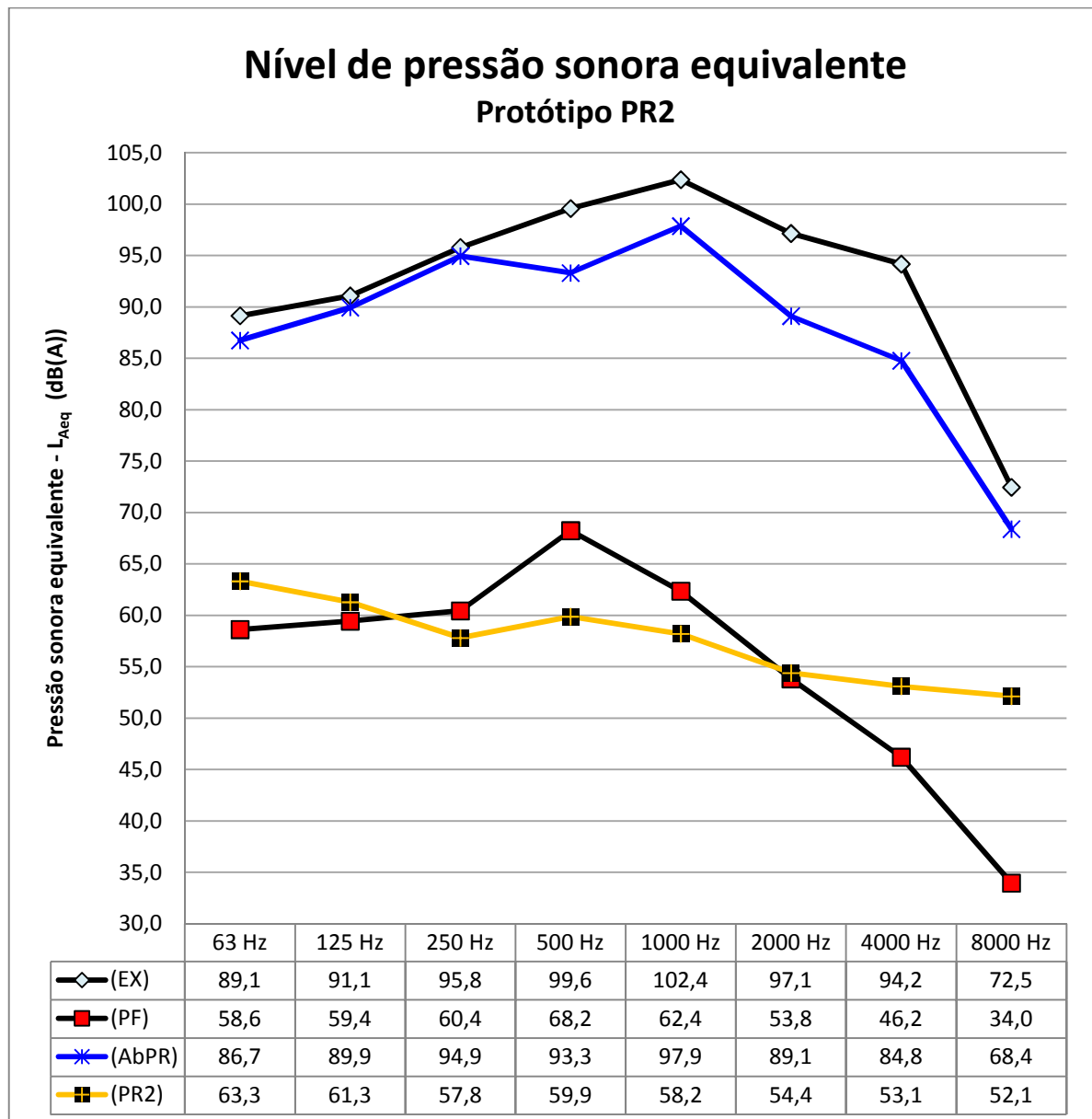


GRÁFICO 03 – Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR2, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR)

A comparação entre os valores encontrados na medição realizada dentro da câmara de testes com a parede fechada, e a medição com o protótipo PR2 instalado, repetiu os resultados encontrados para o protótipo PR1 no que diz respeito a registrar valores de pressão sonora equivalente inferiores. No entanto, neste caso, as frequências de 250, 500 e 1000 Hz registraram valores inferiores. A diferença foi de 2,6 dB(A), 8,4 dB(A) e 4,2 dB(A), respectivamente. Também, para a frequência de 2000 Hz encontrou-se valor muito próximo entre as duas medições (o protótipo PR2 manteve-se com 0,6 dB(A) acima da parede fechada). Para as demais

freqüências houve diferenças maiores, sendo que para 8000 Hz, a diferença foi de 18,2 dB(A).

O valor máximo de  $L_{Aeq}$  encontrado para o PR2 foi de 63,3 dB(A) na frequência de 63 Hz, e o valor mínimo encontrado foi de 52,1 dB(A) na frequência de 8000 Hz.

As maiores diferenças entre os resultados para o PR2 e a parede fechada se encontram na frequência de 63 Hz e 4000 e 8000 Hz. Também a frequência de 500 Hz apresentou uma grande diferença (8,4 dB(A)), no entanto, trata-se de valor inferior ao encontrado na parede fechada. As menores diferenças estão em 125 e 250 Hz, e 2000 Hz.

Novamente foi possível observar o fenômeno de mudança de inclinação na curva para as frequências entre 4000 Hz e 8000 Hz, reforçando a interferência do ruído do motor do renovador de ar RA1.

Os valores de nível de pressão sonora equivalente do protótipo PR3 estão registrados no gráfico 04.

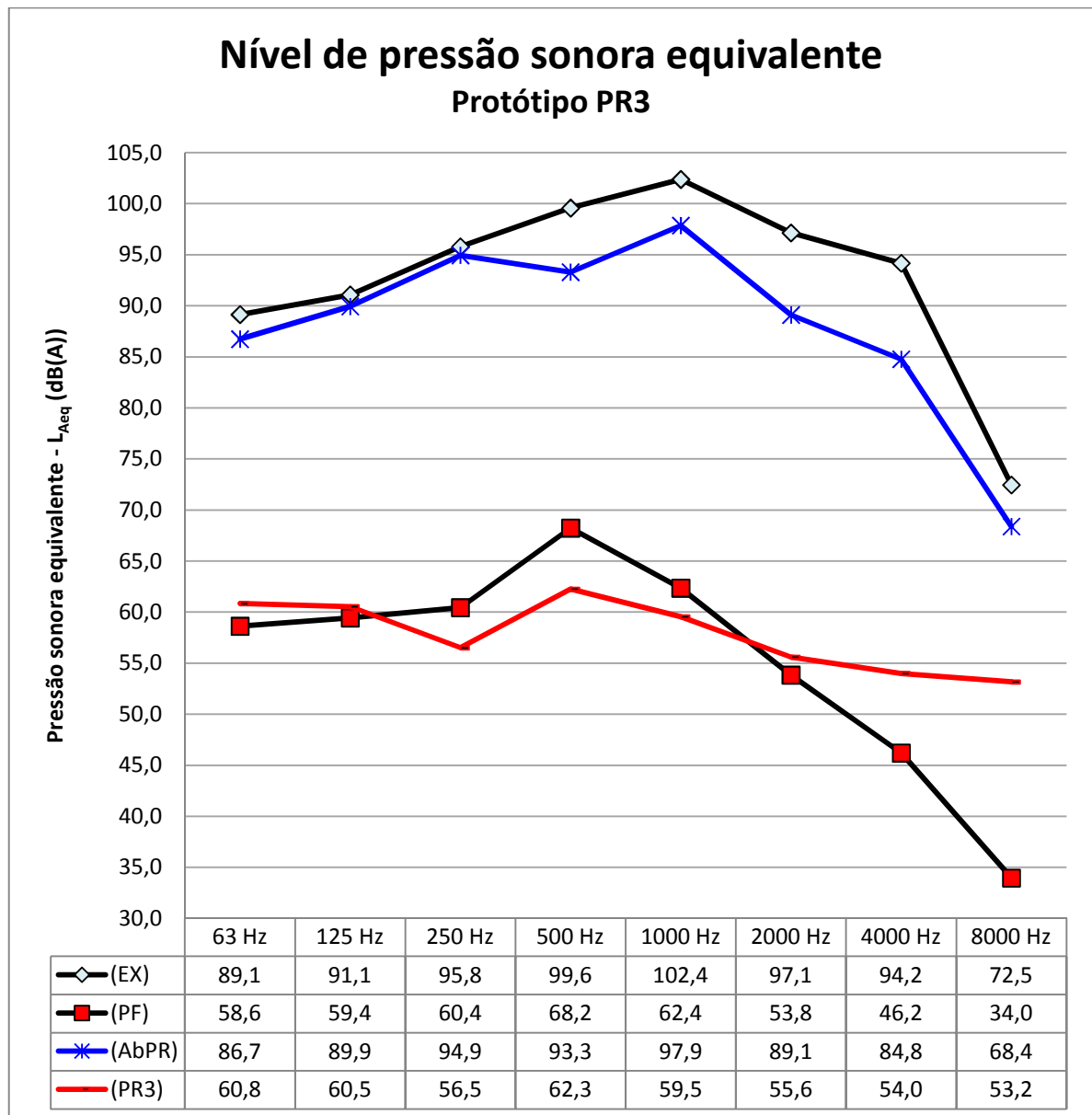


GRÁFICO 043 – Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR3, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR)

Assim como para os protótipos PR1 e PR2, também o protótipo PR3 registrou valores de pressão sonora inferiores aos da câmara com a parede fechada, para uma faixa de frequência intermediária. Para o PR3, os valores inferiores foram registrados nas frequências de 250 Hz (3,9 dB(A)), 500 Hz (6,0 dB(A)) e 1000 Hz (2,8 dB(A)). Comportamento similar foi registrado para o protótipo 2. Para as demais frequências a  $L_{Aeq}$  ficou acima dos valores da parede fechada, sendo que para 8000 Hz, a diferença foi de 19,2 dB(A).

O valor máximo de  $L_{Aeq}$  encontrado para o PR3 foi de 62,3 dB(A) na frequência de 500 Hz, e o valor mínimo encontrado foi de 53,2 dB(A) na frequência de 8000 Hz.

As maiores diferenças entre os resultados para o PR3 e a parede fechada se encontram nas de 4000 e 8000 Hz.

Como os protótipos PR1, PR2 e PR3 referem-se ao uso com a mesma tubulação T1, alterando apenas entre uso de reboco na face externa da caixa metálica (entre PR1 e PR2) e adicionando a isto o uso de fibra de lã de vidro para o PR3, fez-se uma comparação direta entre estas três opções.

Sendo assim, o gráfico 05 faz um comparativo entre estas três opções.

