



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

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DA
REDUÇÃO SONORA AÉREA EM PAREDES DE
ALVENARIA UTILIZADAS EM HABITAÇÕES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rodrigo Barcelos Pinto

Santa Maria, RS, Brasil

2011



DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DA REDUÇÃO SONORA AÉREA EM PAREDES DE ALVENARIA UTILIZADAS EM HABITAÇÕES

por

Rodrigo Barcelos Pinto

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

Orientador: Prof. Dr. Erasmo Felipe Vergara Miranda

Santa Maria, RS, Brasil

2011

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

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

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DA REDUÇÃO SONORA
AÉREA EM PAREDES DE ALVENARIA UTILIZADAS EM HABITAÇÕES**

elaborada por

Rodrigo Barcelos Pinto

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

COMISSÃO EXAMINADORA

Erasmio Felipe Vergara Miranda, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Dinara Xavier da Paixão, Dr. (UFSM)

Maria Fernanda Nunes, Dr. (UCS)

Santa Maria, 15 de Março de 2011.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que sempre me apoiaram, especialmente, a Bruna, meu grande amor, e aos meus pais, alicerces da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao grande Arquiteto do Universo, pelas boas energias, sabedoria, força, saúde e tranquilidade.

A minha amada Bruna, pelo amor, carinho, companheirismo e compreensão em todos os momentos.

Aos meus pais, Sérgio e Cristina, pelo incentivo, apoio e amor de sempre.

Agradeço ao Professor Dr. Erasmo Felipe Vergara Miranda, pela disponibilidade e dedicação na orientação do trabalho.

A Professora Dr. Dinara Xavier da Paixão, pelo empenho e dedicação na co-orientação da pesquisa.

Ao Professor Dr. Attus Pereira Moreira pelo incentivo e apoio ao ingresso no programa de pós-graduação da UFSM.

A todos os professores do curso, pelos conhecimentos passados.

Aos colegas de curso, pelo coleguismo e companheirismo, e pelas experiências trocadas.

Agradeço os funcionários do Laboratório, em especial ao Sr. Guerra, pelos auxílios nas medições.

Aos bolsistas que contribuíram na realização dos ensaios, coleta de dados, etc.

Agradeço a Construtora NIMA, especialmente ao Eng. Carvalho, pela disponibilidade e liberação dos edifícios para a realização das medições e informações prestadas.

Ao Sr. Alexandre e sua Mãe, pela liberação do edifício para a realização dos ensaios realizados.

Agradeço ao Eng. Silvio Figuera, pelas informações disponibilizadas referente a um dos edifícios ensaiados.

E a todas as pessoas que contribuíram no desenvolvimento do trabalho, ou que simplesmente me deram apoio, e não foram citadas.

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

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DA REDUÇÃO
SONORA AÉREA EM PAREDES DE ALVENARIA UTILIZADAS EM
HABITAÇÕES**

AUTOR: RODRIGO BARCELOS PINTO
ORIENTADOR: ERASMO FELIPE VERGARA MIRANDA
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 de Março de 2011.

Neste trabalho são avaliadas alguns tipos de paredes de alvenaria utilizadas como divisórias internas em três edifícios habitacionais brasileiros para determinar a redução sonora aérea, através de ensaios experimentais em campo e de simulações computacionais. As paredes de alvenaria estudadas são compostas por tijolos maciços, blocos cerâmicos furados (6 e 4 furos) e estruturais (7 e 10 MPa), com revestimento de argamassa em ambos os lados. As avaliações acústicas, em campo, foram realizadas de acordo com as normas internacionais ISO 140 parte 4, ISO 717 parte 1 e ISO 354. A determinação da redução sonora aérea entre ambientes foi realizada a partir da transmissão sonora direta e indireta dos elementos construtivos das edificações, conforme a norma EN 12354 parte 1 e utilizando um programa computacional comercial. Os resultados principais desta pesquisa mostram que os valores ponderados da diferença padronizada de nível ($D_{nT,w}$) variaram de 37 a 44 decibéis para as paredes avaliadas. Também, foi observada uma diferença de 2 dB entre os valores ponderados da diferença padronizada de nível ($D_{nT,w}$) e do índice de redução sonora aparente (R'_w). Praticamente, todas as amostras de paredes de alvenaria avaliadas atingiram os valores mínimos de desempenho recomendados pela NBR 15575. Em geral, ocorreu uma boa correlação entre os resultados experimentais e as simulações computacionais, principalmente com relação aos valores ponderados e as curvas de

isolamento das paredes de alvenaria estrutural. A simulação computacional da transmissão sonora aérea pode ser uma boa ferramenta de projeto, apesar dos dados de entrada não representarem fielmente as propriedades dos materiais componentes das alvenarias avaliadas, devido à carência de dados nacionais mais completos e precisos.

Palavras-chave: isolamento sonora aérea; paredes de alvenaria; simulação computacional.

Masters Degree Dissertation
Graduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL DETERMINATION OF THE
AIRBORNE SOUND REDUCTION USED IN MASONRY WALLS OF
DWELLINGS**

AUTHOR: RODRIGO BARCELOS PINTO
ADVISOR: ERASMO FELIPE VERGARA MIRANDA
Santa Maria, March 15th 2011.

In this research some kinds of masonry walls have been used as internal divisions in three Brazilian dwelling buildings to determine the airborne sound reduction, by experimental tests in field and computer simulations. The masonry walls studied are composed by massive bricks, bored ceramic blocks (6 and 4 holes) and structural (7 and 10 MPa), with mortar lining in both sides. The acoustic evaluations, in field, were accomplished according to the international rules ISO 140 part 4, ISO 717 part 1 and ISO 354. The determination of the airborne sound reduction among places it was accomplished from a direct and indirect sound transmission of constructive elements of the edifications, according to the EN 12354 rule part 1 and using a commercial computer program. The mainly results of this research showed the weighted values of the level standard difference ($D_{nT,w}$) vary from 37 to 44 decibels to the evaluated walls. It was also observed the difference of 2 dB among the weighted values of the level standard difference ($D_{nT,w}$) and the apparently sound reduction (R'_w). Almost all the masonry walls evaluated reached the minimum recommended values by the NBR 15575. In general, it happened a relation between the experimental results and the computer simulations, mainly with the weighted values relation and the isolation curves of the structural masonry walls. The computer simulation of the airborne sound transmission can be a good project tool, besides the initial datas don't

represent properly the masonry material components evaluated, due to the national datas more complete and precise.

Keywords: airborne sound insulation; masonry walls; computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Transmissão da energia sonora de um meio a outro.....	25
FIGURA 2 – Curva da Perda de Transmissão Sonora de Paredes Simples.....	27
FIGURA 3 – Curva da Perda de Transmissão Sonora de Paredes Espessas – Alvenaria.....	29
FIGURA 4 - Perdas de transmissão medidas em laboratório e em campo.....	32
FIGURA 5 – Caminhos de transmissão sonora entre duas salas.....	34
FIGURA 6 – Variação das espessuras das paredes de vedação da arquitetura brasileira.....	38
FIGURA 7 – Resultado analítico da isolamento sonora de paredes da arquitetura brasileira.....	38
FIGURA 8 – Representação da montagem de equipamentos e medição da isolamento acústica de parede de alvenaria.....	43
FIGURA 9 – Área de trabalho do programa computacional utilizado nas simulações da isolamento sonora das paredes avaliadas neste estudo.....	44
FIGURA 10 – Vistas frontais, de ângulos diferentes do edifício residencial A.....	46
FIGURA 11 – Planta Baixa esquemática parcial do edifício residencial A com a localização das paredes ensaiadas.....	47
FIGURA 12 – Edifício Residencial B.....	48
FIGURA 13 – Planta Baixa esquemática parcial do edifício B com a localização das paredes ensaiadas.....	50
FIGURA 14 – Vista do edifício residencial C(edifício primeiro plano).....	51
FIGURA 15 – Planta Baixa esquemática parcial do edifício C com a localização das paredes ensaiadas.....	52
FIGURA 16 – Diferença padronizada de nível das paredes de tijolo maciço PTM22 e PTM15.....	54
FIGURA 17 – Diferença padronizada de nível das paredes de tijolo furado: PTF20 e PTF15.....	54
FIGURA 18 – Diferença comparativa entre a diferença de nível padronizada e a respectiva curva padrão, das paredes analisadas do edifício residencial A.....	56
FIGURA 19 – Diferença padronizada de nível das paredes PAE17/8B e	

PAE17/10B do edifício residencial B.....	59
FIGURA 20 – Diferença comparativa entre a diferença de nível padronizada e a respectiva curva padrão, das paredes analisadas do edifício residencial B.....	60
FIGURA 21 – Diferença padronizada de nível das paredes PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3.....	62
FIGURA 22 – Diferença comparativa entre a diferença de nível padronizada das paredes analisadas.....	64
FIGURA 23 – Comparação da diferença padronizada de nível das paredes do edifício A.....	66
FIGURA 24 – Comparação da diferença padronizada de nível das paredes de alvenaria estrutural.....	67
FIGURA 25 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PTM22, do edifício residencial A.....	69
FIGURA 26 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PTM15, do edifício residencial A.....	70
FIGURA 27 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PTF20, do edifício residencial A.....	71
FIGURA 28 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PTF15, do edifício residencial A.....	72
FIGURA 29 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/8B, do edifício residencial B.....	75
FIGURA 30 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/10B, do edifício residencial B.....	75
FIGURA 31 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/10C1, do edifício residencial C.....	78
FIGURA 32 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT}	

entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/10C2, do edifício residencial C.....	78
FIGURA 33 – Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/10C3, do edifício residencial C.....	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Densidade média de materiais constituintes das alvenarias.....	24
TABELA 2 – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaio de campo.....	36
TABELA 3 – Resultados do índice de redução sonora aérea de alvenarias, de ensaios em laboratórios.....	39
TABELA 4 – Resultados experimentais de laboratório do isolamento sonoro aéreo de alvenarias.....	40
TABELA 5 – Resultados do isolamento sonoro aéreo medido em campo de alvenarias de residências.....	41
TABELA 6 – Características físicas e frequência crítica calculadas das amostras analisadas.....	45
TABELA 7 – Tipo e características dos fechamentos de cada amostra, do edifício residencial A.....	46
TABELA 8 – Áreas das amostras ensaiadas e volume das salas, do edifício residencial A.....	47
TABELA 9 – Tipo e características dos fechamentos de cada amostra, do edifício residencial B.....	49
TABELA 10 – Áreas das amostras ensaiadas e volume das salas, do edifício residencial B.....	50
TABELA 11 – Tipo e características dos fechamentos de cada amostra, do edifício residencial C.....	51
TABELA 12 – Áreas das amostras ensaiadas e volume das salas, do edifício residencial C.....	52
TABELA 13 – Classificação do nível de desempenho das paredes de alvenaria do edifício residencial A.....	57
TABELA 14 – Classificação do nível de desempenho das paredes de alvenaria.....	61
TABELA 15 – Classificação do nível de desempenho das paredes de alvenaria.....	64
TABELA 16 – Propriedades dos materiais utilizados na simulação computacional da PTM22 e PTM15.....	68

TABELA 17 – Propriedades dos materiais utilizados na simulação computacional da PTF20 e PTF15.....	70
TABELA 18 – Comparação entre os valores dos índices ponderados ($D_{nT,w}$, R'_w) obtidos experimentalmente e através da simulação computacional, do edifício residencial A.....	72
TABELA 19 – Propriedades dos materiais das paredes de alvenarias PAE17/8B e PAE17/10B.....	74
TABELA 20 – Comparação entre os valores dos índices ponderados ($D_{nT,w}$, R'_w) obtidos experimentalmente e através da simulação computacional, do edifício residencial B.....	76
TABELA 21 – Propriedades dos materiais das paredes PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3.....	77
TABELA 22 – Comparação entre os valores dos índices ponderados ($D_{nT,w}$, R'_w) obtidos experimentalmente e através da simulação computacional, do edifício residencial C.....	79

1 INTRODUÇÃO	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo Geral.....	20
1.2.2 Objetivos Específicos.....	20
1.3 Delimitação do trabalho	21
1.4 Organização do trabalho	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 Paredes de alvenaria	23
2.1.1 Paredes de alvenaria pesadas.....	23
2.2. Transmissão sonora aérea	24
2.2.1 Perda de transmissão sonora aérea de paredes simples.....	26
2.2.2 Perda de transmissão sonora aérea de paredes compostas.....	29
2.3. Determinação do índice de redução sonora em campo	30
2.4. Quantificação de índices de redução sonora ponderados	33
2.5. Métodos numéricos de previsão da perda de transmissão sonora aérea em edificações	33
2.5.1. Simulação computacional.....	35
2.6. NBR 15.575 – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos	36
2.7. Desempenho de isolamento sonoro aéreo de alvenarias que compõem	

as edificações brasileiras.....	37
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1. Medições de campo do isolamento sonoro aéreo.....	42
3.1.1 Normas técnicas de referência.....	42
3.1.2 Equipamentos de medição.....	42
3.1.3 Condições ambientais e posicionamento dos equipamentos.....	43
3.2 Simulações computacionais.....	43
3.3 Paredes de alvenaria ensaiadas.....	45
3.3.1 Paredes ensaiadas no Residencial A.....	45
3.3.2 Paredes ensaiadas no Residencial B.....	48
3.3.3 Paredes ensaiadas no Residencial C.....	50
4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	53
4.1 Resultados dos ensaios de campo.....	53
4.1.1 Resultados do edifício Residencial A.....	53
4.1.2 Resultados do edifício Residencial B.....	58
4.1.3 Resultados do edifício Residencial C.....	61
4.1.4 Comparações dos resultados.....	65
4.2 Resultados da simulação computacional.....	68
4.2.1. Resultados do edifício Residencial A.....	68
4.2.2. Resultados do edifício Residencial B.....	73
4.2.3. Resultados do edifício Residencial C.....	76
5 CONCLUSÕES.....	81
5.1 Constatações.....	83
5.2 Sugestões para trabalhos posteriores.....	84

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
APÊNDICES.....	89

1 INTRODUÇÃO

O som está presente em várias atividades e eventos da vida do ser humano, como na comunicação verbal (fala), na apreciação de uma agradável música e/ou sons da natureza, ou até mesmo de forma desagradável, como os ruídos. O excesso de ruído pode ser prejudicial e interferir nas atividades diárias do homem seja na escola, no trabalho, em casa e nos momentos de descanso e lazer (WHO, 2008).

Com o crescimento dos centros urbanos, veio juntamente o aumento do ruído gerado por veículos, fábricas, etc., e também uma grande concentração populacional, acarretando em uma maior ocupação do solo urbano e um agrupamento das habitações, como a construção de residências geminadas e edifícios habitacionais com inúmeros apartamentos.

Os ambientes edificadas evoluíram no decorrer do tempo, sendo que novos materiais, mais leves e esbeltos, foram introduzidos na construção civil. Esses materiais reduziram a carga nas estruturas e também as espessuras das paredes, proporcionando uma economia na estrutura do edifício e aumento dos espaços internos. Entretanto, com a redução da massa e espessura das paredes o isolamento de ruído aéreo decresceu, piorando o desempenho acústico.

Dessa forma, com grande concentração de moradias geminadas e paredes com espessuras mais reduzidas, deve-se conhecer o comportamento das diferentes composições de alvenarias (vedações verticais) empregadas atualmente na construção civil brasileira quanto ao isolamento acústico e verificar se esse atende aos níveis mínimos para que os ambientes edificadas proporcionem um bom conforto acústico aos seus usuários.

Para verificar o comportamento de isolamento sonoro aéreo dos elementos de vedação podem ser realizados diferentes procedimentos, ou seja, ensaios em laboratórios ou em campo, cálculos numéricos (analíticos) ou através de simulações computacionais.

Dentre os métodos citados anteriormente, os ensaios demonstram melhor o comportamento de isolamento sonora dos elementos avaliados. Porém, estudos laboratoriais refletem circunstâncias “idealizadas”, promovendo resultados mais

elevados do que os encontrados nos edifícios. As análises de ensaios em campo demonstram mais fielmente os resultados de redução sonora dos materiais e elementos construtivos em avaliação, pois estes estão sujeitos às transmissões diretas e indiretas (flancos). As simulações computacionais proporcionam, principalmente na fase de projeto, uma previsão do isolamento sonoro de uma determinada divisória, e também uma agilidade na obtenção dos resultados.

Ambos os estudos contribuem para um melhor entendimento sobre o comportamento de isolamento sonoro aéreo das diversas paredes utilizadas na construção civil, que podem ser erigidas por diferentes tipos de materiais e espessuras. Tal compreensão poderá servir de subsídios no processo de planejamento dos ambientes construídos para que esses sejam cada vez mais eficazes no isolamento sonoro aéreo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar o comportamento quanto à isolamento sonora aérea de paredes de alvenaria (divisórias verticais internas) utilizadas em edificações da construção civil brasileira, na cidade de Santa Maria/RS, através de ensaios experimentais em campo e de simulação computacional, considerando as recomendações da norma ISO 140 parte 4 e as diretrizes da norma europeia EN 12354 parte 1, respectivamente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a isolamento sonora aérea, em função da frequência e em termos de índices ponderados, a partir de ensaios em campo, de paredes de alvenaria empregadas na construção de edificações segundo recomendações de normativas internacionais;
- Estimar a isolamento sonora aérea entre ambientes levando em consideração as características físicas das paredes divisórias (dimensões, densidade, espessura, módulo de elasticidade) através de simulação computacional e aplicando as normativas europeias EN 12354 parte 1.

- Verificar as variáveis relacionadas com as propriedades físicas dos materiais que influenciam na simulação da determinação da redução sonora aérea de paredes em alvenaria;
- Classificar os resultados experimentais e da simulação computacional de acordo com as recomendações da norma brasileira ABNT NBR 15575 de desempenho acústico de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos.
- Contribuir com dados referentes à redução sonora aérea de campo de algumas paredes de alvenaria à projetistas;
- Fornecer subsídios às normas de desempenho de edificações.

1.3 Delimitação do trabalho

O trabalho limita-se à análise da isolamento sonora aérea de paredes de alvenaria internas de edifícios habitacionais da cidade de Santa Maria/RS. As paredes avaliadas no presente estudo são compostas por alguns dos blocos cerâmicos mais utilizados na construção civil brasileira (tijolo maciço, bloco cerâmico 6 furos e bloco cerâmico estrutural). As medições do isolamento sonoro aéreo de campo ocorreram em edificações vazias, e para as simulações computacionais utilizaram-se dados disponíveis na literatura.

1.4 Organização do trabalho

Essa dissertação está organizada da seguinte forma:

O Capítulo I apresenta uma breve Introdução a respeito do que trata o presente trabalho, juntamente com sua justificativa, objetivos e delimitação da pesquisa.

No Capítulo II pode-se observar a revisão de literatura que embasou o desenvolvimento do trabalho.

Os métodos e procedimentos para obtenção dos dados da redução sonora aérea em campo são apresentados no Capítulo III. Nesse capítulo são descritos os ambientes avaliados, as amostras ensaiadas, os equipamentos utilizados e a descrição do processo de ensaio em campo e das simulações computacionais.

O Capítulo IV relata os resultados obtidos para cada amostra com suas respectivas análises.

As conclusões e sugestões do trabalho são apresentadas no Capítulo V da dissertação.

Finalmente encerra-se com as referências bibliográficas adotadas e os apêndices.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Paredes de alvenaria

Paredes são elementos que separam o ambiente externo do interno, ou ambientes de uma mesma edificação. Conforme a NBR 15575 – 4, os sistemas de vedações verticais, tanto internas como externas, são porções dos edifícios habitacionais formados por elementos que limitam verticalmente o edifício e seus ambientes internos.

A construção de paredes utilizando unidades unidas por argamassa, denomina-se alvenaria. Tais unidades podem ser blocos cerâmicos (maciços ou vazados), de concreto, blocos de solo-cimento, pedras, etc. Segundo a ABCI (1990), a alvenaria moderna pode ser definida como construções formadas por blocos industrializados de diferentes materiais ligados entre si pela interposição de argamassa.

As paredes de alvenaria possuem funções como: resistência aos ventos, a impactos e ao fogo; estanqueidade; funções estéticas (dependendo do projeto); durabilidade; isolamento térmico e acústico (ABCI, 1990). As alvenarias cumprem funções de vedação vertical (alvenaria de vedação), externa e/ou interna, mas podem, também, fazer parte da estrutura de uma edificação, sendo denominada, de alvenaria resistente, portante ou alvenaria estrutural, pois além de suportar seu próprio peso, resiste a outras cargas. Segundo a NBR 15.575 de 2008, independentemente de serem estruturais ou de vedação, as paredes de alvenaria influenciam no desempenho de um edifício.

2.1.1 Paredes pesadas

Com relação à densidade das paredes, podemos dividi-las em duas categorias, paredes leves e paredes pesadas. Silva (2000), ao analisar a isolamento sonora aérea de diferentes paredes, utilizou classificação da CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), paredes leves com densidade superficial menor que 150 kg/m² e pesadas, com mais de 150 kg/m². Conforme Gerges (1992),

a perda de transmissão sonora (isolação) de uma parede tende a aumentar com a duplicação da massa ou da frequência a cada oitava. Ainda segundo o autor, para isolar ruídos necessita-se utilizar materiais com alta densidade superficial.

A densidade de uma parede de alvenaria pode variar de acordo com o material empregado e a espessura do revestimento de argamassa. Na Tabela 1, pode-se verificar a densidade média de alguns materiais empregados na construção civil brasileira.

Tabela 1 - Densidade média de materiais constituintes das alvenarias

Tipo de Material	Densidade Média (kg/m³)
Tijolo Maciço	1800 *
Tijolo Furado	1300 *
Bloco Estrutural	2000 **
Argamassa Revestimento	1900 *

*FONTE: ABNT NBR 6120

**FONTE: NETO, 2006. Densidade aproximada.

As espessuras das alvenarias dependem das dimensões do material utilizado, mas na grande maioria das construções brasileiras são utilizadas paredes com espessuras que variam de 15 a 25 cm, muitas vezes as mesmas são regulamentadas pelos códigos de obras e edificações dos municípios.

Considerando essas densidades, e que as paredes de alvenaria podem apresentar revestimento de argamassa, em ambos os lados de 1 a 2,5 cm, as vedações verticais construídas com esses materiais possuirão densidades médias variando entre 170 kg/m² a 375 kg/m², sendo classificadas como paredes pesadas.

2.2 Transmissão sonora aérea

Isolamento sonoro aéreo pode ser entendido como a capacidade de uma divisória, partição, ou até mesmo de um ambiente, em isolar, barrar sons e ruídos, ou parte desses, propagados pelo ar. Segundo Gerges (1992) o isolamento é uma maneira de diminuir a transmissão de energia sonora de um ambiente para outro.

Quando uma energia sonora incide sobre uma determinada superfície parte dela é refletida, outra é absorvida pelo material e o restante é transmitido ao outro ambiente (Fig. 1).

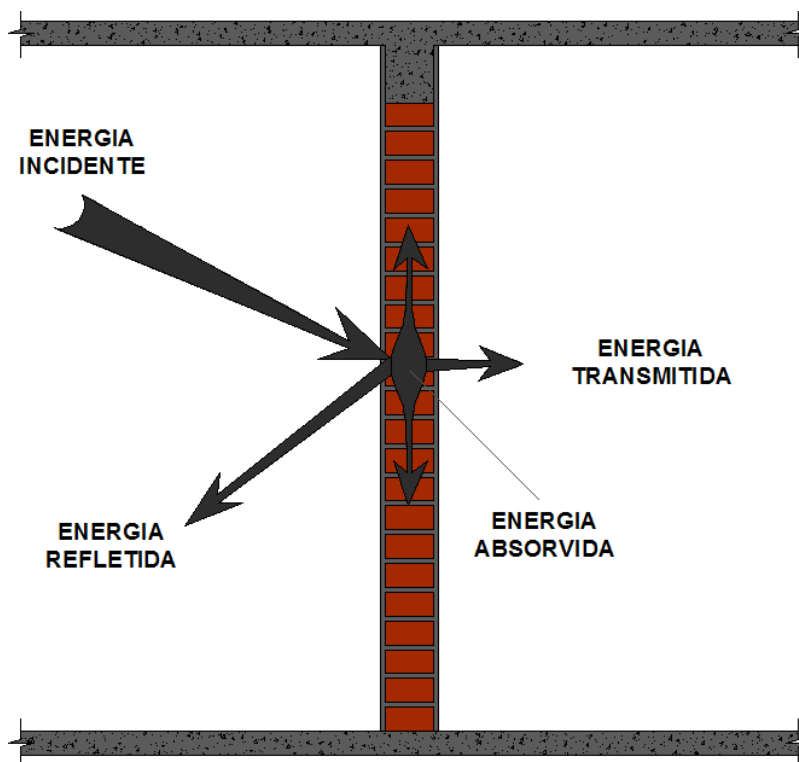


Figura 1 - Transmissão da energia sonora de um meio a outro.

A reflexão é a capacidade que corpos sólidos têm em devolver a onda sonora em outra direção ao meio, e absorção compete a materiais porosos e/ou fibrosos que dissipam a energia sonora em térmica através de múltiplas reflexões (GERGES, 1992). Os materiais possuem propriedades de isolamento e absorção de energia sonora, mas o que não quer dizer que um bom material isolante será um bom absorvedor, isso dependerá das características intrínsecas dos mesmos (SOUZA *et al.*, 2007).

Conforme Méndez *et al.* (1990) o isolamento de uma parede depende da diferença entre a energia incidente e a transmitida. Se relacionarmos a energia transmitida (E_t) com a energia incidente (E_i) obtém-se o coeficiente de transmissão sonora (τ), conforme a expressão:

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (1)$$

Esse coeficiente varia de 0 a 1, sendo que $\tau = 1$ significa que a energia transmitida é igual a incidente, ou seja, toda a energia foi transmitida de um ambiente para outro, $\tau = 0$ indica que nada foi conduzido.

Dessa forma, o coeficiente de transmissão sonora nos especifica o quanto de energia sonora está sendo transmitido, e para que se possa caracterizar a perda de transmissão sonora, devemos analisar o inverso desse coeficiente.

Segundo Crocker (1997), o desempenho de isolamento acústico de recintos pode ser determinado através da Redução Sonora (NR – *noise reduction*) e da Perda de Transmissão (TL – *transmission loss*, equivalente ao índice de redução sonora).

Pode-se dizer então, que a Perda de Transmissão Sonora (PTS) de uma divisória, expressa em dB, caracteriza o isolamento acústico da mesma. Gerges (1992) define a PTS como a relação logarítmica entre as energias incidente e transmitida, definida pela equação:

$$PTS = 10 \log \frac{E_i}{E_t} = 10 \log \frac{1}{\tau}. \quad (2)$$

Assim, quanto menor for o coeficiente de transmissão sonora maior será a Perda de Transmissão Sonora, e conseqüentemente o isolamento aos sons conduzidos por via aérea será maior.

2.2.1 Perda de transmissão sonora aérea de paredes simples

A isolação sonora aérea de paredes simples difere-se em cinco regiões: abaixo da frequência de ressonância (f_r), na f_r , entre a f_r e a frequência crítica (f_c), acima da f_c e na própria frequência crítica (GERGES, 1992). Dessa forma, o mesmo autor salienta que todas as bandas de frequência de interesse deverão ser consideradas.

A curva de perda de transmissão sonora aérea de uma parede simples pode ser dividida em zonas controladas de acordo com a variação da frequência, como: *Rigidez, Ressonância, Massa e Coincidência* (Fig. 2).

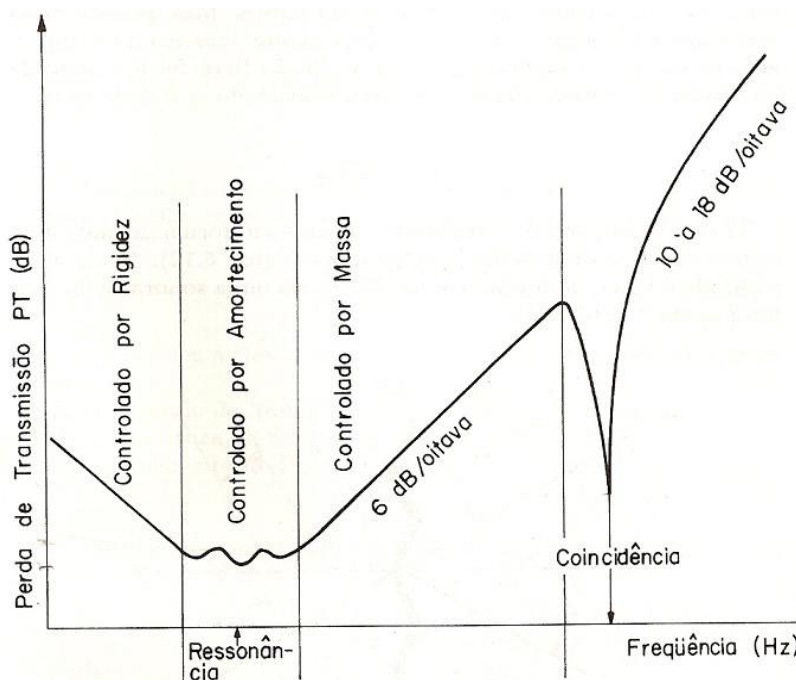


Figura 2 - Curva da Perda de Transmissão Sonora de Paredes Simples

Fonte: Gerges (1992).

A região da rigidez ocorre nas frequências muito baixas, nessa região o painel vibra como um todo e a perda de transmissão depende da rigidez do material. Tal perda aumenta 6 dB cada vez que reduz a frequência pela metade, abaixo da frequência de ressonância, ou com a duplicação da rigidez do material.

Na zona controlada pelo amortecimento, aparecem as primeiras frequências de ressonância (f_r) que controlam as perdas de transmissão. Nessa região há uma maior movimentação da parede e o som incidente é transmitido, ocorrendo quedas na PTS.

Já região na região controlada pela massa a Perda de Transmissão Sonora é influenciada tanto pela massa como pela frequência. Conforme Gerges (1992) a PTS aumenta 6 dB com a duplicação da massa ou da frequência (equação 3) – a cada oitava, válida somente para a região entre a frequência de coincidência e de ressonância. A equação 4 representa a perda de transmissão sonora de campo, o que representa melhor a realidade de redução sonora dos materiais.

$$PTS = 20 \log(mf) - 42,4 \text{ (dB)} \quad (3)$$

$$PTS_{campo} = PTS - 5 \text{ dB} \quad (4)$$

Onde:

m - massa superficial (kg/m²).

f - a frequência da onda incidente (Hz)

A perda de transmissão sonora é crescente com a lei da massa até a frequência crítica (f_c) onde ocorre o fenômeno de coincidência, o qual produz uma queda na PTS. Beranek (1971) cita que a frequência crítica ocorre quando a velocidade de propagação da onda de flexão na placa se iguala a velocidade de propagação do som no ar. Conforme o autor a frequência crítica pode ser expressa pela equação 6. Segundo Méndez *et al.* (1990), a frequência crítica depende da massa e da rigidez a parede e aumenta quando a rigidez do material diminui. E conforme Gerges (1992) a rigidez dinâmica à flexão pode ser expressa pela equação 7.

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_s}{B}} \text{ (Hz)} \quad (6)$$

$$B = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (7)$$

Onde:

c - velocidade de som no ar (m/s);

B - rigidez à flexão (Nm);

ρ_s - densidade superficial (kg/m²).

E - módulo de Young (N/m²);

h - espessura da parede (m)

ν - coeficiente de Poisson.

A determinação da frequência crítica em elementos construtivos do tipo paredes é importante, pois ela gera uma grande queda na PTS. Geralmente procura-se adotar um componente com frequência crítica muito alta ou muito baixa, que estejam situadas a uma região pouco sensível ao ouvido humano (Méndez *et al.*, 1990).

Paixão (2002) destaca que essas regiões caracterizam bem placas finas, e propõem um novo gráfico de comportamento para paredes espessas utilizadas em edificações (Fig. 3). Esse mesmo autor salienta que ocorre um deslocamento da frequência crítica para valores mais baixos ocasionados pelo aumento da espessura da parede.

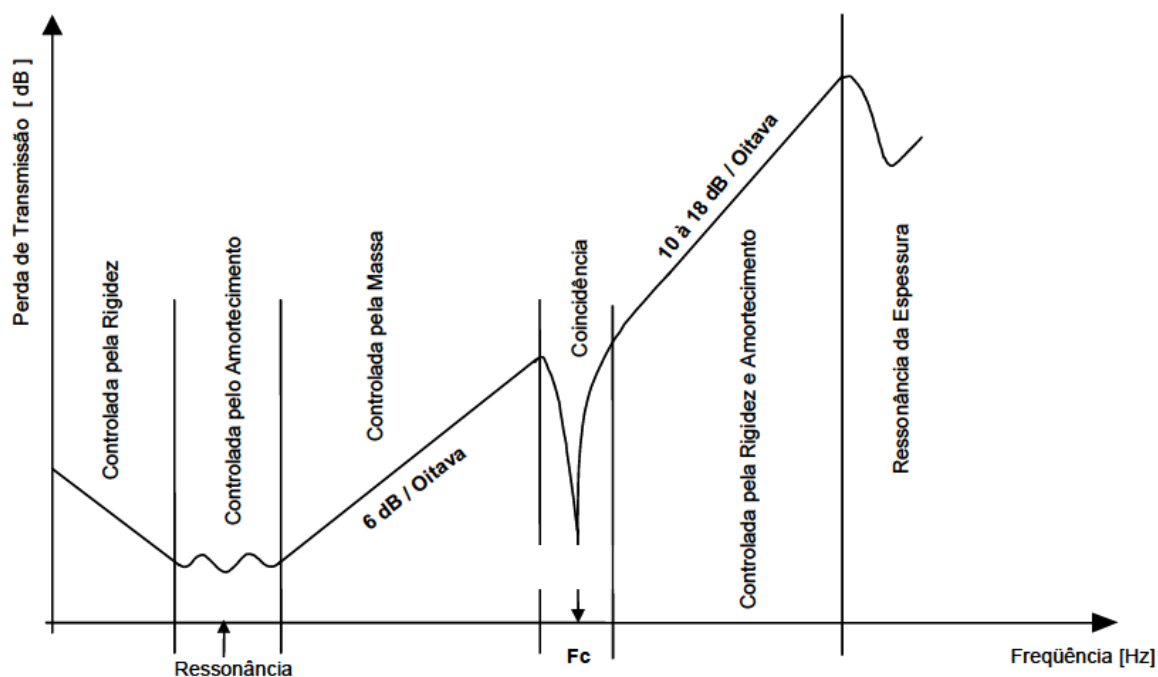


Figura 3 - Curva da Perda de Transmissão Sonora de Paredes Espessas - Alvenaria

Fonte: Paixão (2002).

A Figura 3 traz novas regiões após a coincidência, a primeira é controlada pela rigidez e amortecimento do material empregado na parede, onde ocorre um crescimento da curva de isolamento, e a segunda, onde ocorrem quedas na curva, controladas pelas ressonâncias da espessura da parede.

Ljunggren (1991) cita que a perda de transmissão nas baixas e médias frequências são similares às placas finas, porém nas altas frequências existe a presença de quedas na curva do isolamento devido às ressonâncias de espessura. O mesmo autor descreve que, nas altas frequências, o aumento da espessura da parede diminui o efeito das ressonâncias de espessura.

2.2.2 Perda de transmissão sonora aérea de paredes compostas

Paredes compostas são elementos de vedação vertical constituídas por mais de um tipo de material. Uma alvenaria rebocada, por possuir diferentes materiais (blocos cerâmicos e revestimento de argamassa), pode ser considerada com parede composta, assim como uma parede de alvenaria com uma porta de madeira, ou uma janela, etc. Segundo Paixão (2002), uma parede composta, por possuir materiais distintos, apresentará um isolamento sonoro aéreo específico para cada caso. Na realidade as paredes de ambientes são compostas por diferentes matérias, que muitas vezes possuem diferentes áreas e espessuras (Gerges, 1992). O mesmo autor cita que a perda de transmissão sonora total pode ser determinada pela seguinte equação:

$$PT = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i \tau_i} \quad (8)$$

Onde:

S – área do material (m²)

τ – coeficiente de transmissão sonora

Gerges (1992) relata que aberturas, frestas e etc. reduzem a perda de transmissão sonora, e que uma abertura de 1% da área total provoca uma queda no índice global de aproximadamente 30%, demonstrando isso com aplicação da equação acima. Pião *et al.* (2008) concluíram que a existência de aberturas numa partição provoca uma redução significativa no isolamento sonoro da parede, em especial ao nível das médias/altas frequências. Os mesmos ensaiaram uma parede de tijolos de 11 cm de espessura com diferentes aberturas de 36 cm², o R_w da parede sem aberturas resultou em 43 dB, e com aberturas variou de 30 a 33 decibéis.

2.3 Determinação do índice de redução sonora em campo

Para determinar a redução sonora aérea de uma parede, podem ser utilizados diferentes métodos, como ensaios laboratoriais e em campo, cálculos numéricos ou simulações computacionais.

Os estudos laboratoriais analisam amostras de determinados elementos isoladamente, como se essas fossem infinitas, representando assim, o

comportamento de isolamento específico do material analisado. Segundo Egan (1988), os dados de perda de transmissão sonora (PTS) de laboratórios refletem circunstâncias “idealizadas”, resultando em dados de PTS mais elevados do que os encontrados em edifícios.

Os índices de isolamento de laboratório são importantes, pois contribuem para uma melhor compreensão dos fenômenos acústicos, e colaboram para a formação de um banco de dados que poderá servir de elementos de entrada para simulações computacionais.

As análises em campo demonstram mais fielmente os resultados de redução sonora, pois estão sujeitas às transmissões diretas e indiretas (flancos). Conforme Kinsler (1982), o número único de isolamento medido em campo geralmente é menor do que o obtido laboratorialmente, ocasionado pelas transmissões por flancos e pela má construção em obra dos elementos.

Para realizar levantamentos de campo, recomenda-se a utilização da norma internacional ISO 140 parte 4, a qual especifica métodos para medir propriedades da redução sonora aérea de paredes, pisos e portas entre duas salas sob condições de campo sonoro difuso. Essa norma define algumas equações:

- **Diferença de Nível Padronizada (D_nT):** diferença de nível correspondente ao valor do tempo de reverberação da sala de recepção, em dB:

$$D_nT = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (9)$$

Onde:

L_1 - NPS medido na sala de emissão (dB);

L_2 - NPS medido na sala de recepção (dB);

T - Tempo de Reverberação da sala de recepção (s);

T_0 - Tempo de Reverberação de referência; para habitações, $T_0 = 0,5$ s.

- **Índice de Redução Sonora Aparente (R'):** diferença de nível correspondente ao valor da área de absorção da sala de recepção, em dB:

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

Onde:

L_1 - NPS medido na sala de emissão (dB);

L_2 - NPS medido na sala de recepção (dB);

S - Área do elemento de separação (m^2);

A - Área de absorção equivalente (m^2).

Em estudo sobre isolamento sonora e transmissão por flancos, Cocchi e Semprini (2003) ressaltam a importância de se levar em consideração esse tipo de transmissão, pois uma diferença de 3 dB equivale a um ganho de 50%, em se tratando de energia acústica. Conforme Neto e Bertoli (2008), em campo avalia-se o isolamento do sistema construtivo e não a isolamento do elemento construtivo, como em laboratório.

No projeto arquitetônico, é importante eliminar pontos de escape de energias sonoras e os trajetos por flancos que reduzem o desempenho, em campo, das partições instaladas nos edifícios (EGAN, 1988). A Figura 4 apresenta uma comparação entre as perdas de transmissão (TL – *transmission loss*) medidas em laboratório (*laboratory test*) e em campo (*field measured*) de uma parede de alvenaria espessa em função da frequência (*frequency*).

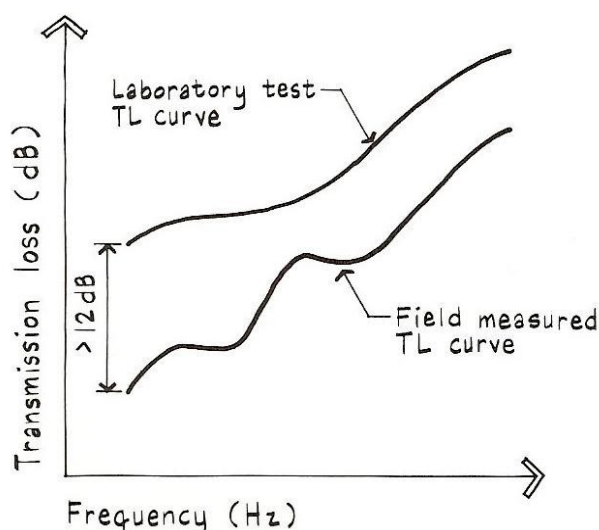


Figura 4 - Perdas de transmissão medidas em laboratório e em campo.

Fonte: Egan (1988).

Conforme Egan (1988) e Kinsler (1982), a perda de transmissão de uma parede analisada em campo pode resultar em 5 dB menos, quando comparada aos dados fornecidos pelo laboratório. Segundo Doelle (1972), os índices de isolamento

de campo são de 5 a 10 dB mais baixos do que os medidos sob o controle do laboratório (em condições ideais, de acordo com procedimentos predeterminados e bem organizados). De acordo com Taibo e Dayan (1984), que realizaram estudos comparativos de isolamento sonora aérea medida em laboratório e *in situ*, o resultado de campo ficou 6 dB abaixo do resultado obtido em laboratório

2.4 Quantificação de índices de redução sonora ponderados

A partir de medições, efetuadas em laboratório ou em campo (R' e D_{nT}), de acordo com as normas citadas, são obtidos índices da redução sonora aérea ou da diferença de nível padronizada em bandas de frequência de terço de oitava. Para facilitar a avaliação do isolamento acústico dos elementos ensaiados e a comparação desses com outros elementos, é recomendado adotar um número único, ponderado (R'_w e $D_{nT,w}$), para expressar simplificadaamente os resultados obtidos para cada banda de frequência.

A norma ISO 717 (Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation) define através de um método comparativo um valor único que caracterizará o desempenho acústico da amostra analisada. O método consiste em comparar os níveis de isolamento medidos, de um dado elemento, com a curva de referência padrão que possui valores tabelados de referência no intervalo de 100 a 3150 Hz para bandas de terço de oitava.

A comparação deve ser realizada através das curvas medida e a de referência, onde essa deverá ser deslocada, de 1 em 1 dB, na direção da curva medida. Tal deslocamento deverá ser feito até que a soma dos desvios desfavoráveis (aqueles que ocorrem quando o resultado de medição, para uma dada frequência, é inferior ao valor de referência) não seja superior a 32 dB ou a média entre o somatório dos desvios desfavoráveis e o número de bandas de terço de oitava, não exceda 2 dB (32 desvios desfavoráveis dividido por 16 bandas de frequência). Após esse procedimento, o número único do índice de redução sonora será o valor obtido a 500 Hz na curva de referência padrão.

2.5 Métodos numéricos de previsão da perda de transmissão sonora aérea em edificações

Expressões analíticas podem ser utilizadas para prever o isolamento de elementos das edificações. Garcia *et al.* (2008) verificaram uma boa concordância entre resultados experimentais e analíticos no estudo de isolamento sonoro aéreo de elementos de vedação maciços e duplos separados por uma camada de ar. Ferreira (2004) obteve bons resultados numéricos (realizados via simulação computacional) utilizando o processo de cálculo da norma EN 12354.