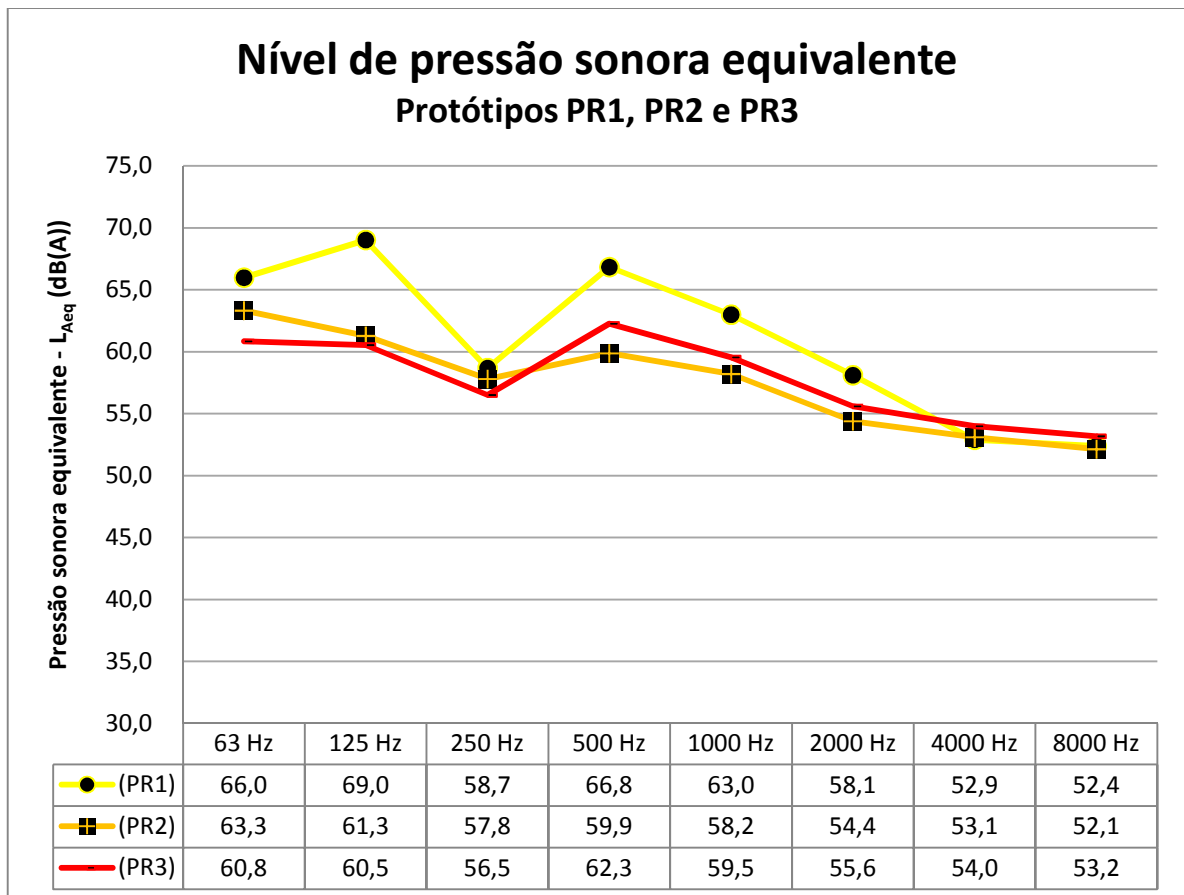


GRÁFICO 05 – Nível de pressão sonora equivalente para os protótipos PR1, PR2 e PR3

O uso de reboco na face externa da caixa metálica (PR2) reduziu a passagem de ruído na maioria das frequências. A exceção se dá para a frequência de 250 Hz, em que a redução foi de apenas 0,9 dB(A), e para a frequência de 8000 Hz, que

teve redução de 0,3 dB(A). Já para a frequência de 4000 Hz, houve um pequeno aumento (0,2 dB(A)).

A maior redução do  $L_{Aeq}$  se deu nas frequências de 125 e 500 Hz onde a diferença, quando comparado com o PR1, é de 7,7 dB(A) e 7,0 dB(A), respectivamente.

Portanto, pode-se concluir que o uso de reboco na face externa da caixa metálica favoreceu o protótipo, e pode ser indicado.

Quando se adiciona ainda a fibra de lã vidro (PR3), tem-se a configuração de um protótipo com a tubulação T1, reboco na face externa e caixa forrada internamente com fibra de lã de vidro.

A análise do gráfico 05 e dos números revela que esta configuração (PR3) trouxe redução apenas para as frequências mais baixas, sendo de 2,5 dB(A) (63 Hz), 0,7 dB(A) (125 Hz) e 1,3 dB(A) (250 Hz). Para as frequências acima de 500 Hz, houve, ao contrário, um aumento no  $L_{Aeq}$ , sendo o máximo aumento registrado de 2,4 dB(A) em 500 Hz.

Segundo Almeida (2009), pode-se calcular o nível de pressão sonora equivalente  $L_{Aeq}$  em frequência. Assim, obtém-se um valor médio para cada protótipo, independente da frequência. Como já foi calculado o nível de pressão sonora equivalente ao longo do tempo, realizou-se uma média simples para encontrar o  $L_{Aeq}$  em frequência.

Desta forma, tem-se que para o protótipo PR1 o valor é de 60,9 dB(A). Para o protótipo PR2, 57,5 dB(A). Portanto, a diferença entre estes dois protótipos reforçou a indicação do uso de reboco na face externa.

No entanto, para o protótipo PR3 encontrou-se o valor de 57,8 dB(A), valor um pouco acima do encontrado para o PR2, auxiliando na análise do gráfico realizada anteriormente. Estes valores indicam que o uso de fibra de lã de vidro não é justificado, por não trazer contribuições significativas para a redução da passagem do ruído.

Seguindo nas análises dos protótipos executados nos experimentos, tem-se o gráfico 06, onde estão registrados os valores de nível de pressão sonora equivalente do protótipo PR4.

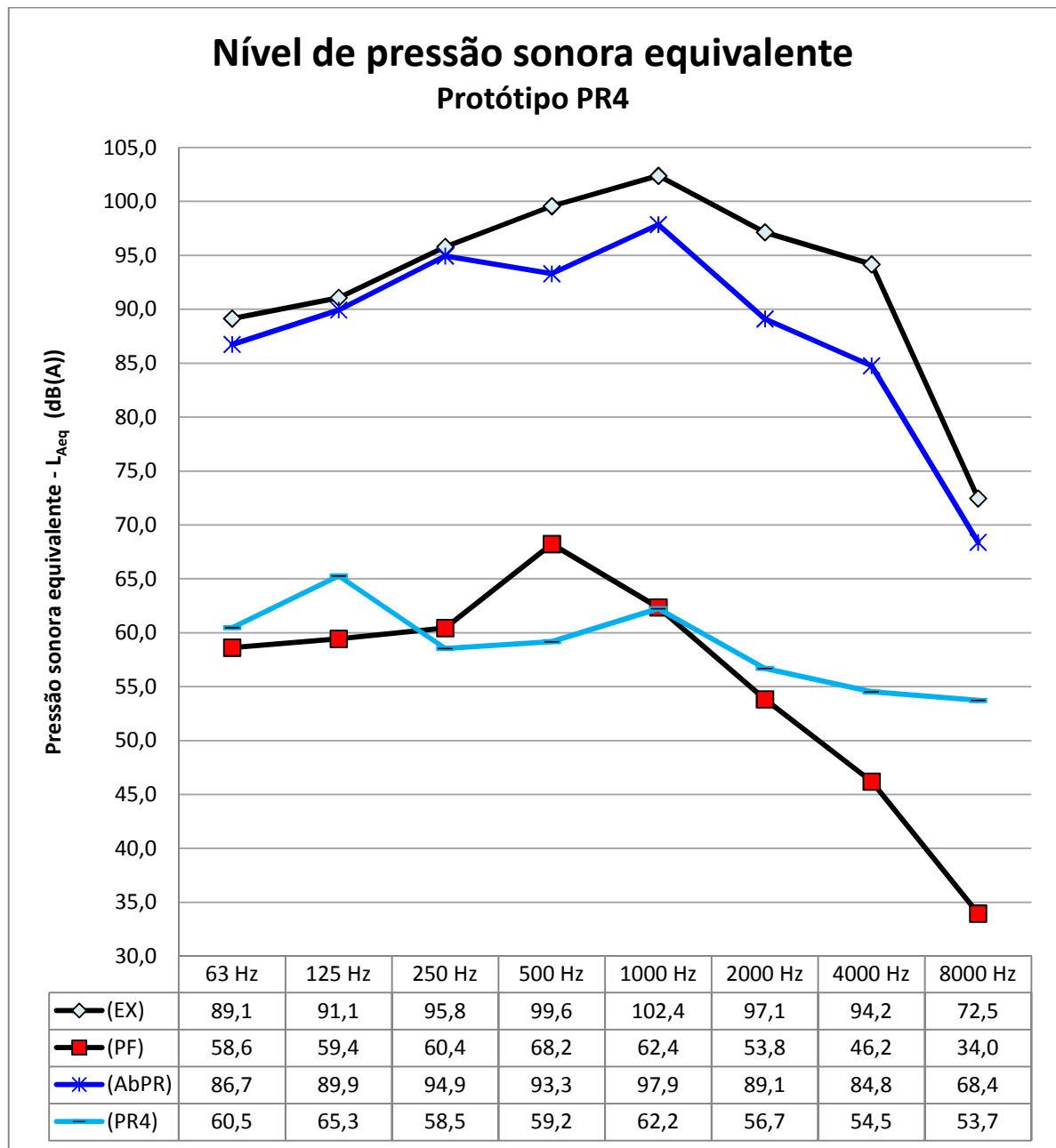


GRÁFICO 06 – Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR4, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR)

O protótipo PR4 manteve o reboco na face externa da caixa metálica e substituiu a tubulação T1 pela tubulação TA2, já descrita neste documento. Esta tubulação não usou fibra de lã de vidro.

A análise do gráfico 06 mostra um comportamento similar aos já encontrados nos protótipos analisados anteriormente, onde houve um nível de pressão sonora equivalente inferior ao da parede fechada para algumas frequências. Para o PR4, os

valores inferiores foram registrados nas frequências de 250 Hz (1,9 dB(A)), 500 Hz (9,1 dB(A)) e 1000 Hz (0,1 dB(A)). Para as demais frequências a  $L_{Aeq}$  ficou acima dos valores da parede fechada, sendo que para 8000 Hz, a diferença foi de 19,8 dB(A).

O valor máximo de  $L_{Aeq}$  encontrado para o PR4 foi de 65,3 dB(A) na frequência de 250 Hz, e o valor mínimo encontrado foi de 53,7 dB(A) na frequência de 8000 Hz.

No gráfico 07 estão registrados os valores de nível de pressão sonora equivalente do protótipo PR5.

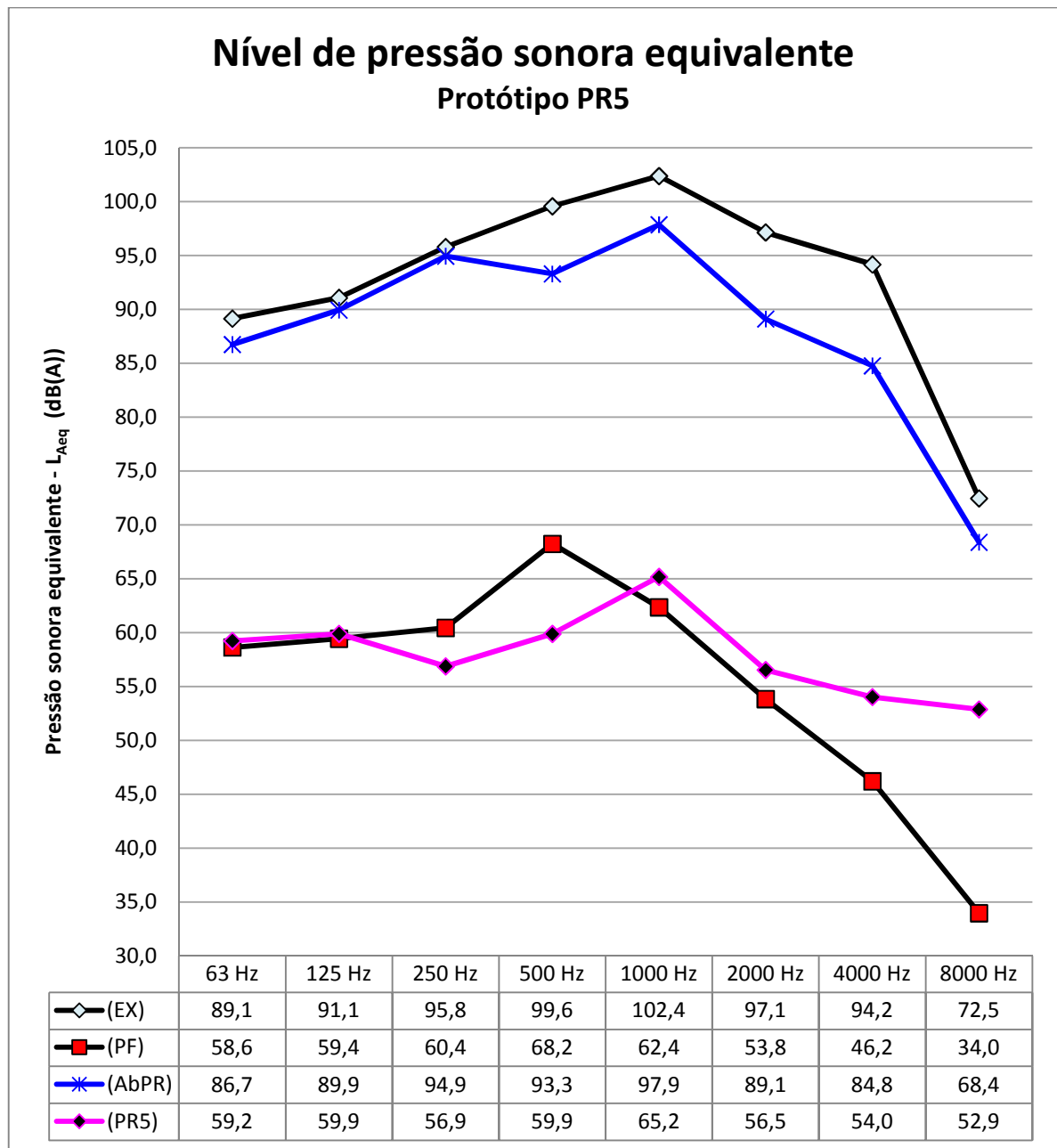


GRÁFICO 07 – Nível de pressão sonora equivalente para o protótipo PR5, comparado com lado externo (EX), parede fechada (PF) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR)

O protótipo PR5 teve como alteração em relação ao protótipo PR4 a substituição do tubo TA2 pelo tubo TA3.

A análise do gráfico 07 mostra novamente comportamento similar aos já encontrados nos protótipos analisados anteriormente. Para o PR5, os valores inferiores de  $L_{Aeq}$  em relação à parede fechada foram registrados nas frequências de 250 Hz (3,6 dB(A)), 500 Hz (8,4 dB(A)). Para as frequências de 63 Hz e 125 Hz

foram registrados valores levemente superiores, sendo a diferença de 0,6 dB(A) e 0,5 dB(A), respectivamente. Para as demais frequências o  $L_{Aeq}$  ficou acima dos valores da parede fechada, sendo que para 8000 Hz, a diferença foi de 18,9 dB(A).

O valor máximo de  $L_{Aeq}$  encontrado para o PR5 foi de 65,2 dB(A) na frequência de 1000 Hz, e o valor mínimo encontrado foi de 52,9 dB(A) na frequência de 8000 Hz.

Quando se calcula o nível de pressão sonora equivalente em frequência, tem-se para o protótipo PR4 o valor de 58,8 dB(A), e para o protótipo PR5 o valor de 58,1 dB. Então, analisando-se estes valores, e comparando as curvas geradas nos gráficos, conforme o gráfico 08, conclui-se que o PR2 tem a curva mais harmônica, seguida do PR3 e PR5. Portanto, o protótipo PR2 teve o melhor desempenho geral.

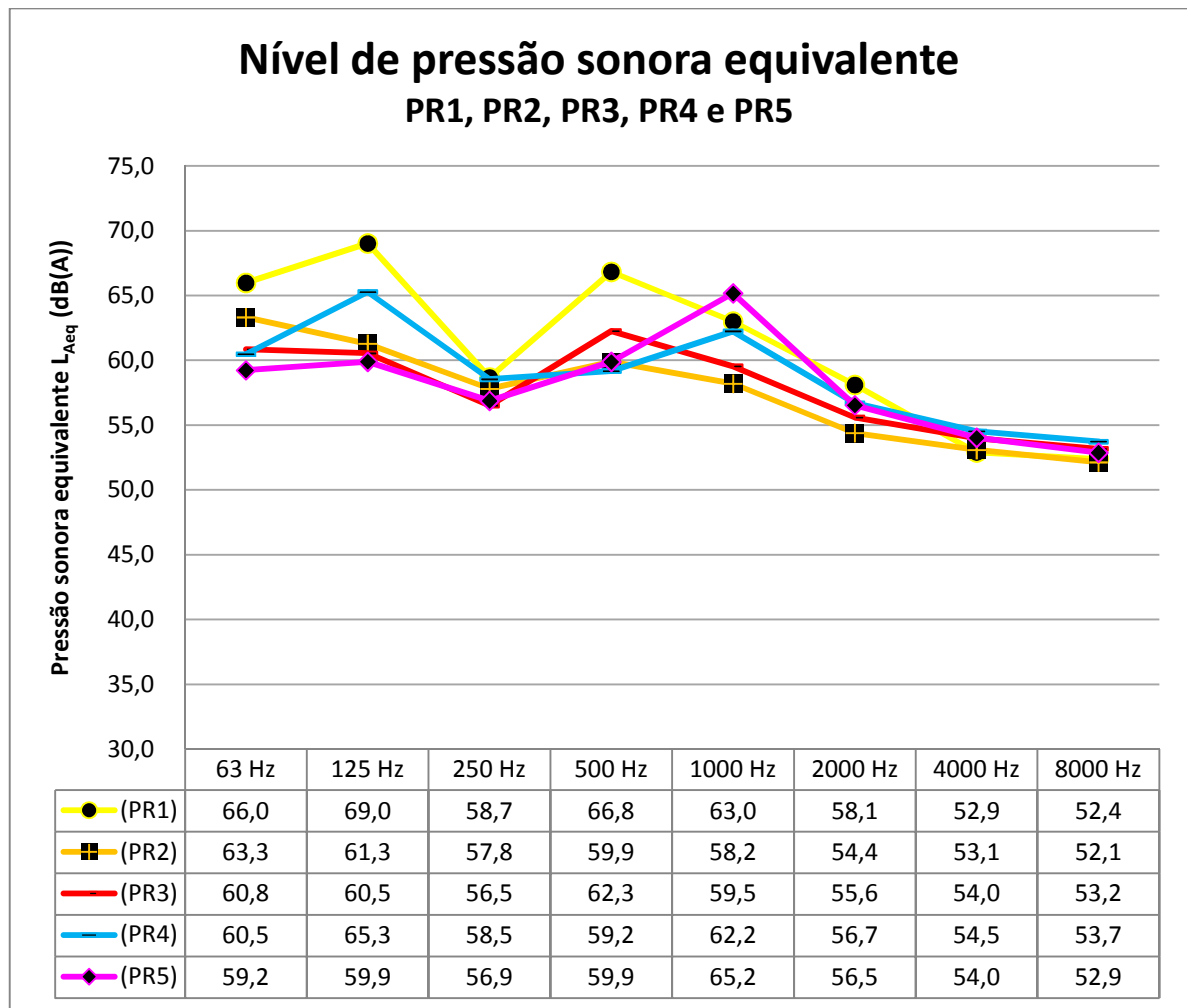


GRÁFICO 08 – Nível de pressão sonora equivalente para os protótipos PR1, PR2, PR3, PR4 e PR5

Uma característica marcante, já citada anteriormente, e encontrada em todos os protótipos já analisados (PR1 a PR5) é o afastamento das curvas em relação à curva da parede fechada (PF) para as frequências de 4000 e 8000 Hz, sendo que nestas frequências o  $L_{Aeq}$  aumenta. Como já observado, as maiores diferenças se encontram especialmente em 8000 Hz.

Sendo assim se faz necessária a análise do protótipo PR6, que é o protótipo PR5, medido com o renovador de ar RA1 desligado com o objetivo de fazer a confirmação da influência do motor do renovador de ar RA1. O gráfico 09 apresenta um comparativo entre as curvas do PR5 e PR6.

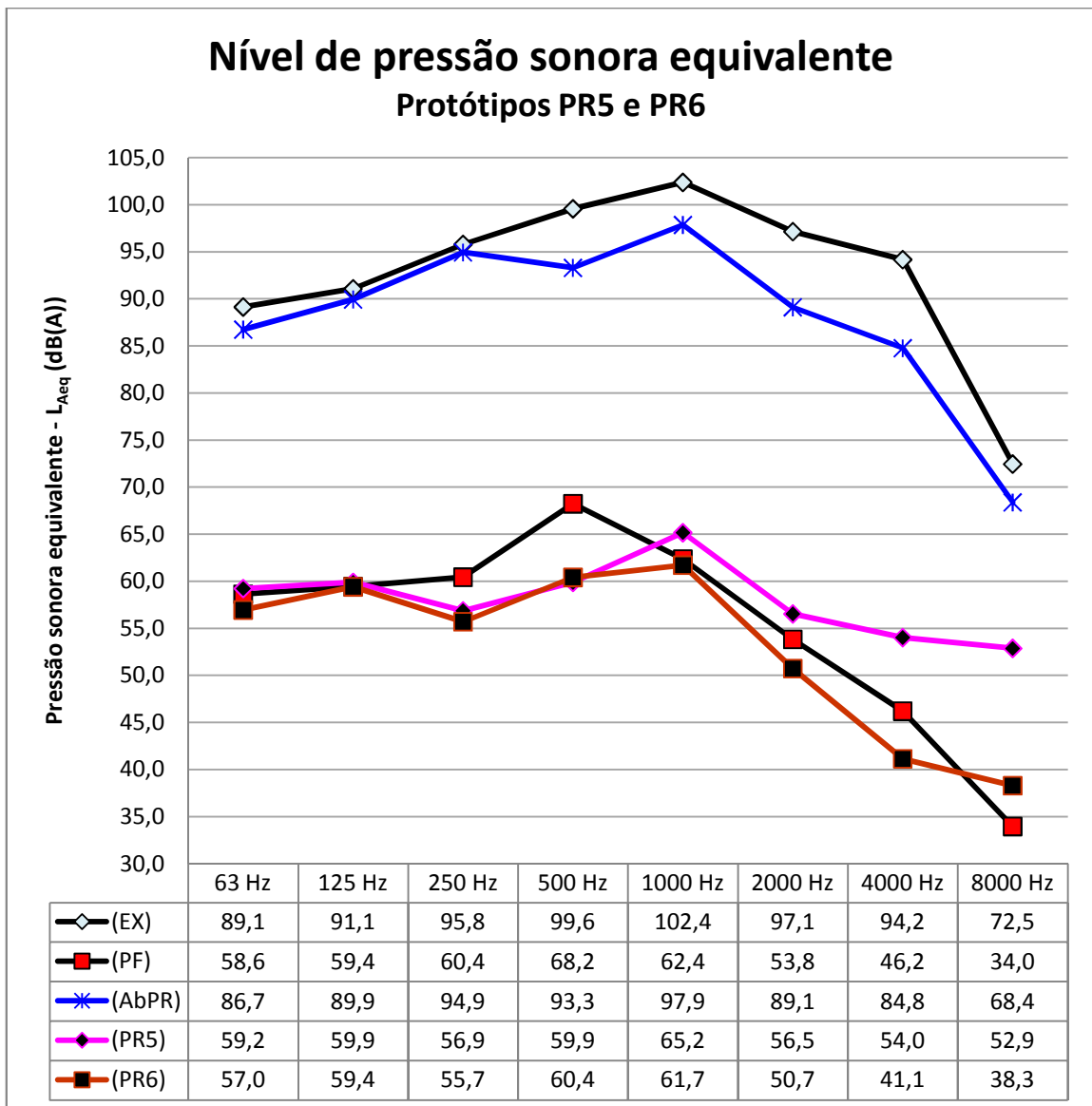


GRÁFICO 09 – Nível de pressão sonora equivalente para os protótipos PR5 e PR6

Para as frequências 63, 125, 250 e 500 Hz os níveis de pressão sonora equivalente do protótipo PR5 e PR6 estão muito próximos. A diferença de  $L_{Aeq}$  entre eles é de 2,3 dB(A) para 63 Hz, 0,5 dB(A) (125 Hz), 1,2 dB(A) (250 Hz) e -0,5 dB(A) (500 Hz).