A norma européia EN 12354 (Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, Part 1: Airborne sound insulation between rooms) descreve um modelo de cálculo para verificar o desempenho acústico de transmissão sonora aérea de edificações, baseando-se no desempenho de isolamento de seus elementos (paredes, pisos, etc.) obtidos em laboratório de maneira normalizada.

O som não é transmitido somente por meio da parede ou do piso que separa as salas, é transmitido também por outros elementos, como paredes laterais, pisos ou tetos, o que pode ser definido como transmissão por flancos (Fig. 5).

A Figura 5 mostra os meios de transmissão da energia sonora, de quatro formas: D_d - trajeto direto; D_f , F_d e F_f - trajetos por flancos. A transmissão sonora total pode ser expressa em função do índice da redução sonora do elemento de separação e dos índices de redução sonora dos flancos.

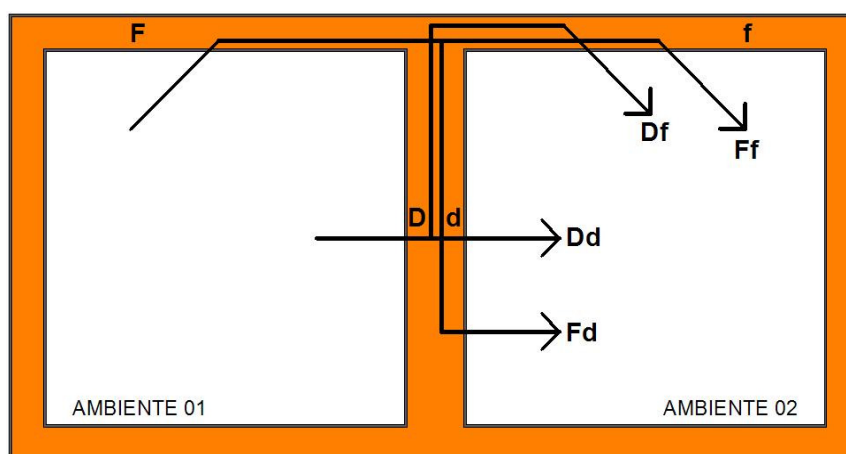


Figura 5 - Caminhos de transmissão sonora entre duas salas.

Fonte: Galbrun (2008).

Essa pequena descrição da norma EN 12354-1, conforme Galbrun (2008), mostra que a transmissão sonora depende das propriedades de isolamento dos

elementos que compõem os ambientes, em conjunto com as características de transmissão sonora das junções.

A EN 12354-1 tem as seguintes limitações:

- (a) Limita-se a uma transmissão entre duas salas adjacentes;
- (b) Limita-se a transmissões por flancos de primeira ordem e não pode ser adaptada para transmissões mais longas;
- (c) Considera somente ondas de flexão;
- (d) Destina-se a construções monolíticas e homogêneas pesadas, porém pode ser utilizada para outros tipos de construções, desde que aplicada às devidas correções.

2.5.1 Simulação computacional

As simulações computacionais também utilizam modelos de previsão para prever o comportamento de um determinado elemento (parede, teto, etc.) quanto ao isolamento sonoro aéreo, porém é uma ferramenta mais ágil.

Essas são vantajosas, pois através delas podem ser realizadas inúmeras composições de ambientes com diferentes tipos de materiais, a fim de verificar o desempenho acústico do mesmo, antes desse ser construído, utilizando um tempo reduzido e custo relativamente baixo, o que geralmente não ocorre nos levantamentos experimentais. Segundo Soriano e Fernández (2006), em um estudo realizado *in loco* com 251 amostras, concluíram que as medições em obra são lentas e requerem inúmeros recursos importantes, o que torna complicado obter resultados de vários elementos em pouco tempo.

Conforme Gerretsen (2003), os modelos de predição e computacionais são essenciais para aperfeiçoar acusticamente um edifício, e a exatidão dessas previsões depende dos dados de entrada, valores estes que são obtidos através dos ensaios normalizados. Ferreira (2004) verificou uma boa relação entre valores simulados, utilizando software com modelo de cálculo da norma europeia EN 12354, e dados de isolamento sonoro aéreo medidos em campo.

Conforme Ferreira e Zannin (2007), em um estudo comparativo entre medições *in loco* e simulação computacional, os resultados medidos em ambos os procedimentos são muito similares ou praticamente iguais.

2.6 NBR 15.575 – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos

A norma ABNT NBR 15575 - Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, aprovada em 2008 para tornar-se válida a partir de 2010, foi criada para melhorar o desempenho dos edifícios habitacionais brasileiros. Após consultas públicas a mesma entrará em vigor a partir de 2012, pois discussões mais profundas devem ser realizadas acerca de alguns aspectos, dentre eles o desempenho acústico.

Essa norma complementa outras como a NBR 10151 (Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento) e a NBR 10152 (Níveis de ruído para conforto Acústico), e descreve condições que uma edificação deve atender de habitabilidade e utilização. Os requisitos e critérios dessa norma podem ser aplicados a edifícios habitacionais com mais de cinco pavimentos se a análise em questão independe a altura do edifício, o que é o caso da isolamento sonora de paredes internas.

A parte 4 estabelece requisitos para avaliação do desempenho das vedações verticais externas e internas, por exemplo, paredes. Conforme a norma, as vedações verticais exercem, independentemente de serem estruturais ou apenas de vedação, funções importantes, dentre essas, isolamento acústico. O item 12 da parte 4 trata sobre o desempenho de isolamento acústico e estabelece critérios para medição e avaliação dos resultados, classificando-os em níveis de aceitação: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), que pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaio de campo.

ELEMENTO	$D_{nT,w}$ (dB)	NÍVEL DE DESEMPENHO
Parede de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores, halls e escadaria nos pavimentos-tipo.	30 a 34	M - recomendável
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede de dormitórios entre uma unidade habitacional e corredores, halls e escadarias nos pavimentos-tipo.	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Parede entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação).	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

NOTA: Admite-se uma incerteza de ± 1 dB na medição de $D_{nT,w}$.

Fonte: NBR 15575: 2008 – ANEXO F.

A NBR 15.575 recomenda, para a obtenção dos dados, dois métodos de medição em campo, o método simplificado de campo e o método de engenharia, sendo o último o mais recomendado. Para a realização dos ensaios a norma brasileira cita os procedimentos da norma internacional ISO 140-4, e como pode ser visto na Tabela 2, para classificar os resultados obtidos nas medições de campo em níveis de aceitação, deve-se utilizar a diferença de nível padronizada ponderada ($D_{nT,w}$). Essa norma não traz classificações de desempenho para índice de redução sonora aparente ponderado (R'_w).

A norma brasileira NBR 15.575 classifica alguns tipos de paredes, como pode ser observado na tabela 2, porém não considera alguns casos dentro de uma mesma unidade habitacional, como alvenarias entre dois dormitórios contíguos; ou entre dormitórios e áreas sociais (estar e jantar); ou entre dormitórios e setores de serviço (cozinhas e lavanderias), etc.

2.7 Desempenho de isolamento sonoro aéreo de alvenarias que compõem as edificações brasileiras

As edificações habitacionais brasileiras são compostas, em sua grande maioria, por paredes simples de alvenaria, apenas variando os materiais constituintes e as espessuras das mesmas. Com a evolução tecnológica, as paredes de alvenaria tornaram-se mais esbeltas e leves, prejudicando, de certa forma, o desempenho acústico das divisórias verticais das habitações brasileiras. Duarte (2005) demonstra em seu estudo a redução da densidade superficial das alvenarias brasileiras ao longo do tempo (Fig. 6).

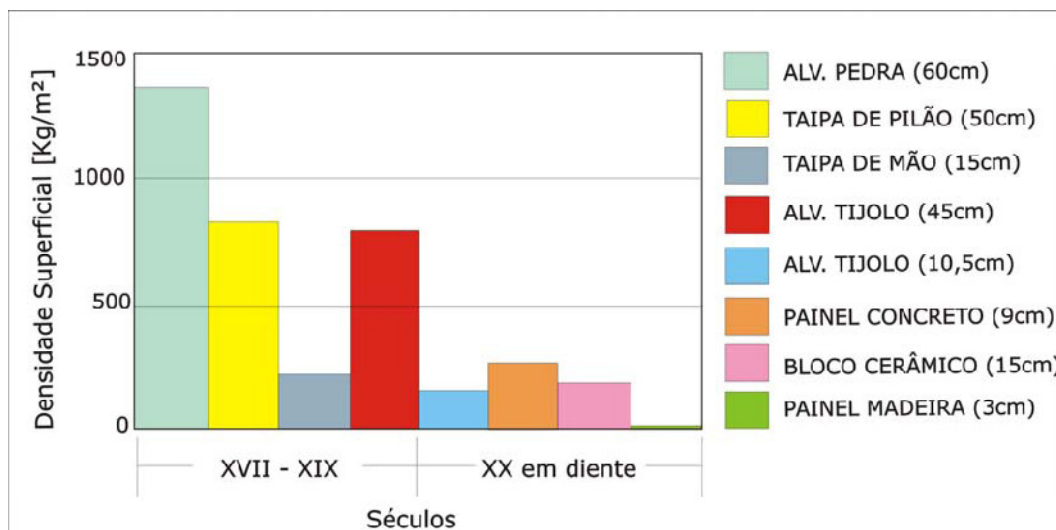


Figura 6 - Variação das espessuras das paredes de vedação da arquitetura brasileira.
Fonte: Duarte (2005)

Duarte e Viveiros (2007) demonstram que as vedações verticais (paredes) atuais são significativamente menos eficazes em comparação com as de antigamente, pois suas massas foram significativamente reduzidas. Conforme os mesmos autores, que aplicaram métodos analíticos em estudo, esses indicaram uma perda de 20 dB na isolamento das alvenarias, comparação realizada em razão da redução da densidade superficial dos casos extremos (Fig. 7).

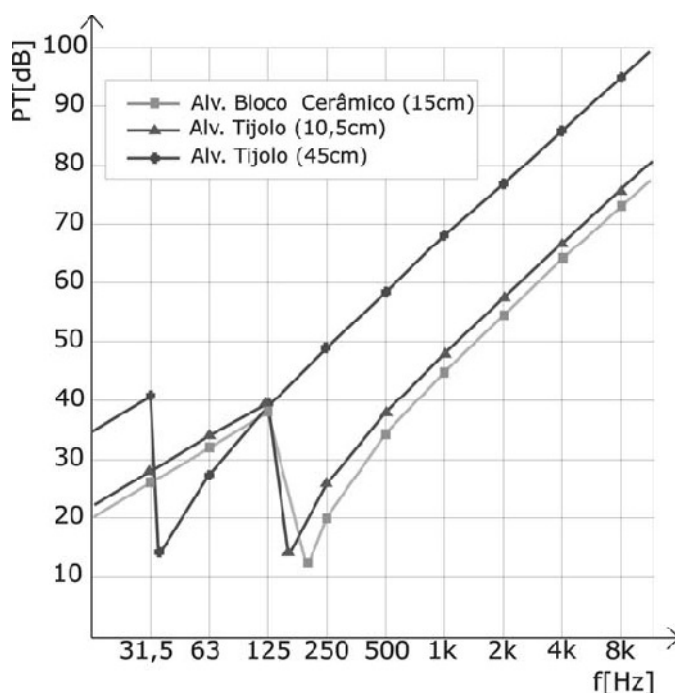


Figura 7 - Resultado analítico da isolamento sonora de paredes da arquitetura brasileira.
Fonte: Duarte e Viveiros (2007)

Na tabela 3, pode ser visualizado o índice de redução sonora aérea ponderado de algumas paredes simples pesadas atualmente utilizadas nas habitações brasileiras, e avaliadas em laboratório.

Tabela 3 - Resultados do índice de redução sonora aérea de alvenarias, de ensaios em laboratórios.

TIPO DE PAREDE	DIMENSÃO BLOCO (cm)	ESPESSURA TOTAL (cm)	DENSIDADE SUPERFICIAL (Kg/m ²)	R _w (dB)
Blocos Cerâmicos de Vedação com reboco de argamassa nos 2 lados	14x19x29	18	170,3	43
Blocos de Concreto (resist. 10MPa) com revestimento de gesso nos 2 lados	14x19x29	16	171	42
Blocos Cerâmicos Estruturais (resist. 12 MPa) com reboco de argamassa nos 2 lados	14x19x29	17,5	216,75	49
Blocos Cerâmicos Estruturais com reboco de argamassa nos 2 lados	14x19x29	19	239,8	50
Blocos de Concreto (resist. 10MPa) com reboco de argamassa nos 2 lados	14x19x29	17,5	241,5	51
Tijolo Maciço (resist. 10MPa) com reboco de argamassa nos 2 lados	5x10,5x22	15,5	290,5	50

Fonte: Silva (2000)

Como pode ser observado na tabela 3, a densidade superficial influenciou, em alguns casos, no desempenho de isolamento da parede, mas não é apenas essa característica física do material empregado que deve ser levado em consideração, o que pode ser visualizado na comparação entre a parede de tijolo maciço e de alguns blocos estruturais.

Neto (2006) também encontrou índice de redução sonora ponderado de 42 dB para uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos (7 MPa – resistência; 16 cm – espessura; argamassa dos 2 lados – revestimento) avaliada em laboratório.

Outro fator que contribui para um melhor desempenho da isolamento sonora das alvenarias é o revestimento de argamassa (chapisco + emboço + reboco), conhecido na prática da construção civil como reboco. Estudos comprovam essa influência, como mostrado por Friedrich (2010), que estudou a contribuição do revestimento de paredes de alvenarias no desempenho de isolamento sonoro aéreo (tabela 4).

Tabela 4 - Resultados experimentais de laboratório do isolamento sonoro aéreo de alvenarias.

TIPO DE PAREDE	DIMENSÃO BLOCO (cm)	ESPESSURA TOTAL (cm)	R _w SEM REBOCO (dB)	R _w COM REBOCO (dB)
Blocos Cerâmicos com reboco de argamassa (1,5 cm) nos 2 lados	19 x 19 x 29	22	43	47
Blocos Cerâmicos com reboco de argamassa (1,5 cm) nos 2 lados	14 x 19 x 29	18	38	43
Blocos Cerâmicos com reboco de argamassa (1,5 cm) nos 2 lados mais textura na emissão	14 x 19 x 29	18	38	44

Fonte: Friedrich (2010)

Segundo Friedrich (2010), o aumento do índice de redução sonora pode ser conferido ao acréscimo de revestimento (reboco) às paredes, pois esse influencia em uma menor transmissão sonora, na massa superficial, no amortecimento e na rigidez do sistema.

Os índices de isolamento apresentados representam paredes pesadas simples. Quando essas são compostas por diferentes materiais, além do revestimento de argamassa (reboco), o índice global de isolamento cai. Recchia (2001), em estudo de elementos construtivos da fachada, demonstra a queda na curva de isolamento de uma alvenaria simples após a instalação de uma janela em uma parede de blocos cerâmicos. Nesse estudo observa-se que a curva de isolamento da parede simples localiza-se entorno dos 40 dB, mas quando a mesma é composta por uma janela o isolamento diminui, ficando próximo do isolamento da janela utilizada.

Os dados anteriores são referentes a experimentos em laboratório, com situações idealizadas, sendo que as paredes de alvenaria avaliadas em campo fazem parte de um sistema maior e mais complexo, apresentando quedas na perda de transmissão sonora por razão das passagens por flancos.

Resultados da $D_{nT,w}$, encontrados por Neto e Bertoli (2008), alcançaram valores de 42 dB para uma parede de geminação, avaliada em campo, constituída por blocos cerâmicos de 14 cm e revestimento de 1,0 cm de gesso em ambos os lados. Os mesmos concluíram que tal parede se enquadra no desempenho mínimo exigido pela NBR 15575, porém, em termos de conforto acústico, esse resultado

está abaixo das expectativas do usuário, cujo desejo é não ouvir a conversa do vizinho ao lado.

Ferreira (2004), em estudo da avaliação acústica de residências por meio de ensaios em campo e simulações computacionais obteve uma boa correspondência entre os resultados medidos e simulados computacionalmente. O mesmo encontrou resultados compreendidos entre 25 e 31 decibéis para paredes de alvenaria (tabela 5), resultados com grandes diferenças em relação aos encontrados pelos outros autores citados anteriormente.

Tabela 5- Resultados do isolamento sonoro aéreo medido em campo de alvenarias de residências

TIPO DE PAREDE	DIMENSÃO BLOCO (cm)	VARIAÇÃO DO R_w (dB)
Blocos cerâmicos de 6 furos assentados em pé rebocados em ambos os lados	9 x 14 x 19	25 a 31
Blocos de concreto com reboco em ambos os lados	14 x 19 x 29	25 a 26

Fonte: Ferreira (2004)

3 MATERIAL E MÉTODOS

A determinação da isolamento sonora aérea de paredes de vedação interna, compostas por diferentes materiais e com espessuras diferenciadas, foi efetuada através de medições acústicas em campo e de simulação computacional, seguindo principalmente as recomendações da norma ISO 140 (parte 4) e da norma europeia EN 12354 (parte 1) respectivamente. As avaliações das paredes de vedação interna foram realizadas em três edifícios habitacionais da cidade de Santa Maria/RS, denominados neste estudo de edifícios A, B e C.

Os resultados foram focados na obtenção da Diferença de Nível Padronizada (D_{nT}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R').

3.1 Medições de campo do isolamento sonoro aéreo

3.1.1 Normas técnicas de referência

A isolamento acústica das paredes foi determinada através de medições *in loco*, em termos da diferença padronizada de nível D_{nT} , e realizadas de acordo com as diretrizes das normas internacionais ISO 140 parte 4. A norma ISO 354 foi aplicada para mensurar o tempo de reverberação na sala de recepção, utilizado para corrigir a absorção sonora equivalente do ambiente.

A quantificação do número único, a diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$, foi realizada conforme a norma ISO 717 parte 1.

3.1.2 Equipamentos de medição

Na medição dos níveis de pressão sonora e dos tempos de reverberação foram utilizados os seguintes equipamentos: medidor de nível de pressão sonora tipo 1, modelo Blue Solo, marca 01dB; microfone de precisão, marca GRAS; pré-amplificador de microfone, marca GRAS; calibrador acústico tipo 1 (1.000 Hz, 94 dB,

ref. 20 μPa), modelo 4231, marca Bruel & Kjaer; fonte sonora, modelo 4224, marca Bruel & Kjaer; programa computacional dBBAti para aquisição dos sinais e cálculos dos índices sonoros, e computador portátil.

Na medição dos níveis de pressão sonora nas salas de emissão e recepção foi utilizado ruído aleatório de banda larga (ruído branco), e para medir o tempo de reverberação, o mesmo tipo de ruído foi empregado, porém, com interrupção da fonte sonora. Os níveis de pressão sonora foram registrados em bandas de terço de oitava na faixa de frequências entre 100 a 5.000 Hz.

3.1.3 Condições ambientais e posicionamento dos equipamentos

Durante a realização das medições a temperatura do ar esteve compreendida entre 23,0°C e 26,8°C e a umidade relativa entre 65% e 76%. O microfone foi posicionado a uma altura, com relação ao piso, de 1,35 m em, em cinco pontos diferentes, tanto na sala de emissão como de recepção. Os afastamentos do microfone, com relação aos pontos de medição, paredes da sala e fonte sonora, foram orientados conforme as recomendações da ISO 140-4. A figura 8 ilustra a montagem dos equipamentos.



Figura 8 - Representação da montagem de equipamentos e medição da isolamento acústica de parede de alvenaria.

3.2 Simulações computacionais

Para a realização das simulações computacionais utilizou-se o programa Bastian, versão 2.3.94, o qual utiliza procedimentos de cálculo da norma europeia

EN 12354-1, onde esses não consideram apenas a passagem direta através da amostra, analisa também as passagens indiretas, por flancos, o que ocorre em campo, aproximando-se da realidade. O programa Bastian também leva em consideração as características dos ambientes analisados e das paredes ensaiadas experimentalmente, como o tipo de conexão entre os elementos de vedação (paredes, lajes e tetos) e o material utilizado nesses elementos. Na figura 9 pode ser visualizar a área de trabalho do programa.

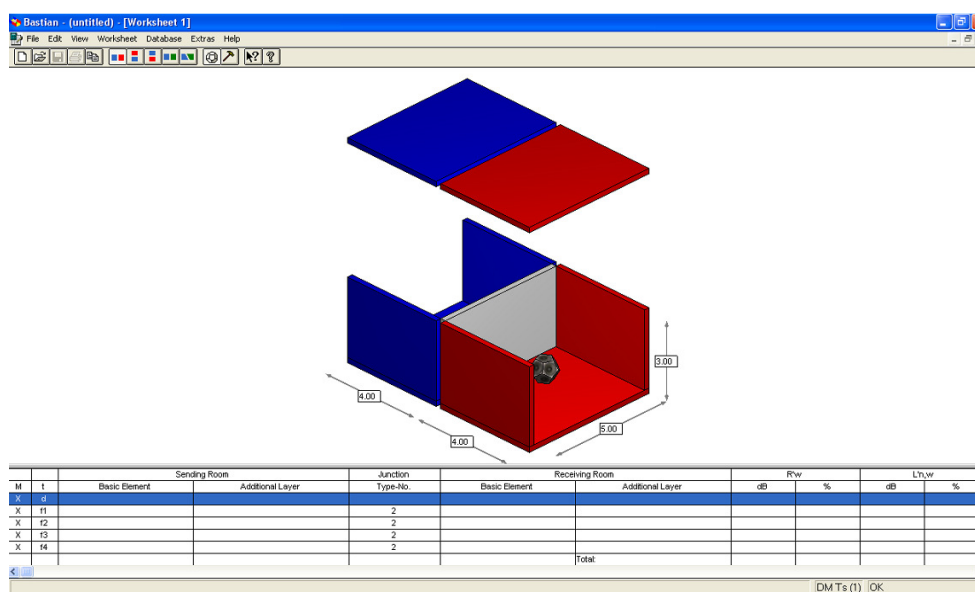


Figura 9 – Área de trabalho do programa computacional utilizado nas simulações da isolamento sonora das paredes avaliadas neste estudo.