A partir da frequência de 1000 Hz, esta diferença aumenta considerável e gradativamente, sendo de 3,5 dB(A) em 1000 Hz e passando para 14,6 dB(A) em 8000 Hz.

Portanto, pode-se concluir que o ruído gerado pelo renovador de ar RA1 está concentrado nas frequências mais altas e é realmente devido a ele o aumento de pressão sonora equivalente para estas frequências.

Após estas análises faz-se ainda necessário a avaliação do ensaio realizado instalando apenas o renovador de ar V1 (instalação convencional) e com a abertura para o mesmo.

Assim, no gráfico 10 é possível verificar que para as frequências de 500 e 1000 Hz, o  $L_{Aeq}$  está muito próximo para as duas medições em questão.

Para as demais frequências o nível de pressão sonora equivalente para a abertura do renovador de ar V1 é inferior aos valores encontrados quando o V1 foi instalado e ligado, exceto para a frequência de 8000 Hz, onde ele é superior em 1,8 dB(A).

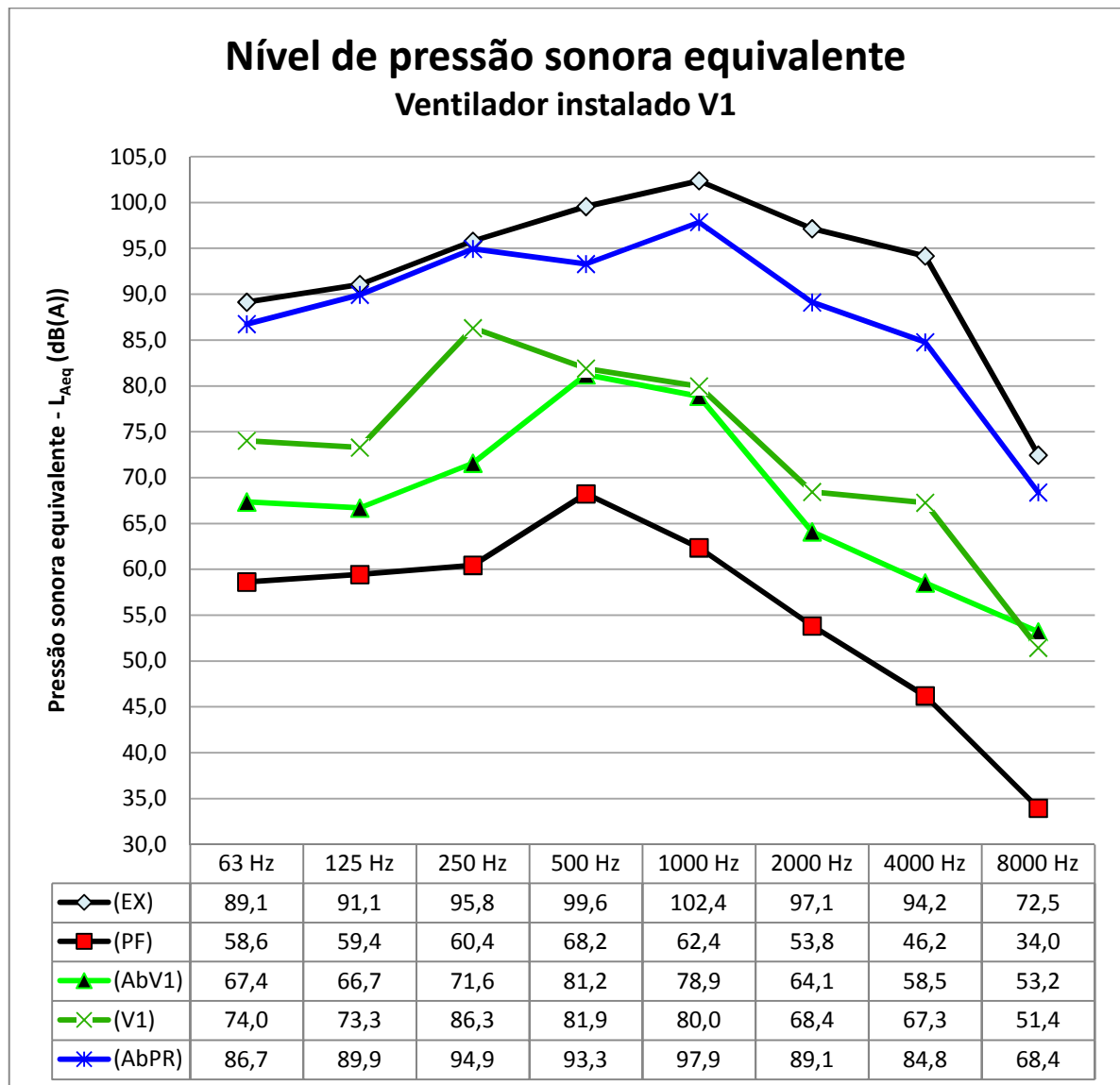


GRÁFICO 10 – Nível de pressão sonora equivalente para a abertura do renovador de ar (AbV1) e RA1 instalado e ligado( V1), parede fechada (PF), externo (EX) e parede com abertura de 60x40 cm (AbPR)

Como a abertura para a instalação do ventilador é pequena, cerca de 110 mm de diâmetro, o ruído tem certa resistência de penetração. E com a instalação do renovador de ar V1, embora tenha reduzido ainda mais a área de abertura, o ruído do próprio ventilador quando este foi ligado aumentou o  $L_{Aeq}$ . Pode-se concluir que seja este o motivo pelo qual o nível de pressão sonora equivalente tenha sido maior para o V1 em relação à sua abertura.

Quando se compara os valores de  $L_{Aeq}$  do renovador de ar V1 instalado e ligado, com os valores encontrados para os protótipos testados, observa-se que estes são maiores, conforme o gráfico 11.

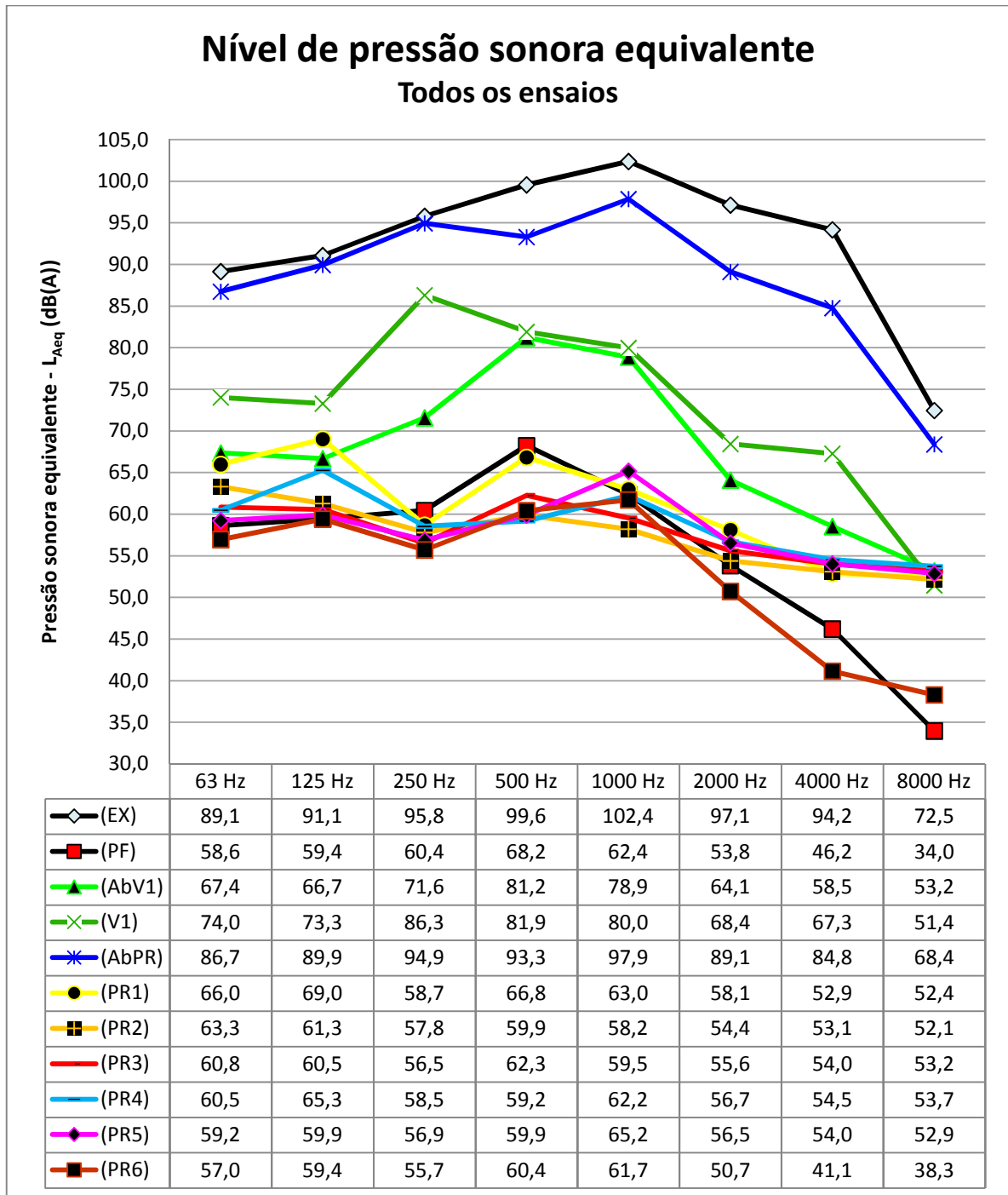


GRÁFICO 11 – Nível de pressão sonora equivalente para todos os ensaios realizados

Sendo que o protótipo teve desempenho superior em todas as suas variações, em relação ao uso do renovador de ar instalado de forma convencional, isto justifica o uso do protótipo.

## 6 CONCLUSÕES

Cinco tipos de configurações foram testados para o protótipo. Três delas usaram a tubulação T1, variando sem e com aplicação de reboco, e com reboco acrescentando uso de fibra de lã de vidro em volta da tubulação, dentro da caixa metálica. A quarta configuração substituiu a tubulação T1 pela tubulação TA2. E a quinta configuração foi a substituição da tubulação TA2 pela TA3.

Dentre todos os protótipos testados nesta pesquisa, o que apresentou melhor desempenho geral foi o PR2, que utilizou tubulação T1 e reboco na face externa da caixa metálica, sendo que o nível de pressão sonora equivalente em frequência foi de 57,5 dB(A). Em seguida tem-se o protótipo PR3 com 57,8 dB(A). A parede fechada apresentou um  $L_{Aeq}$  em frequência de 55,4 dB(A). O pior desempenho foi do protótipo PR1, com 60,9 dB(A).

No entanto, todos os protótipos tiveram desempenho superior ao registrado para o renovador de ar V1 instalado de forma convencional, que apresentou um  $L_{Aeq}$  em frequência de 72,8 dB(A).

Algumas observações importantes foram registradas em relação ao uso do protótipo, sendo elas:

- O projeto de *design* da caixa deve ser aprimorado, melhorando o acabamento final do equipamento.
- A caixa deve ser reforçada internamente para aumentar sua resistência, pois a chapa flexível favorece a quebra e descolamento do reboco.
- A espessura da caixa é maior do que a maioria das paredes existentes em edificações residenciais, sendo que internamente a caixa fica sobressalente. Este o motivo pelo qual não foi testado o equipamento com reboco também na face interna.
- Devido ao fato do ruído do renovador de ar RA1 aumentar muito o nível de pressão sonora equivalente para as altas frequências, encontrou-se deficiência nestes pontos.
- Testar os protótipos com uso invertido (renovador de ar na face externa da parede) é aconselhado para verificar melhora no desempenho.

- O fato de ter-se encontrado desempenho superior para algumas frequências (em geral para frequências médias) para os protótipos em relação ao desempenho da parede fechada trouxe indagações sobre o que provocou esta reação.
- Uma das respostas possíveis seja a vedação da caixa com uso de espuma de poliuretano, que teria impedido a propagação das ondas sonoras pela alvenaria. Este item requer análise aprofundada.

Não foram realizados testes ou simulações de taxa de ventilação para os protótipos.

O renovador de ar RA1 tem uma capacidade de renovar 80 m<sup>3</sup>/ hora para um ambiente de 5 m<sup>2</sup>, de acordo com indicações do fabricante.

De acordo com a resolução RE 176 (ANVISA, 2000), fica estabelecido no item 3.4 dos padrões referenciais que:

“a Taxa de Renovação do Ar adequada de ambientes climatizados será, no mínimo, de 27 m<sup>3</sup>/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes como lojas, centros comerciais, bancos e outros, onde a taxa de ocupação de pessoas por m<sup>2</sup> é crítica. Nestes casos a Taxa de Renovação do Ar mínima será de 17 m<sup>3</sup>/hora/pessoa, não sendo admitido em qualquer situação que os ambientes possuam uma concentração de CO<sub>2</sub>, maior ou igual a estabelecida nesta Orientação Técnica como Valor Máximo Recomendável.”

Como o ambiente testado tem 7,3 m<sup>2</sup> (2,65x2,75 m), então a capacidade do renovador de ar diminui. Se for considerada uma redução linear, então é possível dizer que a capacidade de renovação de ar para a câmara de testes é de aproximadamente 60 m<sup>3</sup>/ hora.

Então, como a resolução RE 176 estabelece uma taxa de renovação de ar de 27 m<sup>3</sup>/ hora/ pessoa para ambientes climatizados, pode-se dizer que o protótipo atinge o estabelecido para a câmara de testes, quando ocupada por no máximo duas pessoas.

No entanto, como a tubulação utilizada nos protótipos tem 1,5 m de comprimento e está posicionada em forma de serpentina, esta capacidade pode estar reduzida. Portanto, ensaios para verificar a real capacidade de renovação do ar são sugeridos para complementar os resultados dos experimentos já realizados.

Através de uma análise geral, os objetivos desta pesquisa foram atingidos, especialmente ao identificar-se que todos os protótipos tiveram desempenho acústico superior ao do renovador de ar V1. Sendo assim, o uso do protótipo pode ser justificado para uso em fachadas de edificações residenciais.

## **7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

O desdobramento desta pesquisa sugere alguns trabalhos futuros:

- Avaliar o protótipo quanto à sua capacidade de renovação do ar;
- Testar o protótipo com uso de renovadores de ar de maior capacidade de ventilação;
- Testar o protótipo com uso da caixa invertida, ou seja, com o renovador de ar posicionado na face externa da parede;
- Aprimorar o projeto do protótipo;
- Construir uma câmara de testes especialmente para receber o protótipo, maximizando desta forma a confiabilidade dos resultados através da redução de interferências externas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Gonçalo Tomaz Lopes. **Análise de Soluções Construtivas para a Verificação de Requisitos Térmicos e Acústicos em Edifícios de Habitação**. Dissertação (Mestrado – Engenharia Civil – Reabilitação de edifícios). Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2009.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2000. Resolução RE 176, de 24 de outubro de 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.151: acústica - avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade: procedimento**. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 10152: níveis de ruído para conforto acústico**. Fixa níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos Cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ARAÚJO, Bianca Carla Dantas de. **Proposta de elemento vazado acústico**. (2010). Tese (Doutorado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP, São Paulo, 2010.

BRAGANÇA, L e MATOS, J. **Caso Prático de Acondicionamento Acústico de um Sistema de Ventilação Industrial**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. Guimarães, Portugal. Acústica, 2004.

BRANDÃO, Helena Câmara Lacé; MARTINS, Angela Maria Moreira. **A varanda e suas contribuições para a sustentabilidade**. USP NUTAU 2008. PROARQ/ FAU/ UFRJ.

CURITIBA (Paraná). **Lei nº 9.800 de 03 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no Município de Curitiba e dá outras providências**: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/Secretaria.aspx?0=2>>. Acesso em: 20 out, 2007, 08:35.

CURITIBA (Paraná). **Portal de acesso ao sítio. Rede Integrada de Transporte (RIT)**. <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/PORTAL/rit/>>. Acesso em: 17 mar, 2010, 14:20.

FERREIRA, J. A.; FERREIRA, A.M.C.; DINIZ, F. B.; ZANNIN, P. H. T.. **Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições in situ e simulação computacional**. Brasil - Porto Alegre, RS. 2007. Ambiente Construído, Trimestral v.7, n.2 p. 15-29.

GIL, Antonio Carlos, 1946-. **Como elaborar projetos de pesquisa**. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002 .

LOSSO, Marco Aurélio Faria. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: Avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação**. Florianópolis, 2003. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira. **Acoustics versus natural ventilation in southern Brazilian educational buildings**. PLEA 2003 - The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago – CHILE, 9 - 12 November 2003.

MARCON, Carolina; FERREIRA, Jose Augusto; ZANNIN, Paulo Henrique. **Avaliação dos coeficientes de isolamento acústico medidos e simulados**. Brasil - Maceió, AL. 2005. p. 1116-1125. ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió, AL; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió, AL.

MARTÍN MONROY, Manuel. **Calidad del aire versus aislamiento acústico : patología ambiental de edificios actuales en climas urbanos cálidos**. Brasil - Porto Alegre, RS. 1997. v.2, p. 491-498, il. In: Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e Congresso de Controle da Qualidade, 4º e 6º, Porto Alegre, 1997. Artigo técnico.

MICHAELIS: **Moderno dicionário da língua portuguesa**. <<http://michaelis.uol.com.br/>> Acesso em: 28 mai, 2009 e outras datas.

OITICICA, Maria Lucia G. R.; BERTOLI, Stelamaris R. **Comportamento acústico do peitoril ventilado em edificações de clima quente úmido**. VI Congresso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008. Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008.

OLIVEIRA, Leopoldo Pisanelli Rodrigues de. **Controle ativo de ruído em veículos e seu impacto na qualidade sonora**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.

PAIXÃO, D. X. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (sea)**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

PAZ, Elaine Carvalho da; FERREIRA, Andressa Maria Coelho; ZANNIN, Paulo Henrique Trombeta. **Estudo Comparativo da Percepção do Ruído Urbano**. Brasil - São Paulo, SP. Revista Saúde Pública. 2005 39(3).

PAPINI, G.S.; PINTO, R.L.U.F.; MORAIS, F.H.M. **Controle ativo de ruído para sistemas de exaustão utilizando filtragem adaptativa**. 2008. XXII Encontro da sociedade brasileira de acústica – SOBRAC. Belo Horizonte, MG. 26 a 29 de novembro, 2008.

RENTERGHEN, Timothy Van; BOTTELDOREN, Dick. **Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs**. 2008. Building and environment 44 (2009) 1081-1087. 21, july, 2008.

RIBAS, Angela. **Reflexões sobre o ambiente sonoro da cidade de Curitiba: a percepção do ruído urbano e seus efeitos sobre a qualidade de vida de moradores dos setores especiais estruturais**. (2007). Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

Salis, M.H.F.; □, D.J. Oldham, S. Sharples. **Noise control strategies for naturally ventilated buildings**. (2001). Building and environment 37 (2002) 471 – 484. 24, abril 2001.

SCHMID, A.L. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SILENCEAIR. **Natural fresh air without the noise.** 2008. <<http://www.silenceair.com/site/index.html>> Acesso em: 25 mar, 2010.

SILVA, Edna Lúcia da. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação/** Edna Lúcia da Silva, Estera Muszkat Menezes. – 3. ed. rev. atual. – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

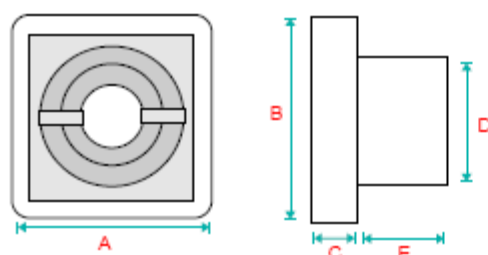
VIEGAS, Mônica. **Pesquisa busca proporcionar conforto acústico e térmico às edificações.** 2007. <<http://www.planeta.coppe.ufrj.br/artigo.php?artigo=923>>. Acesso em 30 nov, 2009, 11:44.

VIVEIROS, Elvira Barros. **Evaluation of the acoustical performance of louvre by impulse response analysis.** (1998). Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – University of Liverpool. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1998.

ZALESKI, Caroline Bollmann. **Materiais e conforto: Um estudo sobre a preferência por alguns materiais de acabamento e sua relação com o conforto percebido em interiores residenciais da classe média de Curitiba.** Curitiba, PR, 2006.

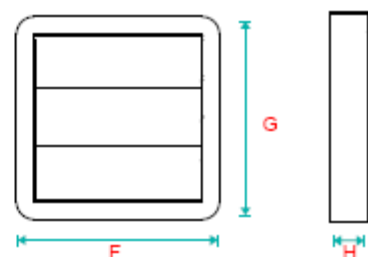
**ANEXO 1**  
**FICHA TÉCNICA DAS PEÇAS QUE COMPÕEM OS PROTÓTIPOS**

Dimensões bloco motor



Mod. / mm	A	B	C	D	E
80	152	152	33	99	82
150	152	152	33	119	832
280	167	167	33	148	73

Dimensões veneziana auto-fechante (para kit completo)



Mod. / mm	F	G	H
80	152	152	32
150	152	152	32
280	167	167	32

## ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS	VENTOKIT 80	VENTOKIT 150	VENTOKIT 280
Capacidade de renovação nominal	80 m <sup>3</sup> /h	150 m <sup>3</sup> /h	280 m <sup>3</sup> /h
Recomendado para ambientes de até*	5 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>	12 m <sup>2</sup>
Potência sonora (a 1 metro)	<56.8 dB(A)	<59.7 dB(A)	<67.8 dB(A)
Potência nominal do aparelho	20W	20W	40W
Adaptável a tubos de:	Ø100mm	Ø120mm	Ø150mm
Tensão	Bivolt		
Garantia	3 anos		
Cor	Branco/cinza		