O programa Bastian já possui um banco de dados composto por elementos construtivos com parâmetros de isolamento sonora aérea medidos em laboratório, porém, os resultados levados em consideração pelo programa não refletem a realidade dos materiais utilizados no Brasil. Dessa forma, foi realizado um banco de dados para verificar os resultados das curvas de isolamento sonoro aérea e o índice de redução sonora de alvenarias testadas em laboratório (Laboratório UFSM) e publicados na literatura para servirem de dados de entrada no programa computacional, refletindo assim, uma melhor relação com os materiais brasileiros.

As frequências críticas das paredes analisadas foram calculadas com base em propriedades dos materiais obtidos da literatura, como módulo de Young, coeficiente de Poisson e densidade. Na tabela 6 podem ser visualizadas as características e propriedades das paredes de tijolos maciços de 15 e 22 cm de

espessura (PTM15 e PTM22); das divisórias verticais, compostas por blocos cerâmicos furados, com espessura de 15 e 20 cm (PTF15 e PTF20); e das paredes de alvenaria estrutural constituídas por blocos cerâmicos com resistência à compressão de 8 e 10 MPa, todas com 17 cm de espessura, e que compõem os edifícios residenciais B e C (PAE17/8B, PAE17/10B, PAE17/10C1, PAE17/10C2, PAE17/10C3).

Tabela 6 – Características físicas e frequência crítica calculadas das amostras analisadas.

Amostra	Espessura (m)	Módulo Elasticidade (N/m ²)	Coefficiente Poisson	Densidade (kg/m ³)	Frequência crítica (Hz)
PTM15	0,15	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	1800*	150
PTM22	0,22	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	1800*	102
PTF15	0,15	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	1300*	127
PTF20	0,20	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	1300*	95
PAE17/8B	0,17	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	2000**	140
PAE17/10B	0,17	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	2000**	140
PAE17/10C1	0,17	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	2000**	140
PAE17/10C2	0,17	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	2000**	140
PAE17/10C3	0,17	1,4 x 10 ¹⁰	0,2	2000**	140

* ABNT NBR 6120.

** NETO, 2006.

3.3 Paredes de alvenaria ensaiadas

No presente trabalho foram selecionadas diferentes amostras de paredes de alvenaria de habitações, de acordo com o tipo de material empregado nas suas construções e espessura final, após receber revestimento de argamassa, compondo assim, amostragens com materiais e espessuras variados.

3.3.1 Paredes ensaiadas no Residencial A

O edifício residencial A (Fig. 10), onde ocorreram algumas das medições, é composto por quatro pavimentos, e foi construído com um sistema de estruturação mista: estrutura em concreto armado no térreo (pilares e vigas com alvenaria de vedação) e paredes portantes (estruturantes) nos demais pavimentos.





Figura 10 - Vistas frontais, de ângulos diferentes do edifício residencial A.



O térreo é utilizado como hall de entrada, salão de festas e garagens, e os demais pavimentos são compostos por dois apartamentos por andar, totalizando seis unidades habitacionais.

No primeiro e segundo pavimentos as alvenarias portantes são compostas por tijolos cerâmicos maciços rebocados com argamassa de ambos os lados, sendo que nesses andares existem duas espessuras diferentes de paredes internas: parede de tijolo maciço de 15 cm (PTM15) e de 22 cm (PTM22).

As paredes do terceiro e último pavimento foram construídas com blocos cerâmicos de 6 e 4 furos, possuindo assim, dois tipos de espessuras de paredes internas: parede de tijolo furado de 15 cm (PTF15) e de 20 cm (PTF20). As características dos fechamentos utilizados na construção das paredes podem ser vistas na tabela 7.

Tabela 7 – Tipo e características dos fechamentos de cada amostra, do edifício residencial A.

Amostra	Parede de tijolo	Dimensão do bloco (cm)	Espessura da parede com revestimento (cm)	Densidade média* (kg/m ³)
PTM22	 maciço	17 x 5 x 22	22	1800
PTM15	 maciço	10 x 5 x 22	15	1800

PTF20		6 furos	15 x 10 x 19	20	1300
PTF15		4 furos	10 x 10 x 19	15	1300

* Determinada conforme a norma ABNT NBR 6120.

As medições foram realizadas em paredes de alvenarias do setor íntimo dos apartamentos, mais especificamente entre divisórias verticais de dormitórios contíguos. Também pode ser observada a proximidade entre as portas de acesso aos dormitórios, principalmente entre os dormitórios 1 e 2. A localização das mesmas pode ser vista nas na figura 11.

Na tabela 8 são especificados as áreas das amostras e os volumes das salas de emissão e recepção.

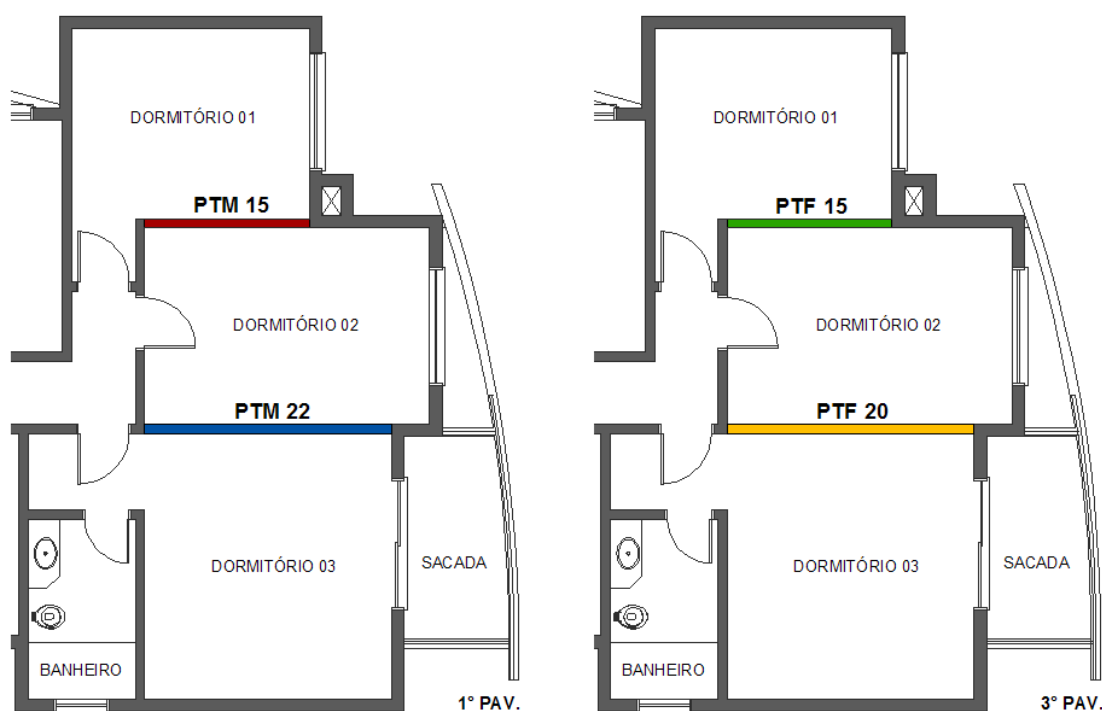


Figura 11 - Planta Baixa esquemática parcial do edifício residencial A com a localização das paredes ensaiadas.

Tabela 8 – Áreas das amostras ensaiadas e volume das salas, do edifício residencial A.

Amostra	Área da amostra (m ²)	Volume sala emissão (m ³)	Volume sala recepção (m ³)
PTM 22	10,5	50,2	37,7
PTM 15	7,0	37,7	33,1
PTF 20	10,5	50,2	37,7

PTF 15	7,0	37,7	33,1
--------	-----	------	------

No edifício residencial A, quatro divisórias foram avaliadas, duas compostas por tijolos cerâmicos maciços e as demais com tijolos cerâmicos de seis e quatro furos. As paredes que são compostas pelo mesmo tipo de material diferenciam-se pela espessura final da alvenaria (considerando 2,5 cm de argamassa em ambas as faces) e pelas dimensões dos blocos utilizados.

3.3.2 Paredes ensaiadas no Residencial B

O edifício residencial B é composto por sete pavimentos, sendo o primeiro pavimento composto por duas unidades habitacionais e os demais andares (pavimento tipo) possuem quatro unidades, totalizando vinte e seis apartamentos (Fig. 12). Na construção desse edifício foi utilizado o sistema de alvenaria estrutural, sistema pelo qual a própria alvenaria, dimensionada por meio de cálculos racionalizados, além de servir de vedação, estrutura e sustenta o edifício.



Figura 12 - Edifício Residencial B.



Nesse processo, empregam-se blocos com resistências à compressão de acordo com a carga a ser resistida, onde geralmente, dependendo do número de pavimentos, serão empregados blocos com resistências diferentes, ou seja, os primeiros pavimentos necessitam resistir à carga de todos os demais que ficam

acima dos mesmos, e assim sucessivamente. Com isso os primeiros pavimentos dos edifícios construídos com esse sistema terão blocos com resistência à compressão maior, se comparados com pavimentos intermediários ou mais elevados.

Nessa unidade habitacional foram analisadas duas composições de paredes compostas por blocos de alvenaria estrutural com revestimento de argamassa, em ambos os lados, de 1,5 cm. Os ensaios ocorreram no segundo e quarto pavimentos, onde foram empregados blocos de mesma dimensão, porém com resistências à compressão diferenciadas.

As características dos fechamentos utilizados na construção das paredes podem ser vistas na tabela 9.

Tabela 9 – Tipo e características dos fechamentos de cada amostra, do edifício residencial B.

Amostra		Parede	Dimensão do bloco (cm)	Resistência do bloco (MPa)	Espessura parede (cm)	Densidade média (kg/m ³)
PAE17/8B		Alvenaria Estrutural	14 x 19 x 29	8	17	2000*
PAE17/10B		Alvenaria Estrutural	14 x 19 x 29	10	17	2000*

* NETO, 2006.

No edifício residencial B, as medições foram realizadas em paredes de geminação, ou seja, alvenaria que separa duas unidades habitacionais contíguas. A parede analisada pode ser vista na planta baixa esquemática mostrada na figura 13, essa possui a mesma localização em planta baixa para as duas amostras analisadas, o que as diferencia é o pavimento do edifício onde estão localizadas e a resistência do bloco. No segundo pavimento foram executadas paredes de alvenaria estrutural com blocos de resistência à compressão de 10 MPa (PAE17/10B) e no quarto pavimento foram utilizados blocos de 8 MPa (PAE17/8B). Ambas as amostras possuem espessura final de parede, com revestimento de argamassa, de 17 cm.

Na tabela 10 são especificados as áreas das amostras e os volumes das salas de emissão e recepção.

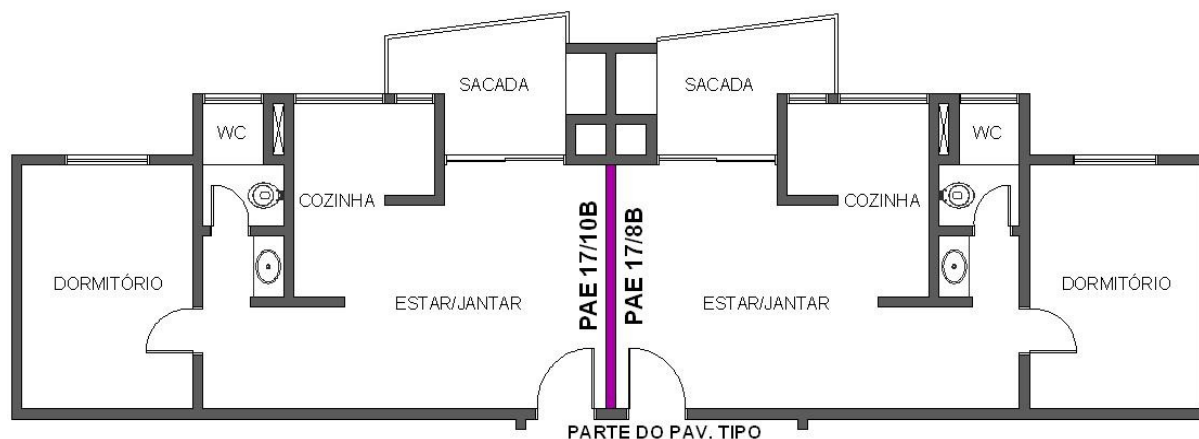


Figura 13 - Planta Baixa esquemática parcial do edifício B com a localização das paredes ensaiadas.

Tabela 10 – Áreas das amostras ensaiadas e volume das salas, do edifício residencial B.

Amostra	Área da amostra (m²)	Volume sala emissão (m³)	Volume sala recepção (m³)
PAE17/8B	9,50	53,10	53,10
PAE17/10B	9,50	53,10	53,10

Duas divisórias foram avaliadas no Edifício Residencial B, ambas compostas por blocos cerâmicos estruturais de mesmas dimensões e espessura de revestimento (reboco), diferenciando-se apenas pela resistência à compressão do bloco.

3.3.3 Paredes ensaiadas no Residencial C

O edifício residencial C foi executado com o mesmo sistema construtivo do residencial B – alvenaria estrutural, e é composto por 9 pavimentos (Fig. 14).




Figura 14 - Vista do edifício residencial C (edifício primeiro plano).

No térreo encontram-se as garagens e o salão de festas, e nos pavimentos tipo 5 apartamentos, totalizando 40 unidades de habitação.

As características dos fechamentos utilizados na construção das paredes podem ser vistas na Tabela 11.

Tabela 11 – Tipo e características dos fechamentos de cada amostra, do edifício residencial C.

Amostra	Parede	Dimensão do bloco (cm)	Resistência do bloco (MPa)	Espessura parede (cm)	Densidade média (kg/m ³)
PAE17/10C1	 Alvenaria Estrutural	14 x 19 x 29	10	17	2000*
PAE17/10C2					
PAE17/10C3					

* NETO, 2006.

Os ensaios ocorreram no primeiro pavimento, onde foram empregados blocos estruturais com resistência à compressão de 10 MPa e revestimento de argamassa de 1,5 cm em ambos os lados. A localização das alvenarias ensaiadas pode ser vista na planta baixa esquemática da unidade habitacional C (Fig. 15).

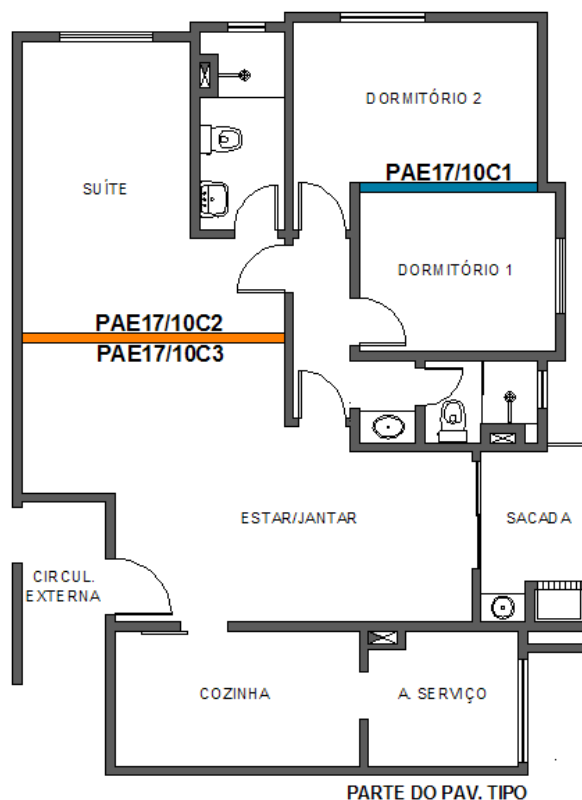


Figura 15 - Planta Baixa esquemática parcial do edifício C com a localização das paredes ensaiadas.

As amostras diferenciam-se pela sua localização entre as salas de emissão e recepção, pois as medições ocorreram em paredes entre dormitórios (PAE10/C1) e sala de estar/jantar versus suíte (PAE10/C2 e PAE10/C3). Nessa última, o que as diferencia são as salas de emissão e recepção: PAE10/C2 - estar/jantar (emissão) e suíte (recepção) e PAE10/C3 - suíte (emissão) e estar/jantar (recepção). As áreas das amostras e os volumes das salas são especificados na tabela 12.

Tabela 12 – Áreas das amostras ensaiadas e volume das salas, do edifício residencial C.

Amostra	Área da amostra (m ²)	Volume sala emissão (m ³)	Volume sala recepção (m ³)
PAE17/10C1	7,55	28,11	21,28
PAE17/10C2	11,13	63,76	39,22
PAE17/10C3	11,13	39,22	63,76

No edifício residencial C foram realizadas 3 análises, ambas compostas pelo mesmo bloco cerâmico estrutural, com dimensões, resistência à compressão e espessura de revestimento (reboco) iguais, diferenciando-se pela área de amostra, volumes das salas de emissão e recepção e localização na planta baixa.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Resultados dos ensaios de campo

4.1.1 Resultados do edifício Residencial A

A seguir são apresentados os resultados da determinação da diferença padronizada de nível obtidos a partir dos níveis de pressão sonora medidos na sala de emissão (NPS1) e na sala de recepção (NPS2), assim como também do tempo de reverberação na sala de recepção (TR). Os valores médios de NPS1, NPS2 e TR, respectivamente, em bandas de frequências de terço de oitava, na faixa entre 100 e 5.000 Hz, para as avaliações da isolamento sonora das paredes de alvenaria do edifício residencial A podem ser vistos no apêndice A.

Os resultados da diferença padronizada de nível, por bandas de terço de oitava, das paredes de tijolo maciço (PTM22 e PTM15) e de tijolo furado (PTF20 e PTF15) podem ser visualizados nas Figuras 16 e 17, respectivamente. Também são apresentadas as curvas padrões de cada amostra para que possam ser visualizados os desvios positivos e negativos.

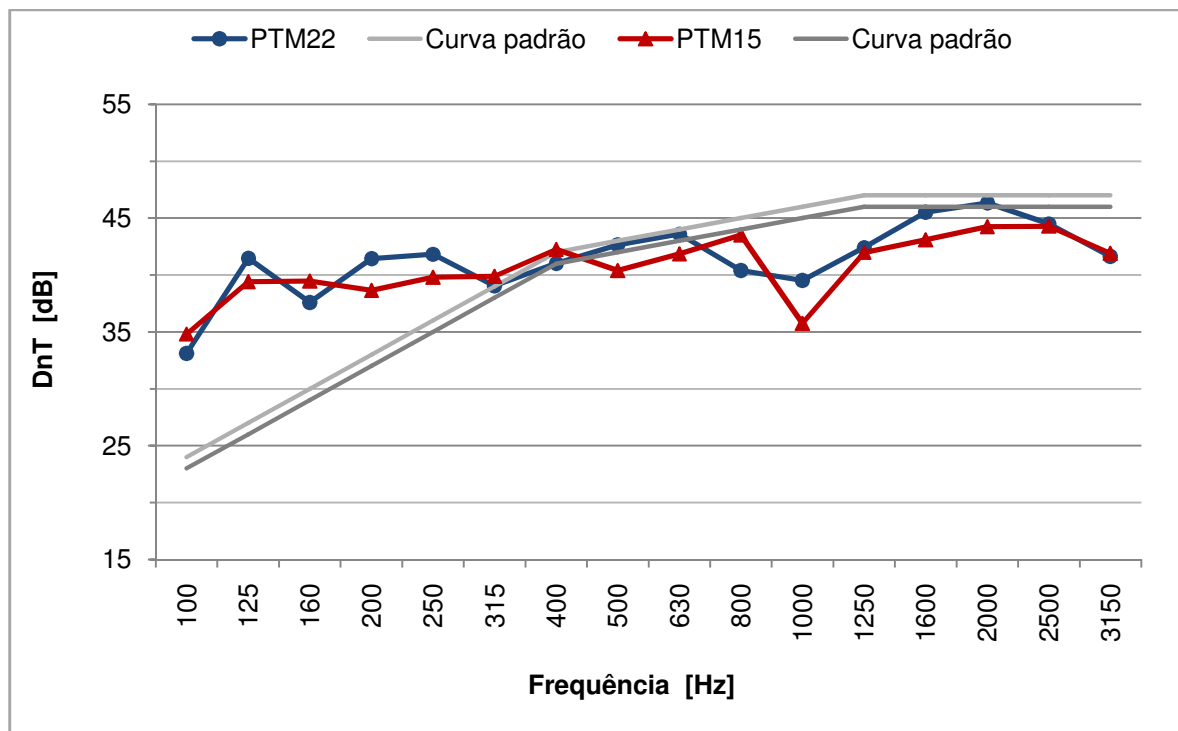
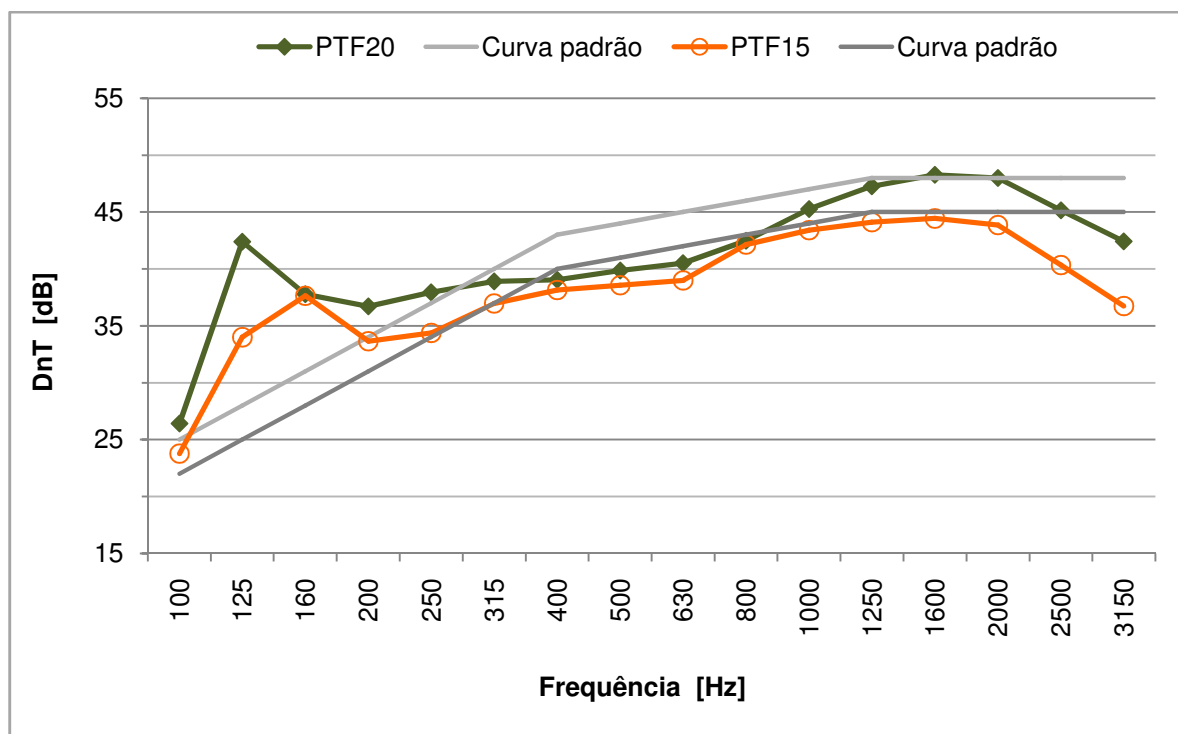


Figura 16 - Diferença padronizada de nível das paredes de tijolo maciço PTM22 e PTM15.