\*B recomendações por hora

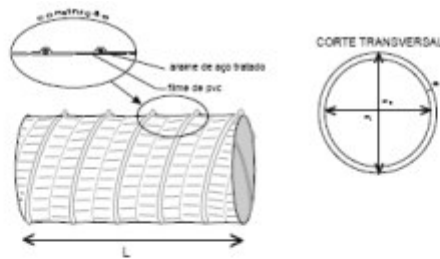
## TABELA DE FORNECIMENTO

REFERÊNCIA DO PRODUTO	MODELO
030 055 00005	VENTOKIT C 80 A - Bivolt
030 055 00015	VENTOKIT C 150 A - Bivolt
030 055 00025	VENTOKIT C 280 A - Bivolt
030 055 00006	VENTOKIT C 80 B - Bivolt
030 055 00016	VENTOKIT C 150 B - Bivolt
030 055 00026	VENTOKIT C 280 B - Bivolt
030 055 00001	VENTOKIT M 80 A - Bivolt
030 055 00009	VENTOKIT M 80 A com reg. - Bivolt
030 055 00011	VENTOKIT M 150 A - Bivolt
030 055 00019	VENTOKIT M 150 A com reg. - Bivolt
030 055 00021	VENTOKIT M 280 A - Bivolt
030 055 00029	VENTOKIT M 280 A com reg. - Bivolt
030 055 00002	VENTOKIT M 80 B - Bivolt
030 055 00012	VENTOKIT M 150 B - Bivolt
030 055 00022	VENTOKIT M 280 B - Bivolt

A - sem interruptor / B - com interruptor / C - completo / M - motor

Ficha técnica do renovador de ar modelo RA1

FONTE - [http://www.wdbnet.com/admin/forms/downloads/arquivo/ventokit\\_classic.pdf](http://www.wdbnet.com/admin/forms/downloads/arquivo/ventokit_classic.pdf)

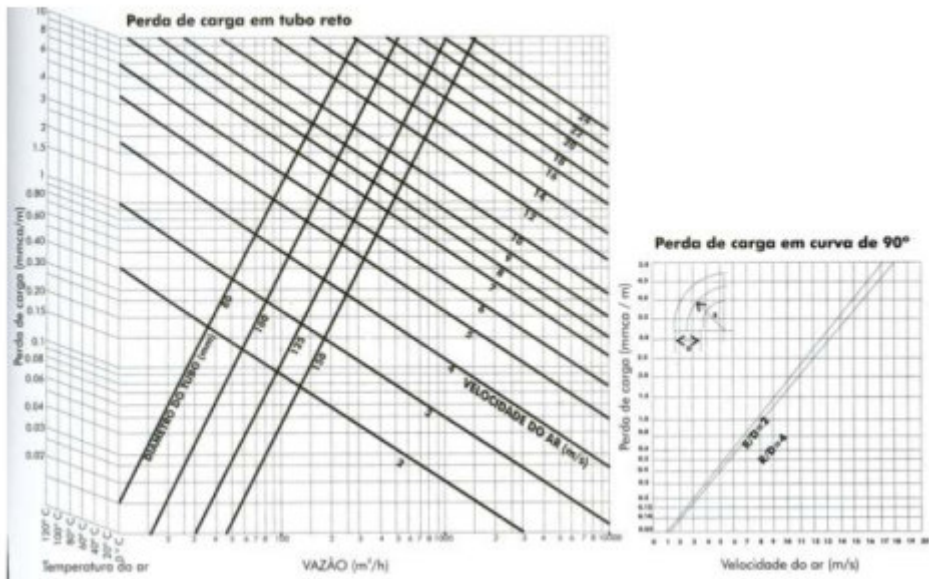


ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS		
COMPRIMENTO	Normal = L Compactado = l	3m ou 5m (barras) 0,3 ou 0,5
ESPESSURA DA PAREDE = e		1,6 mm NEW 04.02
DIÂMETRO	Externo = d <sub>e</sub> Interno = d <sub>i</sub>	CONFORME TABELA DE DIÂMETROS
TEMPERATURA	Mínima Máxima	-20°C 90°C NEW 05.05
RAIO DE CURVATURA (x diâmetro)		0,5 NEW 04.04
INFLAMABILIDADE		Difícilmente inflamável Classe B1 Norma DIN 4102 MVSS-302
RESISTÊNCIA A CORROSÃO		SIM NEW 06.01
CICLOS DE FLEXÃO		INFINITO NEW 04.10
PONTOS DE SUSTENTAÇÃO		0,5 m NEW 04.23
RESISTÊNCIA	à Tração à Compressão	49 kgf 19 kgf NEW 04.08 NEW 04.07
VELOCIDADE MÁXIMA		30 m/s NEW 07.22
RECICLÁVEL		NÃO NEW 06.02
QUANTIDADE POR CAIXA		CONFORME TABELA DE DIÂMETROS
FECHAMENTO		COLAGEM NEW 04.01
FORNECIMENTO		BARRA
MATÉRIA PRIMA		PVC E ARAME DE AÇO

RESISTÊNCIA A PRESSÃO CONFORME DIÂMETRO (NEW 07.01)		
DIÂMETRO (in)	PRESSÃO NEGATIVA (mmca)	PRESSÃO POSITIVA (mmca)
4	-50	700

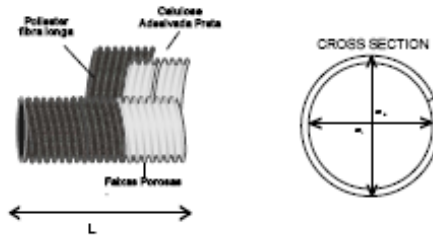
Os ensaios foram realizados em tubos de diâmetro interno 4 in

### Gráfico Demonstrativo



Ficha técnica do tubo modelo 1 (T1)

FONTE - <http://www.wdbnet.com/admin/forms/downloads/arquivo/polywest.pdf>



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS			
COMPRIMENTO	Normal = L	PEÇA	
ESPESSURA DA PAREDE = e		5 mm	
DIÂMETRO	Externo = e <sub>o</sub> Interno = e <sub>i</sub>	CONFORME TABELA DE DIÂMETROS	
TEMPERATURA	Mínima*	-40°C	NEW 06.10
	Máxima*	85°C (Pico: 95°C)	NEW 05.05
RAIO DE CURVATURA (x diâmetro)		1,4	NEW 04.04
INFLAMABILIDADE		Difícilmente Inflamável Classe B1 Norma DIN 4102	NEW 06.05
RESISTÊNCIA A CORROSÃO		SEM	NEW 08.01
CICLOS DE FLEXÃO MÁXIMO		1.000.000	NEW 04.10
PONTOS DE SUSTENTAÇÃO		0,5 m	NEW 04.03
RESISTÊNCIA	à Tração	40 kgf	NEW 04.05
	à Compressão	20 kgf	NEW 04.07
VELOCIDADE MÁXIMA		50 m/s	NEW 07.02
IMERSÃO		2 min	NEW 06.06
QUANTIDADE POR CAIXA		CONFORME TABELA DE DIÂMETROS	
FECHAMENTO		TERMOCOLAGEM	NEW 04.01
FORNECIMENTO		PEÇA	
MATÉRIA PRIMA		POLIÉSTER FIBRA LONGA / CELULOSE ADESTIVADA PRETA	

TABELA DE DIÂMETROS			
REFERÊNCIA DO PRODUTO	DIÂMETRO EXTERNO = e <sub>o</sub> (mm)	DIÂMETRO INTERNO = e <sub>i</sub> (mm)	QUANTIDADE POR CAIXA (Pcs)
Sob consulta			

bc - Verificar a posição do tubo no compartimento motor para avaliar a sua aplicabilidade  
 \* O tubo em posição de montagem com ar circulante interno a uma temperatura de + 25 °C

*NEW	NORMA DE ENSAIO WB
NEW 01.00	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS GERAIS PARA TUBOS FLEXÍVEIS
NEW 04.01	FECHAMENTO DOS TUBOS FLEXÍVEIS: MODO DE CONSTRUÇÃO
NEW 04.02	MEDIÇÃO DA ESPESSURA DE PAREDE E DIÂMETRO EM TUBOS FLEXÍVEIS
NEW 04.03	PONTOS DE SUSTENTAÇÃO DOS TUBOS FLEXÍVEIS EM CONDIÇÕES NORMAIS
NEW 04.04	RAIO DE CURVATURA DOS TUBOS FLEXÍVEIS
NEW 04.07	RESISTÊNCIA DOS TUBOS FLEXÍVEIS À COMPRESSÃO DIAMETRAL
NEW 04.08	RESISTÊNCIA DOS TUBOS FLEXÍVEIS À TRAÇÃO LONGITUDINAL
NEW 04.10	RESISTÊNCIA À FADIGA DOS TUBOS FLEXÍVEIS EM CICLOS DE FLEXÃO
NEW 05.05	CONDICIONAMENTO A ESTUFAAR CIRCUNDANTE
NEW 06.01	PROPRIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DOS TUBOS FLEXÍVEIS
NEW 06.05	ENSAIO DE INFLAMABILIDADE
NEW 06.06	RESISTÊNCIA DOS TUBOS FLEXÍVEIS À IMERSÃO
NEW 06.10	EXPOSIÇÃO A BAIXA TEMPERATURA
NEW 07.01	RESISTÊNCIA DOS TUBOS FLEXÍVEIS À PRESSÃO POSITIVA E NEGATIVA
NEW 07.02	VELOCIDADE MÁXIMA DE FLUXO DE AR ADMISSÍVEL EM TUBOS FLEXÍVEIS

RESISTÊNCIA A PRESSÃO CONFORME DIÂMETRO (NEW 07.01)		
DIÂMETRO (mm)	PRESSÃO NEGATIVA (mmca)	PRESSÃO POSITIVA (mmca)
50	-700	900

Ficha técnica do tubo acústico modelo 2 (TA2)

FONTE - <http://www.wdbnet.com/admin/forms/downloads/arquivo/sonoflex1000H.pdf>

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS		
COMPRIMENTO	Normal = L Compactado = l	5 m (barra) - máximo 1.2
ESPESSURA DA PAREDE = e		25 mm
DIÂMETRO	Externo = $\varnothing_o$ Interno = $\varnothing_i$	CONFORME TABELA DE DIÂMETROS CONFORME TABELA DE DIÂMETROS
TEMPERATURA	Mínima Máxima	-30°C 110°C
RAIO DE CURVATURA (x diâmetro)		1.5
INFLAMABILIDADE		Difícilmente inflamável Classe B1 Norma DIN 4102
CICLOS DE FLEXÃO		15
PONTOS DE SUSTENTAÇÃO		2 m
RESISTÊNCIA	à Tração à Compressão	30 kgf 9 kgf
VELOCIDADE MÁXIMA		20 m/s
RECICLÁVEL		NÃO
QUANTIDADE POR CAIXA		SOB CONSULTA
FECHAMENTO		COLAGEM
FORNECIMENTO		BARRA
MATÉRIA PRIMA		FOLHAS DE ALUMÍNIO/POLIÉSTER/ LÃ DE VIDRO/ARAME

Atenção: Os ensaios são válidos para tubos de diâmetro interno 4 polegadas.  
Este produto é destinado a instalações internas e permanentes.