Figuras 17 - Diferença padronizada de nível das paredes de tijolo furado: PTF20 e PTF15.

Comparando os espectros da diferença padronizada de nível das paredes de tijolos maciços de 22 cm (PTM22) e 15 cm (PTM15), na Figura 16, observa-se, de uma forma geral, que as curvas de isolamento dessas amostras são bastante

próximas, mesmo com uma diferença de 7 cm na espessura final. Os valores da diferença padronizada de nível estão em torno dos 40 dB para as paredes PTM22 e PTM15, na faixa de frequência entre 125 e 800 Hz, e dos 45 dB, na faixa entre 1.600 e 2.500 Hz. Na banda de frequência de 1.000 Hz observa-se uma queda na diferença padronizada de nível das paredes, onde essa é mais acentuada para a PTM15.

Na Figura 17, comparam-se os espectros da diferença padronizada de nível das paredes de tijolos furados de 20 cm (PTF20) e 15 cm (PTF15), e verifica-se uma similaridade no delineamento das curvas, porém, a parede PTF 20 apresenta uma maior isolamento sonora em toda a faixa de análise, entre 100 e 5.000 Hz. Nas bandas de frequência de 160 Hz e 500 Hz os valores de D_{nT} , para as duas amostras, estão abaixo dos 40 dB, e a partir dos 630 Hz esses valores começam a ascender, onde a amostra PTF20 atinge, aproximadamente, 48 dB nas bandas de frequência de 1.600 e 2.500 Hz. Acima de 1.000 Hz a parede de tijolo PTF20 possui uma nítida melhora com relação a parede de tijolo PTF15, mesmo apresentando uma queda a partir dos 2000 Hz, o que também ocorre na parede PTF15. Constatase que uma maior isolamento da parede PTF20 está associada com o aumento da espessura em 5 cm.

Na Figura 18, são apresentadas as diferenças de nível de pressão sonora entre os valores da diferença padronizada de nível e a respectiva curva padrão, para cada parede de alvenaria avaliada, na faixa de bandas de frequência entre 100 e 3.150 Hz.

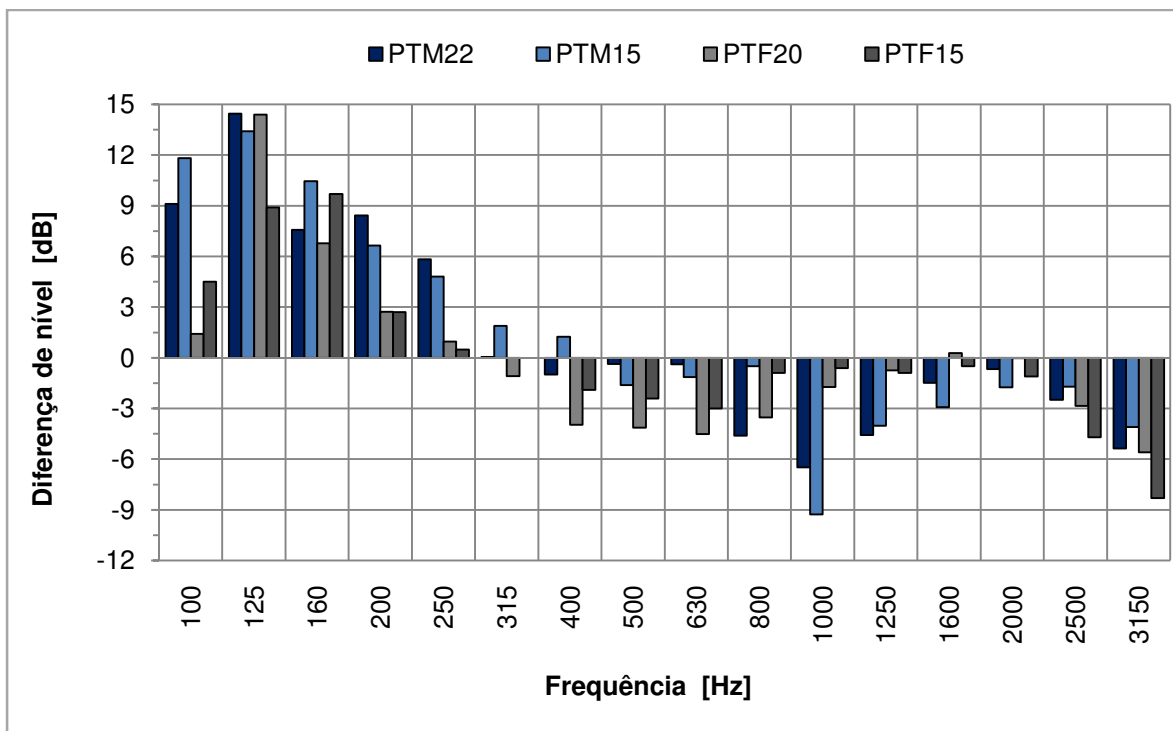


Figura 18 - Diferença comparativa entre a diferença de nível padronizada e a respectiva curva padrão, das paredes analisadas do edifício residencial A.

Os valores positivos da diferença padronizada de nível (D_{nT}) indicam que os valores obtidos experimentalmente da D_{nT} são superiores aos valores da curva de referência ajustada para a determinação da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$. Os valores negativos da diferença padronizada de nível (D_{nT}) correspondem aos desvios desfavoráveis em relação à curva de referência, e estes valores são usados na determinação do número único $D_{nT,w}$.





Os desvios favoráveis, que correspondem às diferenças positivas entre a diferença padronizada de nível e a respectiva curva de referência, para as quatro paredes de alvenaria avaliadas, estiveram entre as bandas de frequência de 100 a 250 Hz, o que significa um isolamento superior ao padrão nessas frequências. Os maiores desvios favoráveis foram alcançadas na frequência de 125 Hz, para as paredes PTM22, PTM15 e PTF20, com valores em torno dos 14 dB.

Os desvios desfavoráveis alcançaram valores negativos entre as bandas de 500 e 3.150 Hz, para as quatro paredes de alvenaria avaliadas. Para as paredes de tijolo maciço PTM22 e PTM15, na banda de frequência de 1.000 Hz, os desvios alcançaram valores 6,5 e 9,3 dB. Por outro lado, para as paredes de tijolo furado

PTF20 e PTF15 os desvios ficaram em torno de 5,6 e 8,3 dB, respectivamente, na banda de frequência de 3.150 Hz.

Os resultados descritos na Tabela 13 demonstram que as amostras ensaiadas no edifício residencial A atendem aos níveis mínimos (M) de desempenho da NBR 15575-4, de acordo com valores obtidos através da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$ e classificação das amostras como paredes entre dormitórios de uma unidade habitacional e corredores, halls e escadarias nos pavimentos-tipo, já que a norma não possui classificação específica para avaliar paredes entre dormitórios de uma mesma unidade habitacional.

Tabela 13 - Classificação do nível de desempenho das paredes do residencial A.

Amostra	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho ($D_{nT,w}$)
PTM22 	43	M
PTM15 	42	M
PTF20 	44	M*
PTF15 	41	M

*O nível de desempenho dessa amostra pode ser Intermediário – incerteza de ± 1 dB.

A norma NBR 15575 classifica os níveis de desempenho das alvenarias avaliadas em campo de acordo com os resultados da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$. A determinação da diferença padronizada de nível ponderada, através da norma ISO 140 parte 4, supõe que o ambiente avaliado em campo está mobiliado. Nesse caso a avaliação deverá ser efetuada através do índice de redução sonora aparente R'_w , pois R' é corrigido pela área de absorção da sala receptora, e supõe que existam campos sonoros suficientemente difusos em ambas as salas (emissão e recepção), já a diferença padronizada de nível ponderada D_{nT} é ajustada pelo tempo de reverberação, utilizando $T_0 = 0.5$ s, valor de referência para moradias com mobília.

Os valores do índice de redução sonora aparente R'_w para as alvenarias PTM22, PTM15, PTF20 e PTF15, em dB, são 41, 40, 42 e 39, respectivamente.

Nessa situação a amostra PTF15 não atenderia o mínimo recomendado pela NBR 15575.

Caso uma parede de alvenaria, ou de outro tipo, seja avaliada em campo em um ambiente vazio, utilizando o índice de redução sonora aparente R' , a norma brasileira NBR 15575 não traz valores que possam classificá-la, pois apresenta apenas classificações baseadas na diferença padronizada de nível ponderada D_{nT} .

4.1.2 Resultados do edifício Residencial B

Para as avaliações da isolação sonora das paredes de alvenaria PAE17/8B e PAE17/10B foi determinada a diferença padronizada de nível através da obtenção dos níveis de pressão sonora medidos nas salas de emissão (NPS1) e recepção (NPS2), e o tempo de reverberação na sala de recepção (TR). Os valores médios de NPS1, NPS2 e TR, respectivamente, em bandas de frequências de terço de oitava, na faixa entre 100 e 5.000 Hz, para as avaliações da isolação sonora das paredes de alvenaria do edifício residencial B podem ser vistos no apêndice B.

Os resultados da diferença padronizada de nível, por bandas de terço de oitava, das paredes de alvenaria estrutural de 17 cm de espessura, que utilizam blocos com resistência à compressão de 8 MPa (PAE17/8B) e 10 MPa (PAE17/10B) podem ser visualizados na Figura 19. As curvas de isolamento são apresentadas juntamente com suas respectivas curva padrão, onde pode se verificar os desvios favoráveis e desfavoráveis.

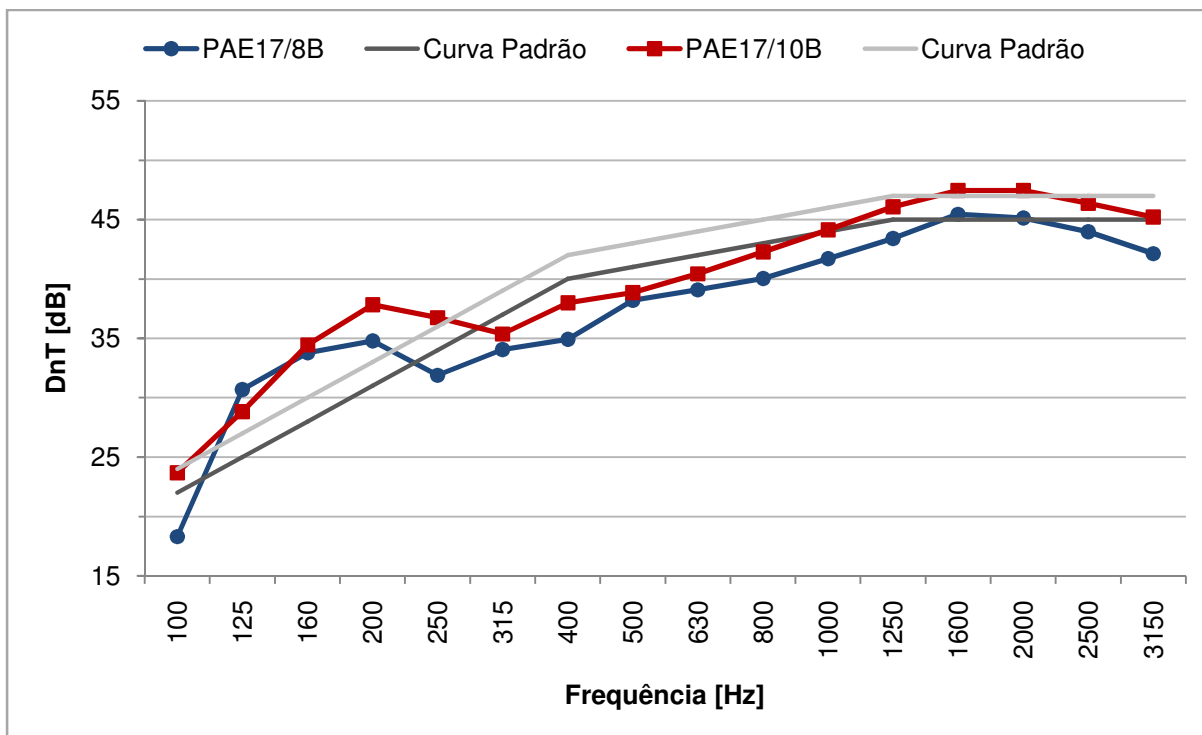


Figura 19 - Diferença padronizada de nível das paredes PAE17/8B e PAE17/10B do edifício residencial B.

As curvas de isolamento, em função da frequência, dessas amostras são bastante similares, porém a curva de isolamento da PAE17/10B é um pouco superior em relação a amostra PAE17/8B. Já no início do espectro, nesse caso na banda de frequência de 100 Hz, a PAE17/10B possui valor da diferença padronizada de nível próximo dos 25 dB, já a PAE17/8B está abaixo dos 20 dB. A partir da banda de frequência de 125 Hz os valores da D_{nT} começam a ascender, até a faixa dos 200 Hz, onde ocorre uma queda nas curvas associada a localização da frequência crítica, pois estudos anteriores demonstram que essa localiza-se nas baixas frequências. Logo após esses valores retornam a crescer para ambas as amostras, onde PAE17/10B atinge seu ápice, nas bandas de frequência de 1.600 Hz e 2.000 Hz, com D_{nT} acima dos 45 dB, e a PAE17/8B chega aos 45 dB nessas mesmas frequências.

Comparando as duas as amostras constata-se que a parede PAE17/10B possui uma maior isolamento sonora que a alvenaria PAE17/8B. O que diferencia essas amostras é a resistência à compressão dos blocos da alvenaria estrutural.

Na Figura 20, podem ser visualizadas as diferenças de nível de pressão sonora entre os valores da diferença padronizada de nível e a respectiva curva

padrão para as paredes de alvenaria estrutural avaliadas, na faixa de bandas de frequência entre 100 e 3.150 Hz.

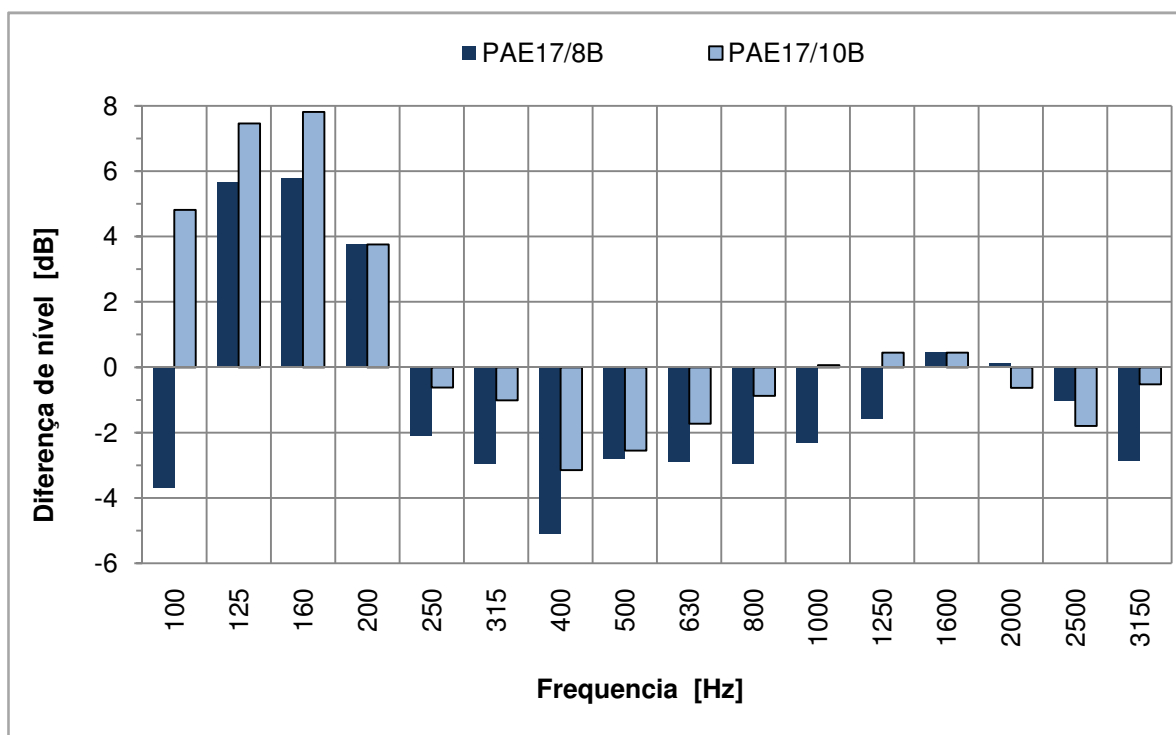


Figura 20 - Diferença comparativa entre a diferença de nível padronizada e a respectiva curva padrão, das paredes analisadas do edifício residencial B.



Os desvios favoráveis encontram-se entre as bandas de frequência entre 100 e 200 Hz para as paredes avaliadas, exceto para amostra PAE17/8B que na banda de frequência de 100 Hz atingiu um desvio desfavorável de mais de 3 dB. Os maiores desvios favoráveis foram alcançadas nas frequências de 125 Hz e 160 Hz com valores em torno dos 7 dB para a parede PAE17/10B. Também podem ser observados valores positivos, mas que não atingem 1 dB, nas bandas de 1.250 Hz e 1.600 Hz.

Entre as bandas de 250 Hz a 1.250 Hz e de 2.000 Hz a 3150 Hz, os desvios foram desfavoráveis para as paredes avaliadas, atingindo os máximos valores de 5 dB para PAE17/8B e de 3 dB para PAE17/10B na faixa dos 400 Hz.

De um modo geral pode-se verificar que a amostra PAE17/10B possui os maiores desvios favoráveis e menores desvios desfavoráveis com relação a amostra PAE17/8B.

Na Tabela 14 são mostrados os resultados da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$ com suas respectivas classificações (desempenho acústico de paredes de geminação entre unidades autônomas - NBR 15575-4).

Tabela 14 - Classificação do nível de desempenho das paredes de alvenaria.

Amostra	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho ($D_{nT,w}$)
PAE17/8B 	41	M
PAE17/10B 	43	M

Os valores acima demonstram que as amostras ensaiadas PAE17/8B e PAE17/10B atendem aos níveis mínimos (M) de desempenho da NBR 15575-4, quando avaliadas pelo $D_{nT,w}$. Os resultados do índice de redução sonora aparente R'_w para as alvenarias PAE17/8B e PAE17/10B, em dB, são 38 e 41, respectivamente, sendo assim a primeira amostra não atenderia o mínimo recomendado pela NBR 15575, ficando 2 dB abaixo.

4.1.3 Resultados do edifício Residencial C

Para avaliar a isolamento sonora aérea das alvenarias PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3 foram determinadas as diferenças padronizadas de nível para cada uma das amostras, onde para isso foram mensurados os níveis de pressão sonora nas salas de emissão (NPS1) e recepção (NPS2), e o tempo de reverberação na sala de recepção (TR), em bandas de frequências de terço de oitava, na faixa entre 100 e 5.000 Hz. Esses valores podem ser visualizados no apêndice C.

Na Figura 21 são apresentados os resultados da diferença padronizada de nível, por bandas de terço de oitava, das paredes de alvenaria estrutural de 17 cm que utilizam blocos com resistência à compressão de 10 MPa (PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3).