* NEW	NORMA DE ENSAIO WdB
NEW 01.00	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS GERAIS PARA TUBOS FLEXÍVEIS
NEW 04.01	FECHAMENTO DOS TUBOS FLEXÍVEIS: MODO DE CONSTRUÇÃO
NEW 04.02	MEDIÇÃO DA ESPESSURA DE PAREDE E DIÂMETRO EM TUBOS FLEXÍVEIS
NEW 04.03	PONTOS DE SUSTENTAÇÃO DOS TUBOS FLEXÍVEIS EM CONDIÇÕES NORMAIS
NEW 04.04	RAIO DE CURVATURA DOS TUBOS FLEXÍVEIS
NEW 04.07	RESISTÊNCIA DOS TUBOS FLEXÍVEIS A COMPRESSÃO DIAMETRAL
NEW 04.08	RESISTÊNCIA DOS TUBOS FLEXÍVEIS A TRAÇÃO LONGITUDINAL
NEW 04.10	RESISTÊNCIA À FADIGA DOS TUBOS FLEXÍVEIS EM CICLOS DE FLEXÃO
NEW 05.05	CONDICIONAMENTO A ESTUFA AR CIRCUNDANTE
NEW 06.02	RECICLABILIDADE DOS TUBOS FLEXÍVEIS
NEW 06.05	ENSAIO DE INFLAMABILIDADE
NEW 06.10	EXPOSIÇÃO A BAIXA TEMPERATURA
NEW 07.01	RESISTÊNCIA DOS TUBOS FLEXÍVEIS A PRESSÃO POSITIVA E NEGATIVA
NEW 07.02	VELOCIDADE MÁXIMA DE FLUXO DE AR ADMISSÍVEL EM TUBOS FLEXÍVEIS

TABELA DE DIÂMETROS			
REFERÊNCIA DO PRODUTO	DIÂMETRO INTERNO (in)	Tolerância (in)	QUANTIDADE POR CAIXA (Pg)
025 200 00002	4	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00004	5	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00006	6	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00028	7	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00011	8	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00029	9	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00018	10	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00027	12	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00022	14	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00024	16	+1/4 -0	sob consulta
025 200 00025	18	+1/4 -0	sob consulta

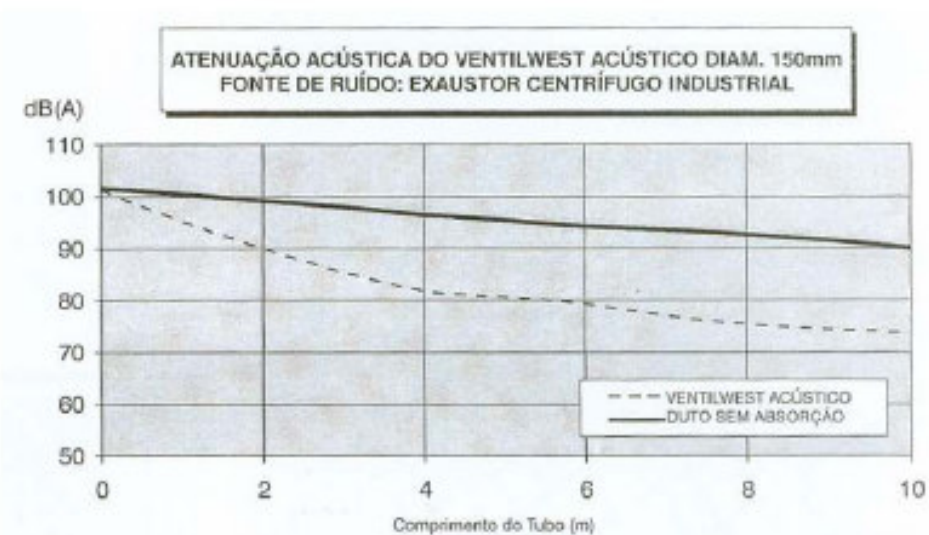
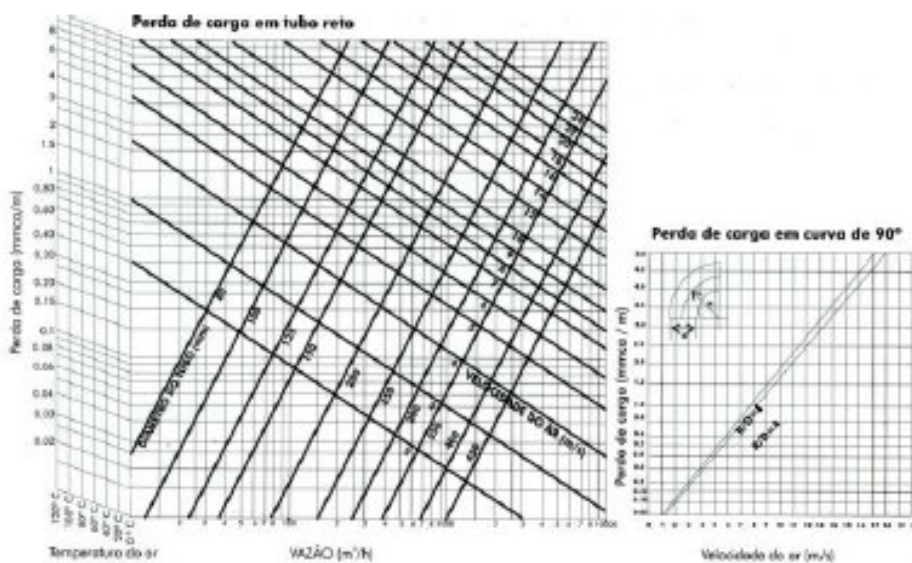
Fornecimento em barras de 5 metros

RESISTÊNCIA A PRESSÃO CONFORME DIÂMETRO (NEW 07.01)		
DIÂMETRO (polegadas)	PRESSÃO NEGATIVA (mmca)	PRESSÃO POSITIVA (mmca)
4	-40	300

Ficha técnica 1 do tubo acústico modelo 3 (TA3)

FONTE - [http://www.wdbnet.com/admin/forms/downloads/arquivo/ventilwest\\_acustico.pdf](http://www.wdbnet.com/admin/forms/downloads/arquivo/ventilwest_acustico.pdf)

## Gráficos Demonstrativos



Ficha técnica 2 do tubo acústico modelo 3 (TA3)

FONTE - [http://www.wdbnet.com/admin/forms/downloads/arquivo/ventilwest\\_acustico.pdf](http://www.wdbnet.com/admin/forms/downloads/arquivo/ventilwest_acustico.pdf)

**APÊNDICE 1**  
**PLANILHAS COM RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE NÍVEL DE PRESSÃO**  
**SONORA**

Medição de nível de pressão sonora (1)													
Local:		externo (EX)											
Frequência (Hz)	Ponto medido												Média L <sub>Aeq</sub>
	L1			L2			L3			L8			
	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	
63	87,6	87,8	87,2	89,3	89,5	88,9	90,4	90,2	90,1	89,1			
125	91,4	91,3	91,4	90,5	90,4	90,5	91,3	91,4	91,3	91,1			
250	95,7	95,9	96,0	95,8	95,7	95,8	95,7	95,8	95,7	95,8			
500	99,4	99,5	99,6	99,4	99,3	99,4	99,8	99,9	99,8	99,6			
1000	102,3	102,4	102,4	102,3	102,4	102,4	102,4	102,4	102,4	102,4			
2000	95,4	96,0	98,5	95,4	98,3	99,1	96,2	97,0	96,6	97,1			
4000	92,1	94,3	94,5	95,4	92,8	93,4	95,2	95,4	93,1	94,2			
8000	71,4	70,5	71,0	73,0	73,9	73,1	73,8	73,0	70,8	72,5			

Medição de nível de pressão sonora (2)																
Local:		interno - parede fechada (PF)														
Frequência (Hz)	Ponto medido												Média L <sub>Aeq</sub>			
	L4			L5			L6			L7				L8		
	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3		med. 1	med. 2	med. 3
63	58,5	59,8	59,9	59,2	59,1	59,1	56,9	56,9	56,8	59,0	58,9	58,7	58,3	58,4	58,4	
125	54,3	54,4	57,2	53,6	53,2	53,7	58,8	59,0	58,7	61,2	61,0	61,3	62,5	62,3	62,4	
250	62,8	63,2	63,1	59,8	60,4	60,1	59,1	59,5	58,8	58,8	58,7	59,1	59,7	59,6	59,4	
500	69,1	67,8	70,1	70,4	70,7	70,5	67,5	68,1	67,9	65,8	66,1	65,9	66,1	65,8	65,7	
1000	62,8	63,0	63,1	64,0	65,5	65,2	61,7	61,5	61,2	60,8	60,5	59,9	59,9	59,8	60,1	
2000	51,2	51,5	51,6	53,9	54,2	54,5	54,9	54,5	54,7	53,8	54,2	54,3	53,8	54,2	54,1	
4000	44,9	45,2	45,1	47,9	48,3	48,5	45,5	44,9	45,3	45,8	45,9	45,6	46,0	45,7	45,9	
8000	35,9	34,9	35,5	33,9	34,3	34,2	34,3	34,7	34,6	31,8	32,2	31,9	32,8	32,6	33,1	

Medição de nível de pressão sonora (3)																	
Local:		interno - abertura para instalação do ventilador (AbV1)															
Frequência (Hz)	Média	Ponto medido															
		L4			L5			L6			L7			L8			
		med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	
63		67,7	67,9	67,8	66,5	66,8	66,7	64,7	64,9	65,2	68,9	69,0	68,8	67,5	67,7	67,3	67,4
125		63,4	62,8	63,1	63,9	64,0	64,1	69,7	69,6	69,7	66,5	66,7	66,9	66,7	66,8	67,0	66,7
250		67,3	66,4	66,8	69,5	69,6	69,7	71,8	71,0	71,6	73,7	72,8	73,4	73,7	73,4	73,5	71,6
500		82,2	82,3	82,1	79,9	80,2	80,4	82,4	82,9	83,1	73,9	74,5	75,0	82,3	82,5	82,4	81,2
1000		79,8	79,0	78,9	74,5	75,0	74,9	79,0	79,7	80,0	79,7	80,2	79,6	78,9	79,3	79,5	78,9
2000		64,9	65,2	64,8	63,0	62,5	63,1	65,3	65,4	65,5	63,2	62,8	62,4	64,0	63,9	63,5	64,1
4000		58,2	57,6	58,1	58,5	57,6	58,2	56,7	54,6	58,0	58,9	57,5	57,9	61,5	60,5	59,9	58,5
8000		53,1	53,0	52,9	52,5	52,8	53,6	53,6	53,4	53,5	53,1	52,8	52,9	53,7	53,4	53,3	53,2

Medição de nível de pressão sonora (4)																	
Local:		interno - ventilador instalado (V1)															
Frequência (Hz)	Média	Ponto medido															
		L4			L5			L6			L7			L8			
		med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	
63		71,3	71,4	71,1	73,4	73,5	73,2	74,9	75,1	75,2	74,6	74,8	74,9	74,5	74,6	74,9	74,0
125		73,1	72,8	73,0	72,2	72,4	72,1	75,9	75,6	76,0	71,2	71,0	71,3	72,5	73,0	72,6	73,3
250		87,4	87,6	87,3	84,4	84,7	84,4	82,5	82,1	82,3	86,8	87,1	87,2	88,1	87,8	87,9	86,3
500		83,0	82,9	83,0	74,6	75,1	75,0	84,4	85,0	85,1	80,3	80,5	80,9	81,0	80,9	81,2	81,9
1000		73,8	73,9	73,3	82,3	82,1	82,4	77,8	78,0	78,1	81,4	81,7	81,8	79,6	79,8	80,0	80,0
2000		68,7	69,0	69,2	65,8	66,1	65,9	68,8	69,1	68,7	68,2	68,5	68,7	68,8	69,3	69,5	68,4
4000		66,3	67,0	66,8	68,1	67,8	68,0	70,0	69,7	69,8	65,8	66,0	65,3	64,2	63,8	63,2	67,3
8000		53,8	54,2	52,9	52,8	53,1	52,9	49,8	50,0	48,9	49,0	48,5	48,7	50,2	49,7	50,4	51,4

Medição de nível de pressão sonora (5)																	
Local:		interno - abertura para instalação do protótipo (AbPR)															
Frequência (Hz)	Med. 1	Ponto medido															Média L <sub>Aeq</sub>
		L4			L5			L6			L7			L8			
		med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3		
63	85,5	85,4	85,6	86,2	86,3	86,1	88,2	88,3	88,4	87,6	87,5	87,8	85,4	85,3	85,0	86,7	
125	89,3	89,4	89,5	89,2	89,3	89,4	88,2	88,3	88,4	92,2	92,0	92,5	89,5	89,2	89,3	89,9	
250	97,4	97,6	97,7	92,5	92,4	93,1	93,9	93,8	93,4	95,2	95,5	95,8	93,1	93,5	93,3	94,9	
500	97,0	97,6	97,3	91,1	91,4	91,7	92,3	92,0	92,6	89,3	89,0	89,1	91,1	91,8	91,5	93,3	
1000	93,0	93,1	93,3	97,8	97,5	97,8	101,2	101,4	100,5	94,9	94,8	94,6	98,4	98,3	98,4	97,9	
2000	89,1	89,2	89,1	92,5	92,3	92,3	83,7	83,2	83,0	87,2	87,4	86,8	89,3	89,0	88,7	89,1	
4000	78,2	78,6	78,3	80,0	79,8	80,3	87,5	87,3	87,1	85,7	85,7	85,9	86,1	85,9	86,5	84,8	
8000	64,1	64,4	64,3	64,4	64,2	64,3	70,7	70,5	70,8	69,9	70,0	69,6	68,9	69,2	68,7	68,4	

Medição de nível de pressão sonora (6)																	
Local:		interno - protótipo instalado - tubo T1 - sem manta - sem reboco (PR1)															
Frequência (Hz)	Med. 1	Ponto medido															Média L <sub>Aeq</sub>
		L4			L5			L6			L7			L8			
		med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3		
63	67,1	66,9	67,0	61,8	62,0	61,7	62,1	61,7	61,9	62,6	63,1	62,9	70,1	69,7	69,9	66,0	
125	67,1	66,7	66,6	72,2	71,8	71,7	71,3	70,9	71,1	62,3	62,5	62,3	67,3	66,9	66,7	69,0	
250	58,4	58,7	58,2	58,6	58,6	58,4	57,9	57,7	57,8	59,1	59,2	58,8	59,6	59,3	59,4	58,7	
500	63,2	63,2	63,0	69,7	69,9	70,0	54,5	54,7	54,2	70,7	70,6	70,3	58,8	58,7	58,9	66,8	
1000	63,2	62,7	62,9	61,9	62,1	61,8	64,9	64,6	65,0	61,5	61,6	62,1	62,4	62,8	63,1	63,0	
2000	58,2	57,9	57,9	60,3	60,1	59,8	54,5	54,7	55,2	59,7	60,2	60,0	54,3	54,7	54,8	58,1	
4000	53,7	54,1	53,5	53,2	53,1	53,3	52,8	52,9	52,6	52,3	51,8	51,9	52,4	52,5	52,7	52,9	
8000	51,7	51,4	51,8	53,1	53,0	53,4	53,2	52,8	52,9	52,4	52,6	52,2	51,5	51,7	51,3	52,4	

Medição de nível de pressão sonora (7)																
Local:		interno - protótipo instalado - tubo T1 - sem manta - com reboco externo (PR2)														
Frequência (Hz)	Média	Ponto medido														
		L4			L5			L6			L7			L8		
		med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3
63	63,3	65,2	64,7	64,9	61,3	61,1	61,5	60,4	59,8	59,6	62,3	62,5	62,1	65,5	65,7	65,4
125	61,3	59,4	59,0	59,1	63,6	63,9	63,7	62,8	62,9	63,0	59,6	59,4	59,2	58,3	58,7	58,4
250	61,3	57,6	57,7	57,6	59,4	59,3	59,2	57,5	57,3	57,4	57,2	56,7	57,0	57,2	57,4	57,3
500	57,8	58,7	58,7	58,5	60,3	60,2	60,3	62,2	61,7	61,9	59,5	59,6	59,4	57,7	57,9	58,0
1000	58,2	56,9	57,0	56,8	58,6	58,4	58,6	60,3	60,4	60,1	58,0	58,4	58,7	55,3	55,6	55,4
2000	54,4	53,4	53,2	53,3	55,2	54,9	55,1	54,5	54,3	54,6	54,5	54,6	54,5	54,3	54,5	54,4
4000	53,1	53,0	52,8	53,1	53,4	53,1	53,2	51,7	51,9	52,0	53,7	54,1	54,3	53,1	52,9	53,2
8000	52,1	52,3	52,5	52,4	52,3	52,6	52,4	51,3	51,5	51,5	52,7	52,9	52,8	51,2	51,4	51,6

Medição de nível de pressão sonora (8)																
Local:		interno - protótipo instalado - tubo T1 - com manta - com reboco externo (PR3)														
Frequência (Hz)	Média	Ponto medido														
		L4			L5			L6			L7			L8		
		med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3
63	60,8	62,3	61,8	60,9	60,8	61,9	61,0	58,6	58,9	59,0	59,6	59,5	59,6	63,2	62,8	63,1
125	60,5	56,4	56,7	56,3	56,2	56,1	56,3	57,8	57,9	57,7	57,1	57,0	56,8	54,3	54,7	54,4
250	60,5	62,4	62,6	62,3	66,1	66,3	66,0	58,9	59,1	59,2	57,9	58,3	58,2	60,6	60,2	60,4
500	62,3	63,2	62,8	62,7	56,1	56,4	56,5	59,3	59,5	59,2	58,4	58,5	58,6	57,6	57,3	57,4
1000	59,5	56,7	56,4	56,9	54,2	54,3	54,1	57,6	57,3	57,6	53,9	54,2	54,1	54,5	54,1	54,2
2000	55,6	54,2	54,5	54,1	54,3	54,6	54,5	54,3	55,2	55,1	53,2	52,9	53,1	52,8	52,9	53,0
4000	54,0	52,8	53,1	53,0	53,2	53,6	53,5	54,6	54,8	54,9	51,8	51,7	52,0	52,1	52,2	52,4
8000	53,2	52,8	53,1	53,0	53,2	53,6	53,5	54,6	54,8	54,9	51,8	51,7	52,0	52,1	52,2	52,4

Medição de nível de pressão sonora (9)																
Local:		interno - protótipo instalado - tubo TA2 - sem manta - com reboco externo (PR4)														
Frequência (Hz)	Ponto medido															Média L <sub>Aeq</sub>
	L4			L5			L6			L7			L8			
	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	
63	62,0	61,8	61,7	59,2	58,7	58,6	58,9	59,2	59,1	59,2	59,3	59,0	62,2	62,3	62,1	60,5
125	63,2	63,4	63,1	68,7	68,9	68,8	67,4	67,2	67,6	67,7	67,8	67,9	60,2	60,4	60,1	65,3
250	59,8	59,4	59,6	58,7	58,5	58,6	59,1	59,3	59,2	57,8	58,2	57,9	56,7	56,9	56,8	58,5
500	61,7	61,6	61,8	56,6	56,9	57,0	61,1	61,0	61,3	54,6	55,2	54,7	57,8	57,4	57,5	59,2
1000	63,0	63,2	63,1	62,1	62,5	62,3	60,7	60,4	60,5	63,2	63,1	63,3	61,4	61,6	61,5	62,2
2000	55,6	55,5	55,7	54,3	54,2	54,6	54,7	54,8	54,6	60,2	60,3	60,1	55,4	55,7	55,5	56,7
4000	55,3	55,4	55,2	54,3	54,2	54,6	54,6	54,8	54,9	54,1	53,7	53,8	54,5	54,2	53,8	54,5
8000	53,4	53,6	53,7	54,1	53,7	53,8	53,6	53,8	53,9	53,1	53,4	53,2	54,5	54,1	53,9	53,7

Medição de nível de pressão sonora (10)																
Local:		interno - protótipo instalado - tubo TA3 - sem manta - com reboco externo (PR5)														
Frequência (Hz)	Ponto medido															Média L <sub>Aeq</sub>
	L4			L5			L6			L7			L8			
	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	
63	60,2	60,4	60,5	58,7	58,3	58,8	56,3	56,6	56,4	58,3	58,4	58,2	61,2	61,1	60,7	59,2
125	57,6	57,8	57,6	62,3	62,2	62,0	61,2	61,4	61,5	58,7	58,4	58,5	57,6	57,4	57,5	59,9
250	58,0	57,8	57,9	56,4	56,7	56,3	58,1	57,7	57,8	56,2	56,1	55,8	55,4	55,6	55,7	56,9
500	54,6	54,7	54,8	55,6	55,7	55,4	61,2	61,3	61,4	61,4	61,5	61,0	61,7	61,8	61,9	59,9
1000	65,3	65,2	65,3	65,4	65,1	64,9	65,8	65,9	66,0	65,5	65,6	65,3	63,7	63,9	63,8	65,2
2000	54,6	54,8	54,9	55,2	55,3	55,5	57,2	57,3	57,1	57,3	57,2	57,4	57,4	57,5	57,3	56,5
4000	54,7	54,9	55,0	54,3	54,6	54,5	54,4	54,7	54,8	53,2	52,9	52,8	52,7	52,9	52,6	54,0
8000	53,7	53,9	54,0	53,2	52,9	52,8	53,8	53,9	54,1	51,6	51,8	51,9	50,6	51,3	51,5	52,9

Local:		Medição de nível de pressão sonora (11)																	
		interno - protótipo instalado - tubo TA3 - sem manta - com reboco externo - ventilador desligado (PR6)																	
		Ponto medido																	
Frequência (Hz)	Média	L4			L5			L6			L7			L8			L <sub>Aeq</sub>		
		med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3			
63		57,2	57,4	57,3	57,6	57,4	57,5	54,3	54,0	54,2	56,1	56,3	56,2	58,5	58,3	58,6	57,0		
125		55,0	55,2	55,4	62,3	62,5	62,3	60,4	60,5	60,3	57,6	57,5	57,4	58,1	58,0	58,4	59,4		
250		54,2	54,4	54,1	58,5	58,6	58,4	58,2	57,9	58,0	50,4	50,6	50,7	51,3	51,4	51,5	55,7		
500		62,4	62,6	62,2	59,6	59,7	59,9	61,0	61,3	61,2	59,6	59,8	59,7	60,5	60,4	60,1	60,4		
1000		59,2	59,0	58,7	59,6	59,8	59,9	62,3	62,0	62,6	63,1	62,6	62,7	63,4	63,2	62,9	61,7		
2000		49,6	49,6	49,7	50,2	50,5	50,3	52,0	51,5	51,3	52,3	52,1	52,5	48,6	48,9	49,1	50,7		
4000		38,7	39,0	38,9	43,5	43,8	44,1	41,1	40,7	40,6	38,9	39,2	38,7	41,4	41,5	40,9	41,1		
8000		37,1	36,7	36,8	40,5	40,7	40,8	37,3	36,8	36,9	36,5	36,2	36,1	39,3	38,8	38,9	38,3		

Medição de nível de pressão sonora (12)												
Local:		ambiente externo - ruído produzido no local										
		Ponto medido									Média	
Medição		L1			L2			L3			L <sub>Aeq</sub>	
		med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3	med. 1	med. 2	med. 3		
1		48,0	47,0	52,0	55,0	53,0	51,0	48,0	50,0	51,0	51,0	51,3
2		50,0	49,0	52,0	47,0	51,0	49,0	52,0	55,0	54,0	54,0	51,7
3		54,0	53,0	55,0	51,0	53,0	52,0	55,0	51,0	52,0	52,0	53,1
4		49,0	50,0	53,0	51,0	47,0	49,0	52,0	50,0	53,0	53,0	50,8
5		51,0	53,0	49,0	53,0	52,0	55,0	47,0	49,0	52,0	52,0	51,8
6		47,0	49,0	48,0	50,0	49,0	47,0	51,0	50,0	49,0	49,0	49,1
7		50,0	53,0	50,0	49,0	48,0	51,0	53,0	54,0	52,0	52,0	51,5
8		48,0	49,0	51,0	49,0	50,0	47,0	52,0	55,0	53,0	53,0	51,1
9		50,0	48,0	47,0	51,0	47,0	49,0	47,0	52,0	49,0	49,0	49,2
10		51,0	49,0	48,0	47,0	50,0	51,0	49,0	52,0	50,0	50,0	49,9
11		52,0	50,0	48,0	47,0	49,0	55,0	52,0	50,0	48,0	48,0	50,8