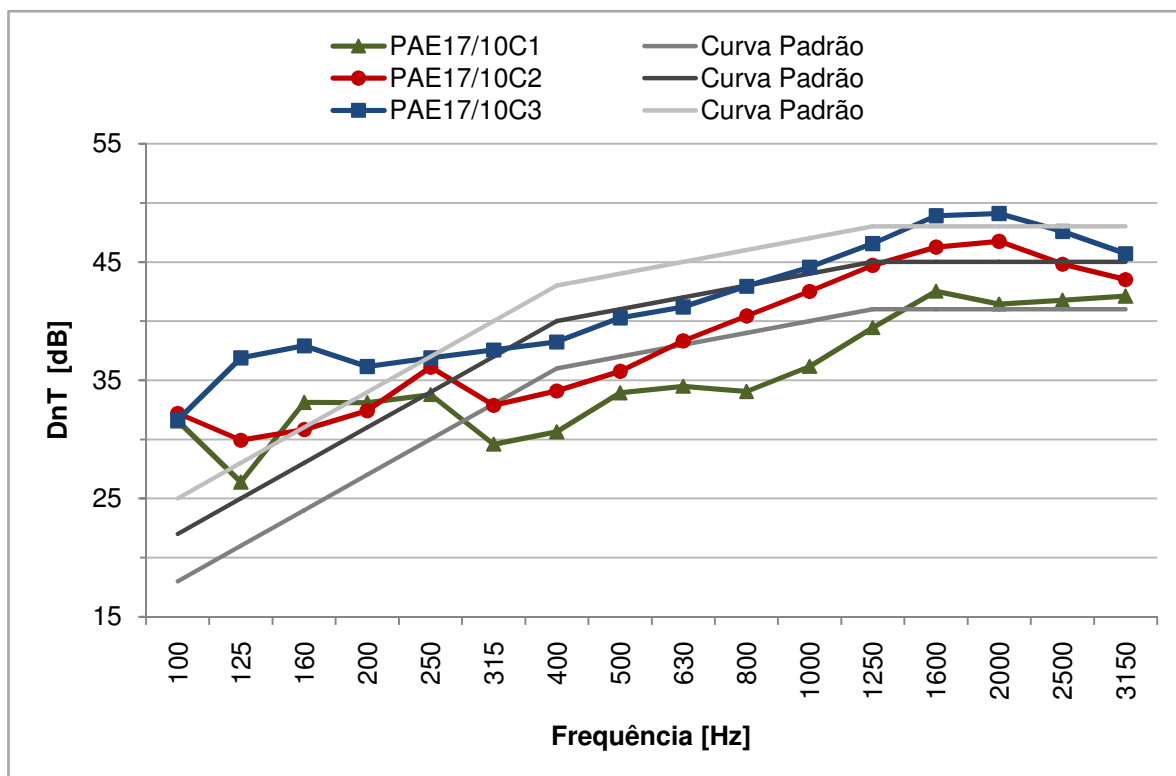


Figura 21 - Diferença padronizada de nível das paredes PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3.

Observa-se que embora todas as amostras sejam compostas pelo mesmo material e possuem mesma espessura, existem diferenças significativas nas curvas de isolamento sonoro das mesmas.

A diferença padronizada de nível da amostra PAE17/10C1 apresenta várias oscilações, apresentando quedas significativas nas faixas de frequência dos 125 Hz, apresentando queda de aproximadamente 5 dB, e dos 315 Hz e 400 Hz. A partir dos 1.000 Hz a curva de isolamento ascende significativamente, atingindo valores da D_{nT} acima dos 40 dB, onde se mantém praticamente constante a partir dos 1.600 Hz.

A parede PAE17/10C2 possui uma curva menos oscilante, se comparada à parede anterior, e uma atenuação da queda aos 125 Hz. Da faixa de frequência dos 160 Hz até 250 Hz, essa parede apresenta um crescimento na isolação, mas apresenta outra queda após os 250 Hz, onde atingiu valores acima dos 35 dB. Após esse decaimento, a PAE17/10C2 apresenta um significativo crescimento, atingindo valores acima dos 40 dB aos 1.000 HZ e 45 dB aos 2.000 Hz.

Já a parede PAE17/10C3 possui uma curva de isolamento superior as demais amostras do edifício residencial C, apresentando valores da diferença padronizada de nível D_{nT} acima dos 35 dB, em quase toda a faixa de análise. Uma pequena queda ocorre aos 200 Hz, mas mesmo assim o valor da D_{nT} fica acima dos 35 dB.

Após essa faixa, a curva de isolamento possui crescimento constante, atingindo valores da D_{nT} de 40 dB aos 500 Hz, 45 dB na faixa de frequência dos 1000 Hz e próximos dos 50 dB nas bandas de 1600 Hz e 2000 Hz, após os valores da D_{nT} decrescem, mas ainda assim ficam acima dos 45 dB nos 3150 Hz.

Verifica-se que mesmo com a utilização do mesmo material, com dimensões, densidade e resistência à compressão iguais, e com os mesmos tipos de conexões entre os elementos construtivos (paredes, lajes e tetos), houve diferenças significativas nas curvas do isolamento sonoro das paredes de alvenaria avaliadas no edifício C, o que mostra que não são apenas esses fatores que podem interferir na capacidade de isolamento das alvenarias. Outros aspectos que deverão ser levados em conta são o posicionamento das portas, pontos de menor bloqueio sonoro e o volume das salas, onde esse influencia diretamente no Tempo de Reverberação (TR) utilizado como fator de correção no índice de isolamento sonoro aéreo. A amostra PAE17/10C3 possui valores de TR (ver gráfico 8 apêndice C) significativamente elevados, principalmente nas baixas frequências, em comparação as demais amostras do mesmo edifício, acarretando em um maior valor de correção e conseqüentemente uma maior isolação.

Comparando os espectros de isolamento das alvenarias PAE17/10C1 e PAE17/10C2 verifica-se uma oscilação maior na curva de isolamento da primeira, provavelmente pela proximidade das portas de acesso das salas de emissão e recepção.

Analisando as amostras PAE17/10C2 e PAE17/10C3, também se constata uma diferença nas curvas de isolamento, mas apenas o que diferencia essas amostras são os volumes das salas. Na primeira amostra os volumes das salas são 64,94 m³ (emissora-estar/jantar) e 38,62 m³ (recepção-suíte), e na segunda o inverso, corroborando que o volume das salas contribuiu para um maior ou menor isolamento. Assim a situação mais crítica deverá ser levada em consideração na hora de classificar o desempenho acústico do edifício.

Na Figura 22 podem ser visualizadas as diferenças de nível de pressão sonora entre os valores da diferença padronizada de nível e a respectiva curva padrão para as paredes de alvenaria estrutural avaliadas, na faixa de bandas de frequência entre 100 e 3.150 Hz.

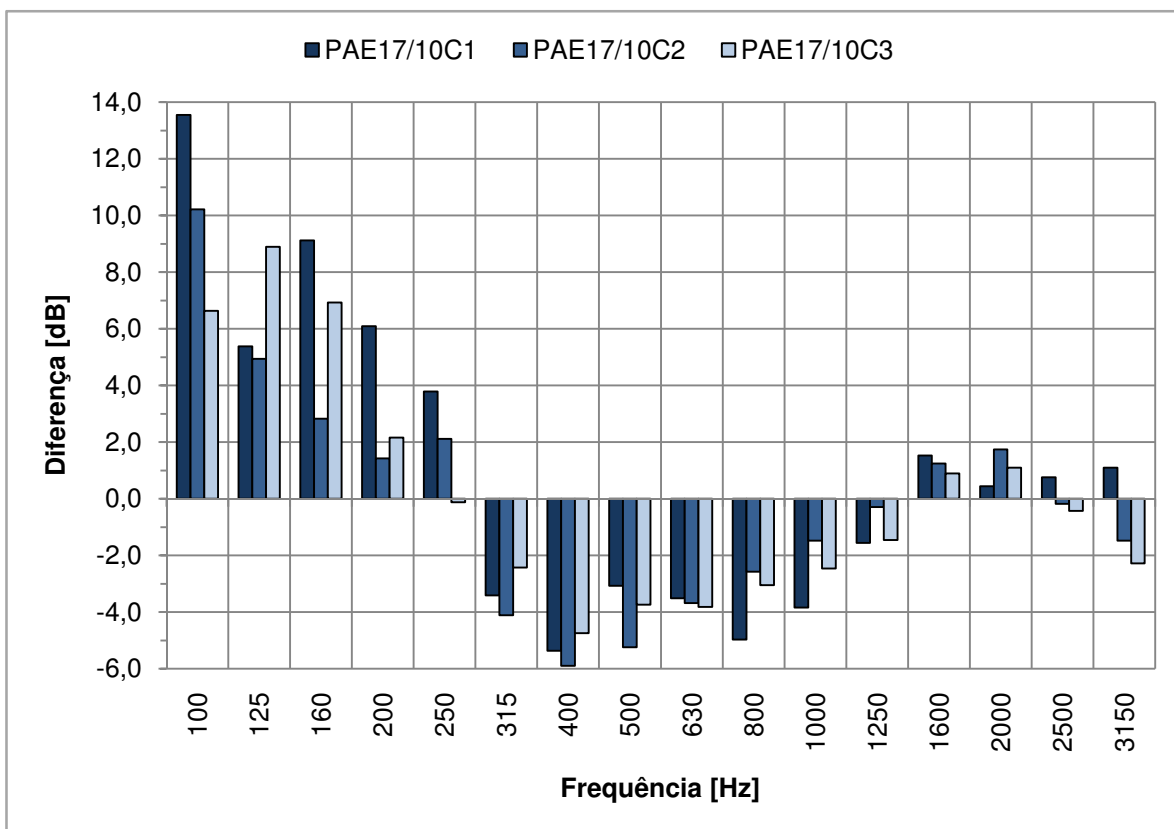





Figura 22 - Diferença comparativa entre a diferença de nível padronizada das paredes analisadas.

Nas bandas de frequência entre 100 e 250 Hz, e 1.600 Hz e 2.000 Hz, encontram-se os desvios favoráveis para as amostras avaliadas, onde os principais desvios positivos estão nas baixas frequências, que chegaram a atingir valores acima dos 12 dB. Os desvios desfavoráveis ocorrem nas faixas de frequência entre os 315 Hz e 1.250 Hz, sendo que os maiores desvios negativos localizam-se na faixa de frequência de 400 Hz, atingindo valores acima dos 5 dB para as paredes PAE17/10C1 e PAE17/10C2, o que ocorreu novamente para PAE17/10C2 aos 500 Hz e para PAE17/10C1 aos 800 Hz.

Os resultados da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$ com suas respectivas classificações são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 - Classificação do nível de desempenho das paredes de alvenaria.

Amostra	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho ($D_{nT,w}$)
PAE17/10C1 	37	**

PAE17/10C2		41	M
PAE17/10C3		44	M*

*O nível de desempenho dessa amostra pode ser Intermediário – incerteza de ± 1 dB.

**Abaixo do mínimo recomendado pela NBR 15.575

Tais resultados demonstram que nem todas as amostras ensaiadas atendem aos níveis mínimos (M) de desempenho da NBR 15575-4. Apenas a parede PAE17/10C2 e PAE17/10C3 atingiram valores maiores que o mínimo recomendado pela norma.

Os valores encontrados para o índice de redução sonora aparente R'_w das alvenarias PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3 são respectivamente 34 dB, 39 dB e 42 dB. Analisando por esses resultados somente a amostra PAE17/10C3 atenderia ao mínimo recomendado pela norma brasileira, porém PAE17/10C2 e PAE17/10C3 possuem as mesmas características, diferenciando-se apenas pelas salas de emissão e recepção.

A NBR 15575-4 não traz classificações de nível de desempenho específicas para paredes entre dormitórios e para salas de estar e dormitórios de uma mesma unidade autônoma.

4.1.4 Comparações dos resultados

Analisando os resultados da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$ observa-se que praticamente todas as alvenarias analisadas atingem o desempenho mínimo de acordo a NBR 15575, exceto a parede PAE17/10C1, que fica 3 dB abaixo do mínimo. A norma classifica os níveis de desempenho conforme os resultados da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$, onde essa é ajustada pelo tempo de reverberação, que utiliza tempo de reverberação de referência igual a 0.5 s, valor para moradias com mobília. Como as medições ocorreram em ambientes vazios, o ideal seria classificar as paredes avaliadas pelo índice de redução sonora aparente R'_w , pois esse é corrigido pela área de absorção da sala receptora, supondo campos sonoros difusos nas salas de emissão e recepção, mas a norma NBR 15575 não traz valores de classificação de acordo com esse índice.

Utilizando a quantificação do índice de redução sonora aparente R'_w para classificar as amostras estudadas conforme a tabela apresentada pela NBR 15575 e considerando que PAE17/10C2 e PAE17/10C3 são a mesma parede, porém com salas de emissão e recepção inversas, mas adotando o caso mais crítico, podemos dizer que 50% das alvenarias estudadas ficam abaixo do mínimo estabelecido. Algumas ficam 1 dB abaixo - PTF15 e PAE17/10C2, outra 2 dB a menos - PAE17/8B, e o caso mais crítico é o da PAE17/10C1, 6 dB abaixo do recomendado.

Pode-se verificar, também, que a isolamento sonora não tem relação direta com a densidade, pois a parede que possui índice ponderado de isolamento maior (PTF 20) é constituída por bloco de menor densidade entre as amostras analisadas. Dessa forma, analisando o índice ponderado de isolamento das paredes, constata-se que uma parede com uma isolamento sonora maior pode ser erigida com uma menor carga na estrutura e com um custo mais baixo.

Porém não deve ser analisado somente o número único de isolamento de uma alvenaria, mas também o índice de isolamento sonoro em função da frequência (Fig. 23 e 24).

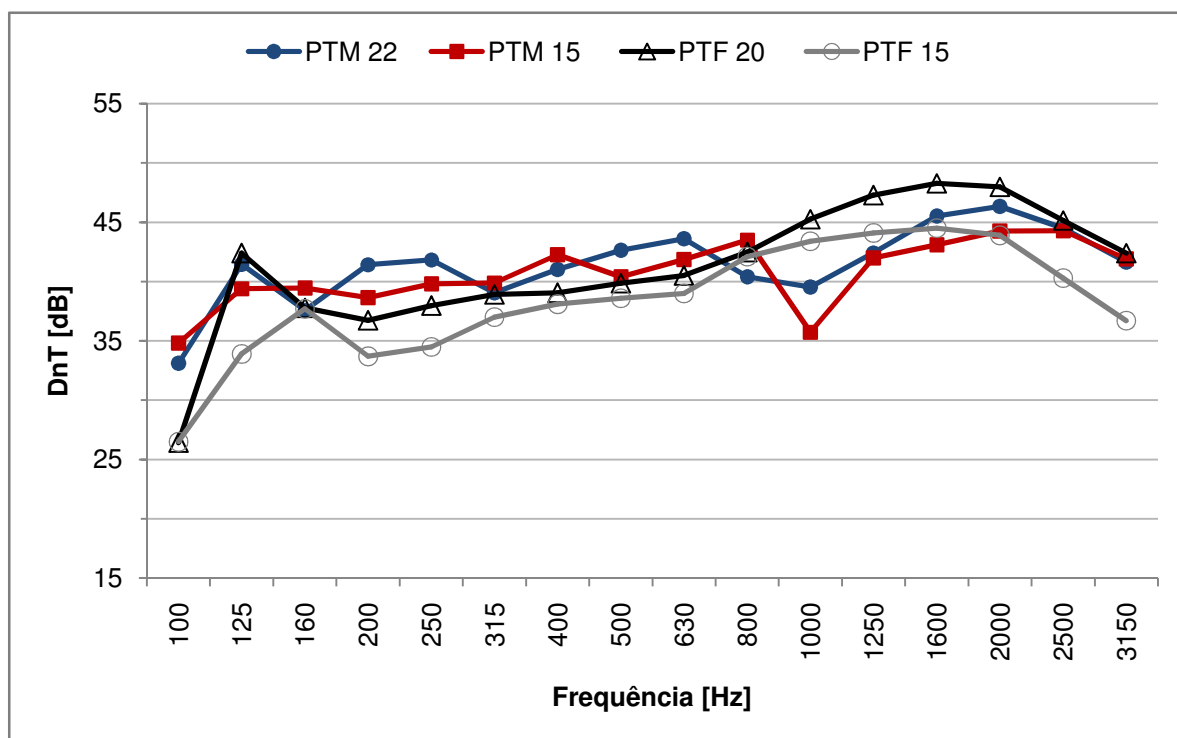


Figura 23 – Comparação da diferença padronizada de nível das paredes do edifício A.

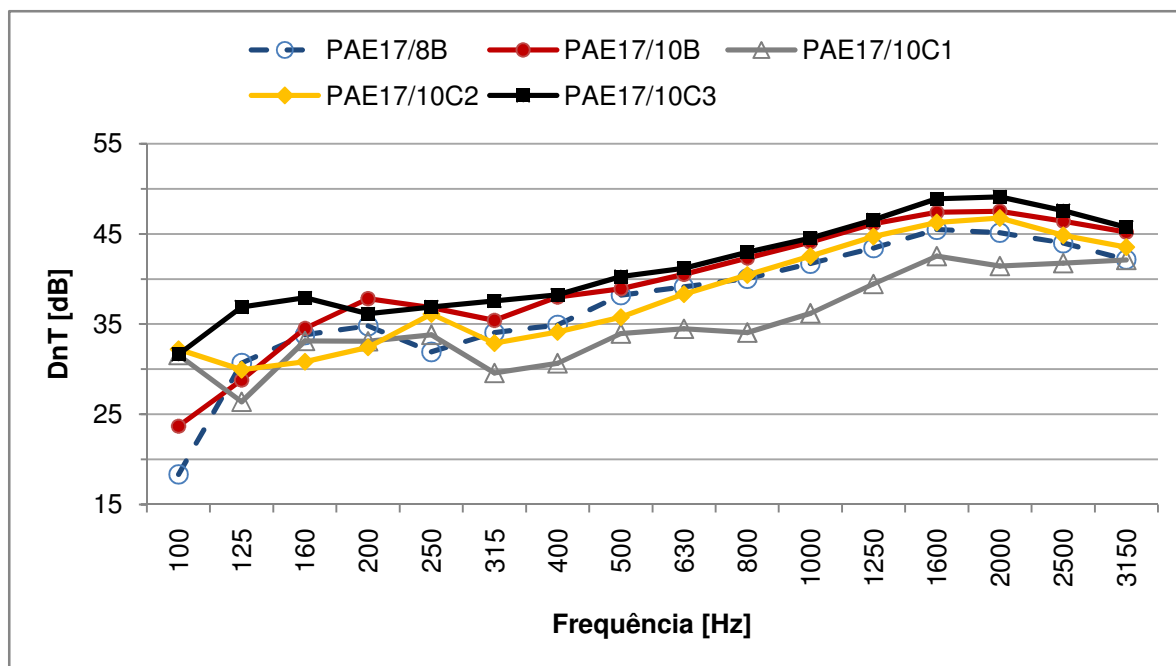


Figura 24 – Comparação da diferença padronizada de nível das paredes de alvenaria estrutural.

Na Figura 23 pode-se observar que as paredes de tijolos maciços (PTM22 e PTM15) possuem melhor desempenho nas baixas e médias frequências que as alvenarias de blocos furados (PTF15 e PTF20), mas essas apresentam melhor desempenho acima dos 800 Hz, principalmente a parede PTF20.

Observando a Figura 24, são apresentadas as curvas de isolamento das paredes de alvenaria estrutural. No geral as curvas de isolamento possuem um crescimento quase que constante e uma similaridade no delineamento, apresentando algumas pequenas quedas, com exceção da parede PAE17/10C1, e apresentam bom desempenho nas altas frequências.

Nas habitações construídas com alvenaria estrutural, não se pode levar em consideração somente a resistência do bloco componente das paredes, considerando que quanto maior a resistência maior o isolamento, a geometria das salas e o posicionamento das aberturas, principalmente das portas, contribuem para o desempenho de isolamento sonoro aéreo das paredes de vedação internas, o que pode ser observado na Figura 24 com a comparação das curvas das paredes PAE17/8B (resistência do bloco = 8 MPa) e PAE17/10C1 (resistência do bloco = 10 MPa).

Com relação aos índices globais de isolamento sonoro aéreo, analisando os valores apresentados nos itens anteriores, constata-se uma variação entre $D_{nT,w}$ e R'_w , onde o último fica pelo menos 2 dB abaixo.

4.2 Resultados da simulação computacional

Para determinar a diferença padronizada de nível, D_{nT} , e o índice de redução sonora aparente, R' , foram realizadas simulações computacionais com a utilização do programa Bastian, o qual aplica os procedimentos de cálculo da norma EN 12354-1. O procedimento de modelagem computacional consistiu em gerar duas geometrias de salas, uma de emissão e outra de recepção, assim como a definição e seleção do índice de redução sonora das paredes, lajes de pisos e tetos, com suas respectivas espessuras, densidade, frequência crítica e fator de amortecimento, a partir da base de dados do programa Bastian e dados experimentais de laboratório.

4.2.1 Resultados do edifício Residencial A

A definição das dimensões dos blocos das paredes do edifício residencial A foi baseada nos valores da Tabela 7; a geometria das salas o mais próximo possível da Figura 13; e o volume das salas e área das amostras conforme apresentado na Tabela 8.

As alvenarias PTM22 e PTM15 e as paredes das salas emissora e receptora foram modeladas como paredes de tijolo maciço, as lajes do piso e do teto foram moldadas como lajes de concreto, e na transmissão direta através da parede PTM22 e PTM15 foi incluída uma porta de madeira aglomerada. Os dados dos materiais aplicados nas simulações para essas alvenarias são apresentados na tabela 16.

Tabela 16 – Propriedades dos materiais utilizados na simulação computacional da PTM22 e PTM15.

	PTM22*	PTM15**	LAJES (piso e teto)	PORTA
Densidade (kg/m ³)	1800	1874,2	2400	-
Espessura (mm)	205	155	100	74
Espessura reboco – ambos lados (mm)	15	25	-	-
Espessura contrapiso (mm)	-	-	15	-
f_c (Hz)	147	151	183	-

Fator de amortecimento	0,015	0,002	0,006	-
R_w (dB)	54	50	48	30
Área (m ²)	10,53	7,02	-	1,5

*Referência Bastian, 2010.

** Referência Silva, 2000.

As Figuras 25 e 26 mostram os resultados da diferença padronizada de nível, em função da frequência, determinados a partir de ensaios em campo e de simulação computacional das paredes PMT22 e PTM15, respectivamente.

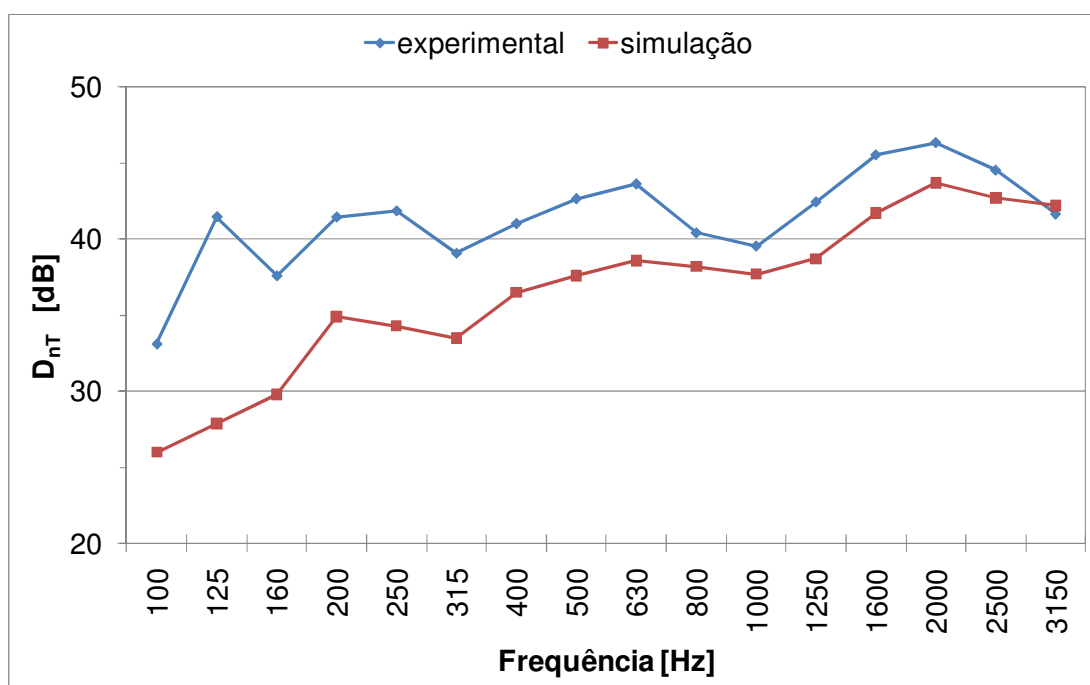


Figura 25 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PTM22, do edifício residencial A.

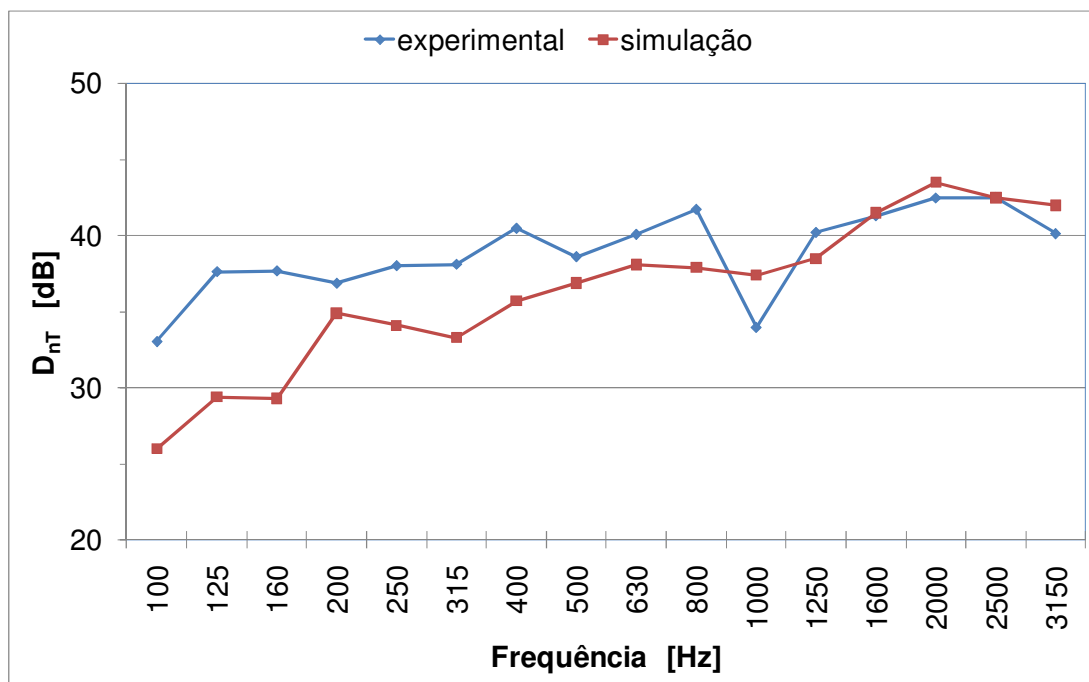


Figura 26 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PTM15, do edifício residencial A.

As paredes de alvenaria PTF20 e PTF15 e as paredes das salas emissora e receptora foram modeladas como paredes de bloco cerâmico, as lajes do piso e do teto foram moldadas como lajes de concreto, e na transmissão direta através dessas paredes foi incluída uma porta de madeira aglomerada. As propriedades dos materiais aplicados nas simulações para essas alvenarias são apresentados na tabela 17.

Tabela 17 – Propriedades dos materiais utilizados na simulação computacional da PTF20 e PTF15.

	PTF20**	PTF15**	LAJE (piso)*	LAJE (teto)*	PORTA*
Densidade (kg/m ³)	1262,1	1147,1	2400	2400	-
Espessura (mm)	190	175	100	100	74
Espessura reboco – emissão (mm)	25	25	-	-	-
Espessura reboco – recepção (mm)	15	15	-	-	-
Espessura contrapiso (mm)	-	-	15	-	-
f_c (Hz)	99,4	103	183	183	-

Fator de amortecimento	0,002	0,002	0,006	0,006	-
R_w (dB)	50	44	48	48	30
Área (m ²)	10,53	7,02	-	-	1,5

*Referência Bastian, 2010.

**Referência Silva, 2000.

As Figuras 27 e 28 mostram os resultados da diferença padronizada de nível, em função da frequência, determinados a partir de ensaios em campo e de simulação computacional das paredes PTF20 e PTF15, respectivamente.

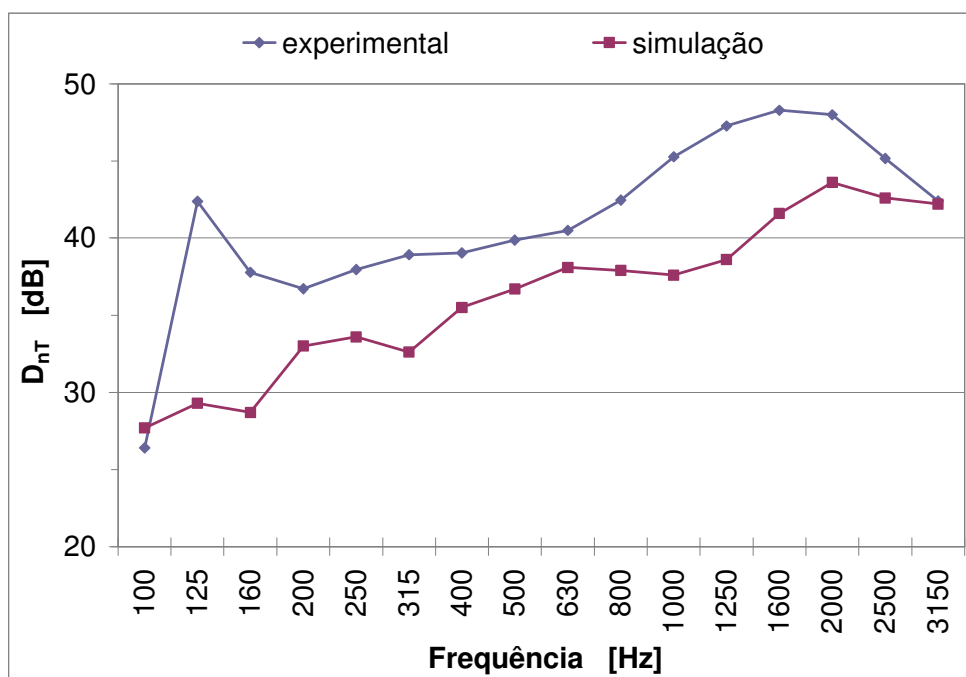


Figura 27 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PTF20, do edifício residencial A.

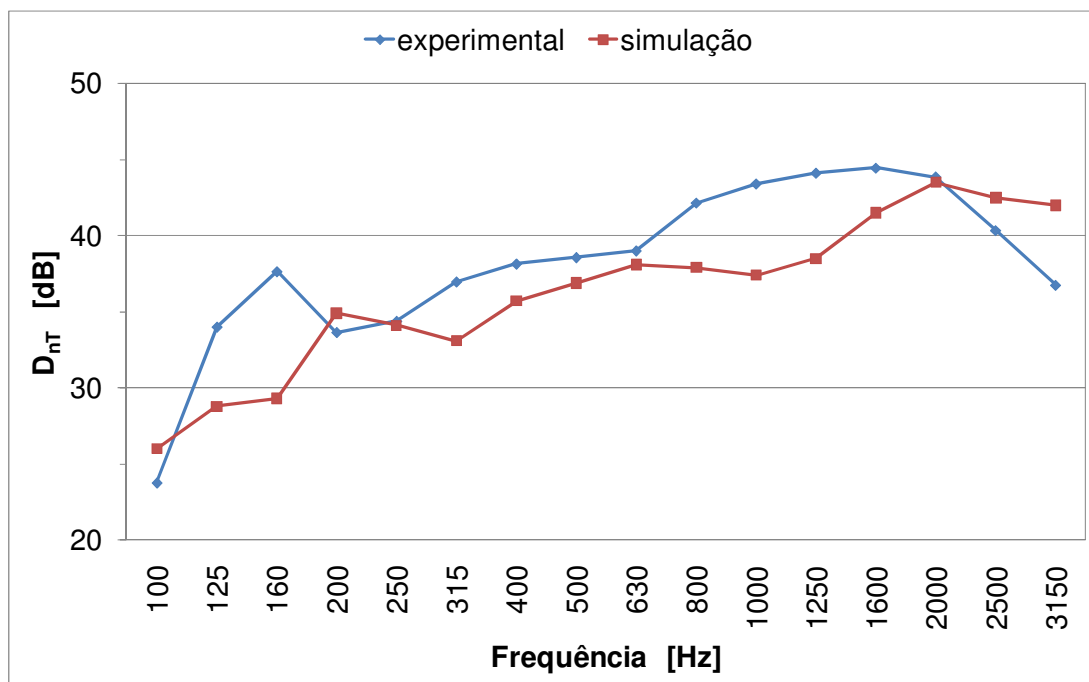


Figura 28 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PTF15, do edifício residencial A.

Na Tabela 18 é apresentado um resumo dos valores de índices ponderados da diferença padronizada e da redução sonora aparente obtidos mediante ensaios em campo e da simulação computacional, para as paredes PTM22, PTM15, PTF20 e PTF15 do edifício residencial A.

Tabela 18 – Comparação entre os valores dos índices ponderados ($D_{nT,w}$, R'_w) obtidos experimentalmente e através da simulação computacional, do edifício residencial A.

Amostra		$D_{nT,w}$ (dB)		R'_w (dB)	
		Experimental	Simulação	Experimental	Simulação
PTM22		43	40	41	38
PTM15		42	39	40	36
PTF20		44	39	42	36
PTF15		41	39	39	37

Analisando os resultados apresentados nas figuras 25, 26, 27 e 28, pode-se observar um deslocamento considerável das curvas de isolamento simuladas, apresentando-se abaixo da curva de isolamento obtida experimentalmente para as paredes PTM15, PTM22, PTF15 e PTF20, mas principalmente com relação as amostras PTM22 e PTF20, onde a curva simulada localiza-se abaixo da experimental em toda faixa de análise. Na amostra PTM22 as maiores diferenças encontram-se principalmente nas baixas frequências, chegando a uma diferença de mais de 10 decibéis aos 125 Hz, mas a partir dos 800 Hz tal diferença se reduz. Na parede PTF20 ocorre a mesma variação aos 125 Hz, e pode-se observar também, diferenças de aproximadamente 10 dB nas bandas de frequência de 1000 Hz e 1250 Hz. As paredes PTM15 e PTF15 apresentaram as menores diferenças entre as curvas experimentais e simuladas. A primeira apresenta os maiores desvios até os 500 Hz, principalmente nas bandas de 125, 160 e 315 Hz, na segunda as maiores diferenças, aproximadamente 8 dB, localizam-se aos 125 e 160 Hz, e também nas faixas entre 800 e 1600 Hz, apresentando desvios próximos dos 5 decibéis.

Considerando os resultados ponderados ($D_{nT,w}$ e R'_w) apresentados na tabela 18, verifica-se que por mais que existam desvios consideráveis entre as curvas de isolamento experimental e simulada de algumas amostras, há uma boa correspondência entre os resultados ponderados, principalmente com relação a diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$, onde as diferenças entre os valores experimentais e simulados não foram maiores do que 3 dB. A maior diferença ocorreu nos resultados do índice de redução sonora ponderado R'_w , principalmente na parede PTF20, onde tal desvio foi de 6 dB.

4.2.2 Resultados do edifício Residencial B

As dimensões dos blocos das paredes do edifício residencial B basearam-se nos valores da Tabela 9; foi proposto geometrias de salas o mais aproximado possível da Figura 13; e os volumes das salas e área das amostras foi baseado na Tabela 10.

As paredes PAE17/8B, PAE17/10B e as respectivas paredes das salas emissora e receptora foram modeladas como paredes de blocos estruturais cerâmicos, as lajes do piso e do teto foram moldadas como lajes de concreto, e na transmissão direta através dessas paredes foi incluída uma porta de madeira

aglomerada. Na tabela 19 são apresentados os dados dos materiais aplicados nas simulações para essas alvenarias.

Tabela 19 – Propriedades dos materiais das paredes de alvenarias PAE17/8B e PAE17/10B.

	PAE17/8B PAE17/10B	LAJES (piso e teto)	PORTA
Densidade (kg/m ³)	2000	2400	-
Espessura (mm)	175	100	74
Espessura reboco – ambos lados (mm)	*	-	-
Espessura contrapiso (mm)	-	15	-
f _c (Hz)	147	183	-
Fator de amortecimento	0,015	0,006	-
R _w (dB)	54	48	30
Área (m ²)	9,54	-	1,5

*Foi utilizado alvenaria sem reboco para que o isolamento da alvenaria do programa possuísse uma melhor correspondência com o isolamento da parede medida em campo. Referência Bastian, 2010.

As Figuras 29 e 30 mostram os resultados da diferença padronizada de nível, em função da frequência, determinados a partir de ensaios em campo e de simulação computacional das paredes PAE17/8B e PAE17/10B, respectivamente.

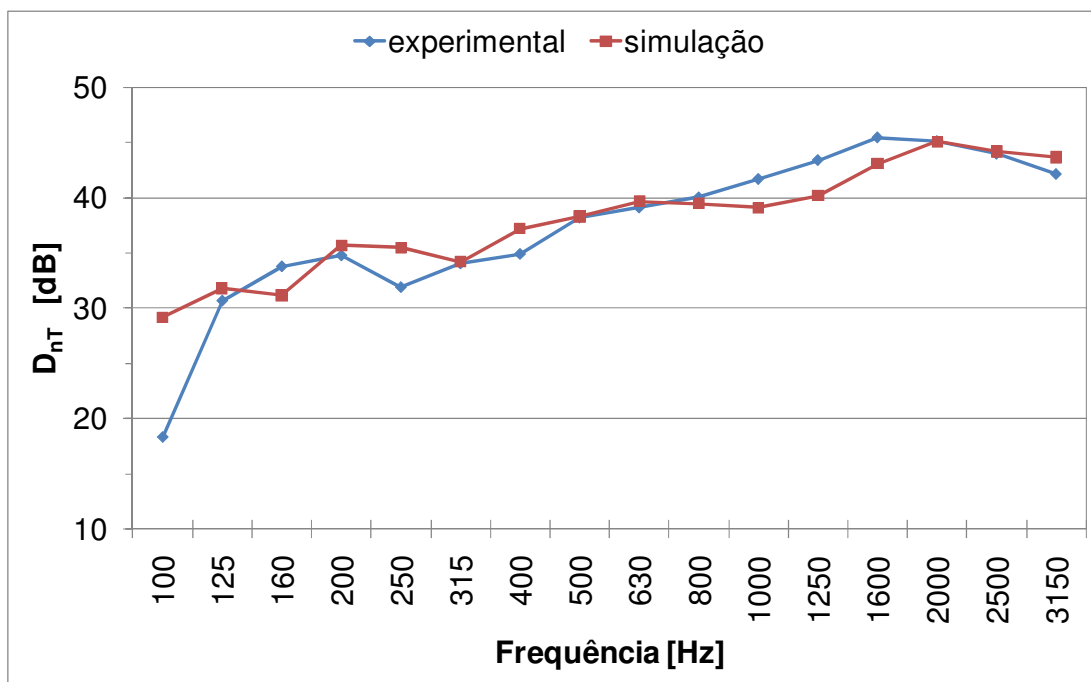


Figura 29 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/8B, do edifício residencial B.

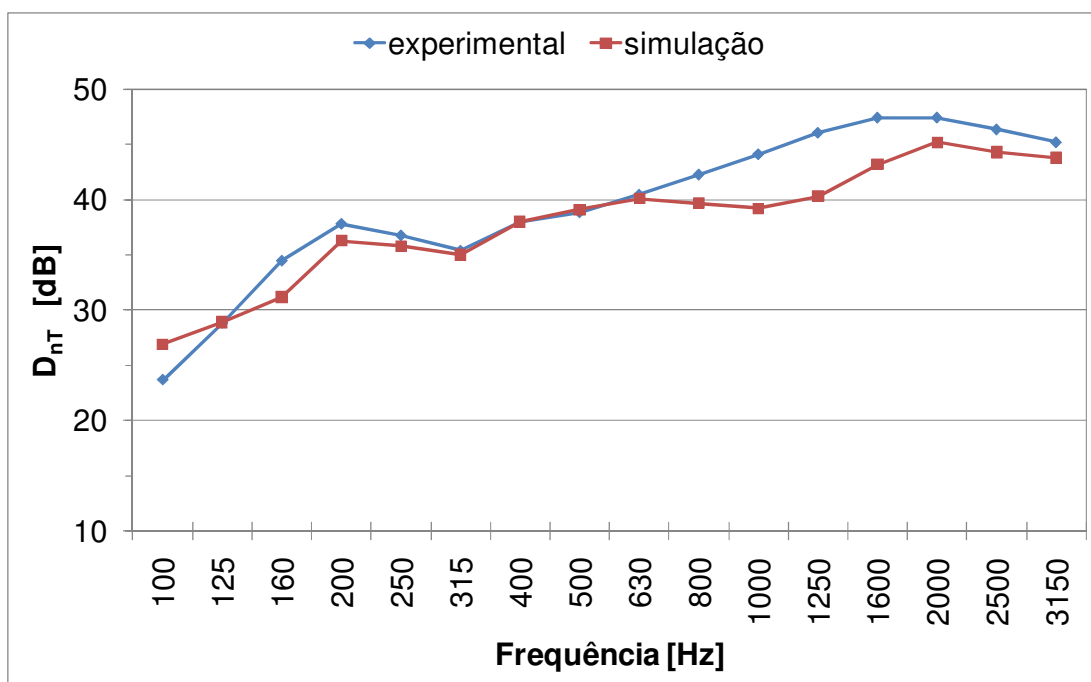




Figura 30 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/10B, do edifício residencial B.

Na Tabela 20 é apresentado um resumo dos valores de índices ponderados da diferença padronizada e da redução sonora aparente obtidos mediante ensaios

em campo e da simulação computacional, para as paredes PAE17/8B e PAE17/10B, do edifício residencial B.

Tabela 20 – Comparação entre os valores dos índices ponderados ($D_{nT,w}$, R'_w) obtidos experimentalmente e através da simulação computacional, do edifício residencial B.

Amostra	$D_{nT,w}$ (dB)		R'_w (dB)	
	Experimental	Simulação	Experimental	Simulação
PAE17/8B 	41	41	38	38
PAE17/10B 	43	41	41	38

Observando os resultados apresentados nas figuras 29 e 30, verifica-se uma boa correspondência entre as curvas de isolamento obtidas experimentalmente e através das simulações. A maior diferença entre essas curvas pode ser observada na figura 30, nas bandas de frequência de 1000 Hz e 1250 Hz, onde a curva simulada fica mais de 5 dB abaixo da experimental.

Na tabela 20, observa-se uma boa relação entre os valores medidos e simulados, principalmente os da parede PAE17/8B, que se igualaram, tanto nos valores correspondes a $D_{nT,w}$ e R'_w . Já o resultado ponderado simulado da parede PAE17/10C ficou 2 dB abaixo do experimental, o que também é uma boa correlação, já que os dados inseridos no programa para as simulações são os mais aproximados possíveis da amostra analisada.

4.2.3 Resultados do edifício Residencial C

Os blocos das paredes do edifício residencial C basearam-se na Tabela 11; também foi proposto geometrias de salas o mais aproximado possível da Figura 15; e os volumes das salas e área das amostras foi baseado na Tabela 12.

As paredes PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3 e as respectivas paredes das salas emissora e receptora foram modeladas como paredes de tijolos, as lajes do piso e do teto foram moldadas como lajes de concreto, e na transmissão direta através dessas paredes foi incluída uma porta de madeira aglomerada. As

propriedades dos materiais aplicados nas simulações para essas alvenarias podem ser vistos na tabela 21.

Tabela 21 – Propriedades dos materiais das paredes PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3.

	PAE17/10C1 PAE17/10C2 PAE17/10C3	LAJES (piso e teto)	PORTA
Densidade (kg/m ³)	2000	2400	-
Espessura (mm)	175	100	74
Espessura reboco – ambos lados (mm)	*	-	-
Espessura contrapiso (mm)	-	15	-
f _c (Hz)	147	183	-
Fator de amortecimento	0,015	0,006	-
R _w (dB)	54	48	30
Área (m ²)	7,55 / 11,1 / 11,1	-	1,5

*Foi utilizado alvenaria sem reboco para que o isolamento da alvenaria do programa possuísse uma melhor correspondência com o isolamento da parede medida em campo. Referência Bastian, 2010.

As Figuras 31, 32 e 33 mostram os resultados da diferença padronizada de nível, em função da frequência, determinados a partir de ensaios em campo e de simulação computacional das paredes PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3, respectivamente.

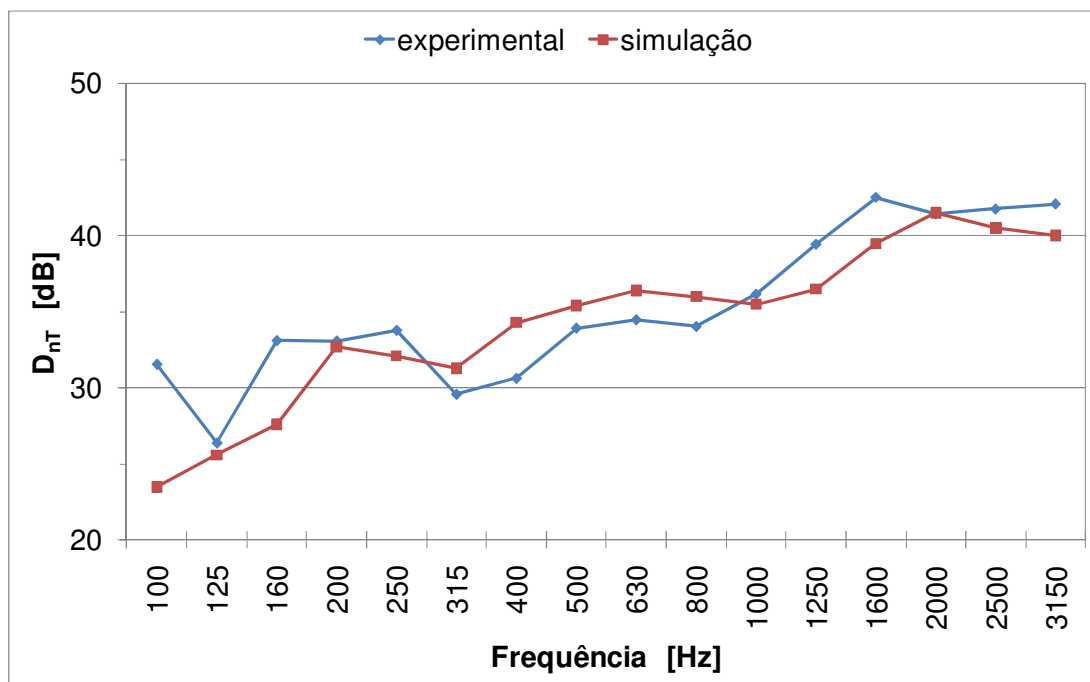


Figura 31 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/10C1, do edifício residencial C.

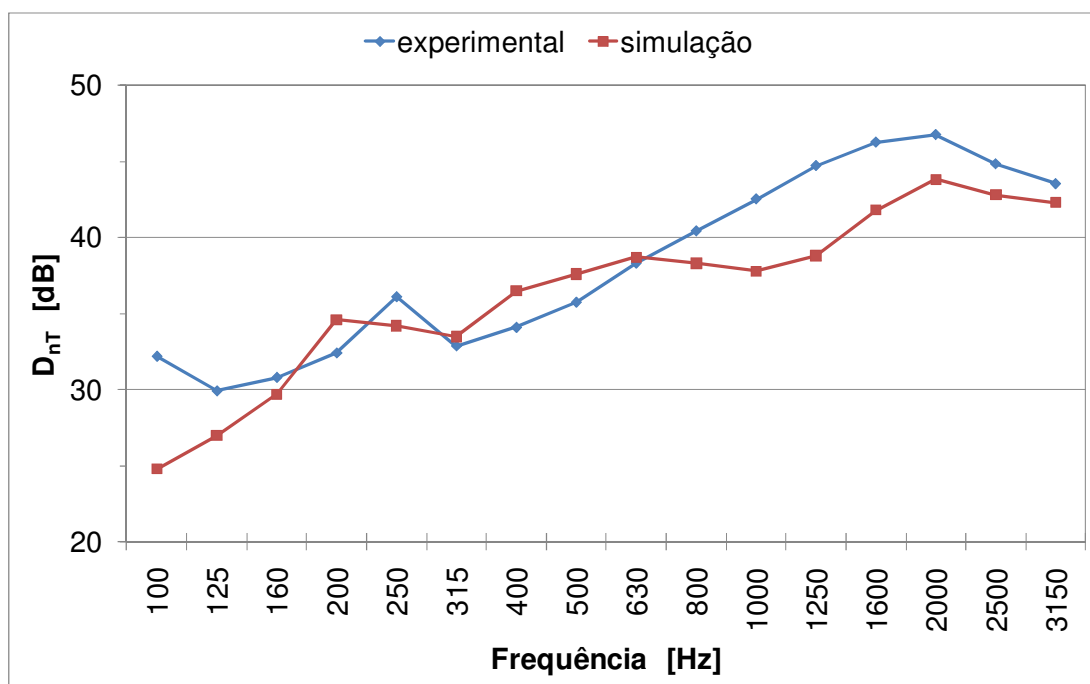


Figura 32 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/10C2, do edifício residencial C.

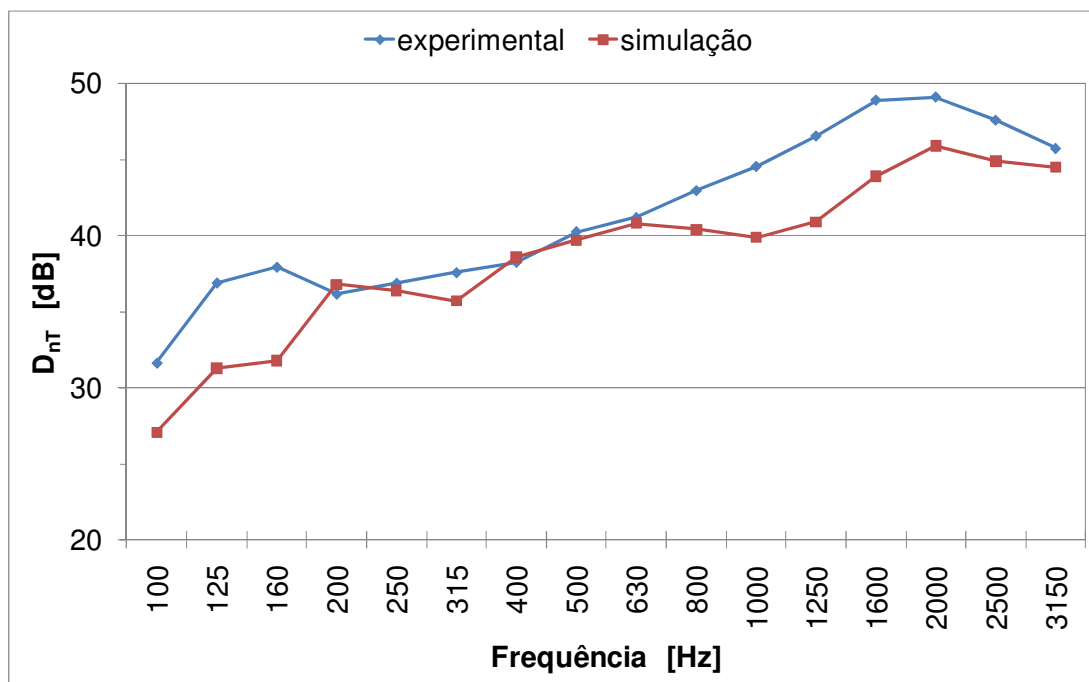





Figura 33 - Resultado comparativo da diferença padronizada de nível D_{nT} entre ensaios de campo e simulação computacional da parede PAE17/10C3, do edifício residencial C.

Na Tabela 22 é apresentado um resumo dos valores de índices ponderados da diferença padronizada e da redução sonora aparente obtidos mediante ensaios em campo e da simulação computacional, para as paredes PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3, do edifício residencial C.

Tabela 22 – Comparação entre os valores dos índices ponderados ($D_{nT,w}$, R'_w) obtidos experimentalmente e através da simulação computacional, do edifício residencial C.

Amostra	$D_{nT,w}$ (dB)		R'_w (dB)	
	Experimental	Simulação	Experimental	Simulação
PAE17/10C1 	37	37	34	37
PAE17/10C2 	41	40	39	39
PAE17/10C3 	44	42	42	39

Analisando as figuras 31, 32 e 33, pode-se observar, de um modo geral, uma boa relação entre as curvas de isolamento sonoro aéreo experimental e simulada,

apresentando algumas diferenças nas curvas das amostras PAE17/10C2 e PAE17/10C3, principalmente nas faixas de frequência de 100 Hz a 125 Hz, e acima dos 630 Hz, onde essa diferença é de aproximadamente 5 dB. As curvas, experimental e simulada, da parede PAE17/10C1 apresentam diferenças menores entre si, onde nas bandas de frequência de 100 Hz a 250 Hz e acima dos 1000 Hz a curva simulada encontra-se logo abaixo da experimental, e entre 250 Hz e 1000 Hz ocorre o oposto.

Observando os valores ponderados ($D_{nT,w}$ e R'_w) na tabela 22, verifica-se uma boa correspondência entre os resultados medidos e simulados, onde alguns desses se igualaram e outros tiveram diferenças que variaram entre 1 e 3 dB. A maior diferença ocorreu nos resultados do índice de redução sonora ponderado R'_w , para as paredes PAE17/10C1 e PAE17/10C3, o que não ocorreu nos resultados da diferença padronizada de nível ponderada $D_{nT,w}$, para as mesmas amostras.

5 CONCLUSÕES

Neste estudo foram avaliadas nove divisórias do tipo paredes de alvenarias com materiais e espessuras diversificados, constituídas por tijolos maciços, blocos cerâmicos furados e blocos cerâmicos estruturais, onde a diferença padronizada de nível, D_{nT} , a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, e o índice de redução sonora aparente ponderado, R'_w , foram determinados através de ensaios acústicos em campo e de simulações computacionais.

Verificou-se, com relação às paredes de tijolos maciços (PTM15 e PTM22), que não houve uma grande distinção de resultados, tanto no valor da diferença padronizada de nível ponderado como em função da frequência, mas destaca-se uma considerável redução da curva do índice de redução sonora aparente da parede PTM22 na banda de frequência de 1.000 Hz, e um aumento da isolamento acústica dessa parede nas frequências abaixo de 400 Hz.

Observou-se, nas paredes de tijolos furados (PTF15 e PTF20), um delineamento semelhante nas curvas da diferença padronizada de nível e do índice de redução sonora aparente, porém com uma maior isolamento sonora da parede PTF20, associada ao aumento da espessura da mesma em 5 cm.

De um modo geral, o aumento da espessura das paredes contribuiu para um aumento da isolamento sonora entre amostras compostas pelo mesmo material. Mas não é apenas a espessura e a densidade que contribui para um melhor desempenho acústico, pois PTF20 possui densidade superficial menor e 2 cm a menos de espessura que PTM22, porém a $D_{nT,w}$ da primeira é 1 dB superior (44 dB).

As paredes de alvenaria estrutural PAE17/8B e PAE17/10B apresentaram curvas de isolamento sonora, em função da frequência, bem próximas. Porém, a parede PAE17/10B apresentou valores de isolamento sonora superiores de aproximadamente 5 dB, na faixa de frequência dos 250 Hz e 2 dB a partir dos 800 Hz. As curvas de isolamento sonora das amostras PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3 possuíram maiores variações, principalmente PAE17/10C1 que apresentou diferenças de aproximadamente 6 dB com relação a PAE17/10C2 e de 9 dB com relação a PAE17/10C3, nas bandas de frequência de 800 Hz e 1000 Hz. As

paredes PAE17/10C2 e PAE17/10C3 apresentam curvas de isolamento mais próximas, mas com um maior isolamento da última, atingindo diferenças de aproximadamente 5 dB na faixa dos 315Hz aos 500 Hz, e dos 7 dB nas bandas de 125 e 160 Hz. Verifica-se que além das propriedades do material empregado na alvenaria e das conexões entre os elementos construtivos (paredes, lajes e tetos), outros fatores podem interferir na capacidade de isolamento, como posição de portas e volume das salas, onde esse influencia diretamente no Tempo de Reverberação (utilizado para correção do índice de isolamento).

Com relação às simulações computacionais, de um modo geral, os resultados simulados apresentam uma boa correspondência com os valores experimentais da isolação sonora aérea, principalmente os resultados ponderados, mesmo que o programa computacional utilizado apenas permita a inserção de geometrias simplificadas, não sendo possível modelar os ambientes perfeitamente como a geometria real.

Além disso, os materiais que compõem o banco de dados do programa não são totalmente representativos dos elementos brasileiros, mas o programa computacional utilizado permite alterar as propriedades dos materiais de seu banco de dados. Porém os dados disponíveis na literatura não são totalmente representativos das paredes avaliadas, apresentando valores do índice de redução sonora R e R_w , mas não dados específicos, como fator de amortecimento, densidade, módulo de elasticidade e frequência crítica. Esse programa de predição de isolamento sonoro pode ser utilizado nas fases de projeto, podendo prever o comportamento de algumas paredes de alvenaria quanto ao isolamento sonoro e orientar a tomada de decisões com relação a escolhas dos materiais, espessuras, etc., mas não substituirá as medições de campo.

Também se observou que existe uma diferença entre os índices $D_{nT,w}$ e R'_w , onde o primeiro geralmente é 2 decibéis maior, mas que a $D_{nT,w}$ não é a representação mais completa do desempenho de isolação de uma partição, e sim a diferença padronizada de nível em função da frequência, que permite verificar em que faixa de frequência as paredes de alvenaria avaliadas são mais eficientes do ponto de vista da isolação sonora aérea.

Constatou-se que praticamente todas as amostras avaliadas, 8 de 9, atenderam aos níveis mínimos (M) de isolação sonora aérea recomendados pela norma brasileira NBR 15575. Mas, também se verificou que para examinar o

desempenho acústico ou sua classificação dentro dos parâmetros da NBR 15575, as avaliações acústicas das paredes devem ser realizadas em todos os pavimentos da edificação que possuem paredes de alvenaria com materiais e características distintas (densidade, espessura, propriedades mecânicas.), caso contrário pode-se classificar um edifício com um desempenho que não corresponda à sua totalidade.

5.1 Constatações

Neste estudo avaliou-se o isolamento sonoro aéreo de paredes de alvenaria mais utilizadas nas edificações brasileiras e constatou-se que:

- A isolação sonora aérea das paredes de alvenaria deve ser analisada através das curvas de isolamento por bandas de frequência e não somente por seu número único;
- Os valores ponderados permitem a comparação do desempenho de isolamento sonoro aéreo entre as amostras e classificá-los de acordo com as normas de desempenho;
- O aumento da espessura das paredes, constituídas pelo mesmo material, contribuiu para uma melhor isolação sonora aérea;
- Não é apenas a espessura e a densidade das paredes que contribui para um melhor desempenho acústico, o que pode ser observado na comparação de paredes compostas por diferentes materiais e espessuras (PTM22 e PTF20);
- Paredes com materiais menos densos (blocos cerâmicos furados) podem apresentar valores ponderados superiores a alvenarias mais densas (tijolos maciços);
- O volume das salas (emissão e recepção) influencia no desempenho de isolação sonora (PEA17/10C2 e PAE17/10C3);
- Os resultados ponderados da diferença padronizada de nível ($D_{nT,w}$) mostram que, em geral, as paredes analisadas atendem as recomendações de desempenho da NBR 15575, apresentando resultados que variam de 37 a 44 decibéis, mas não ultrapassam o desempenho acústico mínimo (M);
- Nos edifícios construídos com diferentes materiais, que variam os blocos/tijolos nos diversos pavimentos, deve-se investigar as diferentes alvenarias empregadas.

- Existe uma diferença entre os valores ponderados da diferença padronizada de nível ($D_{nT,w}$) e do índice de redução sonora aparente (R'_w).
- Ocorreu uma boa correspondência entre resultados experimentais e simulados, principalmente com relação aos valores ponderados, mesmo com limitações, como: geometria simplificada de salas e dados de entrada representativos dos materiais brasileiros;

5.2 Sugestões para trabalhos posteriores

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, relacionados com a avaliação da isolamento sonora aérea de paredes de alvenaria em ambientes habitacionais, sugere-se que novos estudos possam ser desenvolvidos nos seguintes assuntos:

- Identificação de propriedades físicas e mecânicas dos materiais e elementos (paredes, lajes, etc.) mais utilizados na construção civil brasileira para compor um banco de dados que possa ser utilizado em modelos analíticos e em simulações computacionais para quantificar a perda de transmissão sonora;
- Avaliação da isolamento sonora em campo de paredes erigidas por blocos com outras características, como os de concreto, por exemplo;
- Avaliação das incertezas envolvidas na determinação da isolamento sonora aérea de paredes que permita verificar a influência: do tamanho e da forma geométrica das salas emissora e receptora, da absorção sonora equivalente da sala receptora, do tipo e qualidade de equipamentos de medição, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo, ABCI/PROJETO, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575:2008 - Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. NBR 6120:1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ISO. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. **ISO 140-4**: Acoustic: Measurement of sound insulation in building and of building elements. Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.

_____. ISO 717-1: 1997. Acoustic: Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation.

_____. ISO 354:2003. Measurement of sound absorption in a reverberation room.

Bastian, The Building Acoustics Planning System. Manual. DataKustik GmbH, Geinferberg, 2010.

BERANEK, L. L. **Noise and Vibration Control**. McGraw-Hill, Inc., 1971.

CROCKER, J. M. **Encyclopedia of Acoustics: volume two**. John Wiley & Sons, 1997.

COCCHI, A. SEMPRINI, G Sound Insulation and Flanking Transmission: from U.E. Directive 89/106 to the flanking transmission loss experimental Measurement, **Euro noise**, Naples, 2003.

DOELLE, L. L. **Environmental Acoustics**. McGraw-Hill, Inc., 1972.

DUARTE, E. de A. C; **Estudo do isolamento acústico das paredes de vedação da moradia brasileira ao longo da história**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2005.

DUARTE, E. de A. C; VIVEIROS, E. Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 159-171, jul./set. 2007.

EGAN, M. D. **Architectural Acoustics**. McGraw-Hill, Inc., 1988.

EN 12354-1, Building Acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products - Part 1: Airborne sound insulation between rooms, CEN, 2000.

FERREIRA, J. A. C. **Avaliação acústica de residências**: resultados medidos e simulados. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERREIRA, J. A. C.; ZANNIN, P. H. T. Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições in situ e simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 15-29, abr./jun. 2007.

FRIEDRICH, A. F. **Avaliação da contribuição do revestimento na isolação sonora de paredes de alvenaria**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, 2010.

GALBRUN, L. The prediction of airborne sound transmission between two rooms using first-order flanking paths. **Applied Acoustics**, v. 69, p. 1332–1342, 2008.

GARCIA, D. B.; VECCHI, M. A. de M.; RODRIGUES, F. C. Avaliação do isolamento sonoro aéreo de elementos de vedação na construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 49-63, jan./mar. 2008.

GERGES, S.N Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 1. ed. Florianópolis: S.N.Y.Gerges, 1992.

GERRETSEN, E. Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. **Fortschritte der Akustik**, 2003.

KINSLER, L. E. *et al.* **Fundamentals of Acoustics**. John Wiley & Sons, 1982.

LJUNGGREN, S. Airborne sound insulation of thick walls. **Journal of Acoustical Society of America**, Vol. 89, N° 5, May 1991.

MÉNDEZ, A. M. *et al.* **El Ruido y la audición**. Buenos Aires: Córdoba, 1990.

NETO, N. A. S. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, 2006.

NETO, M. de F. F.; BERTOLI, S. R. Conforto acústico entre unidades habitacionais em edifícios residenciais de São Paulo, Brasil. **Acústica**. 2008.

PAIXÃO, D. X. da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. 2002. 161p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

PIÃO, A.; GODINHO, L.; TADEU, A. Comportamento acústico de paredes de alvenaria, na presença de pequenas aberturas e diferentes inclusões. **Acústica**. 2008.

RECCHIA, C. A. **Estudo de desenvolvimento acústico dos elementos construtivos que compõem fachada**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, 2001.

SILVA, D. T. **Estudo da isolação sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, 2000.

SORIANO, J. R.; FERNÁNDEZ, J. A. Medidas in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo: muestreo en viviendas de la comunidad valenciana. **TecnAcústica**, Gandia, 2006.

SOUZA, L. C. L. *et al.* **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: Ouvindo a Arquitetura**. São Carlos: EdUFSCar, 2007.

TAIBO, L.; DAYAN, H. G. de. Comparison of laboratory and field sound insulation measurements of party walls and facade elements. **The Journal of the Acoustical Society of America**, vol. 75, p. 1522-1531, 1984.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/noise>> Acesso em: 25 set. 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resumo dos ensaios realizados no edifício residencial A.

Os níveis de pressão sonora medidos na sala de emissão e na sala de recepção de cada parede de alvenaria avaliada são acompanhados pelas letras 'e' e 'r' para mostrar a sala onde foi medido o nível sonoro, e podem ser vistos no Gráfico 1. Os valores dos tempos de reverberação podem ser visualizados no Gráfico 2, e a diferença padronizada de nível das paredes avaliadas são apresentadas nos Gráficos 3 e 4 e nas tabelas A1 e A2.

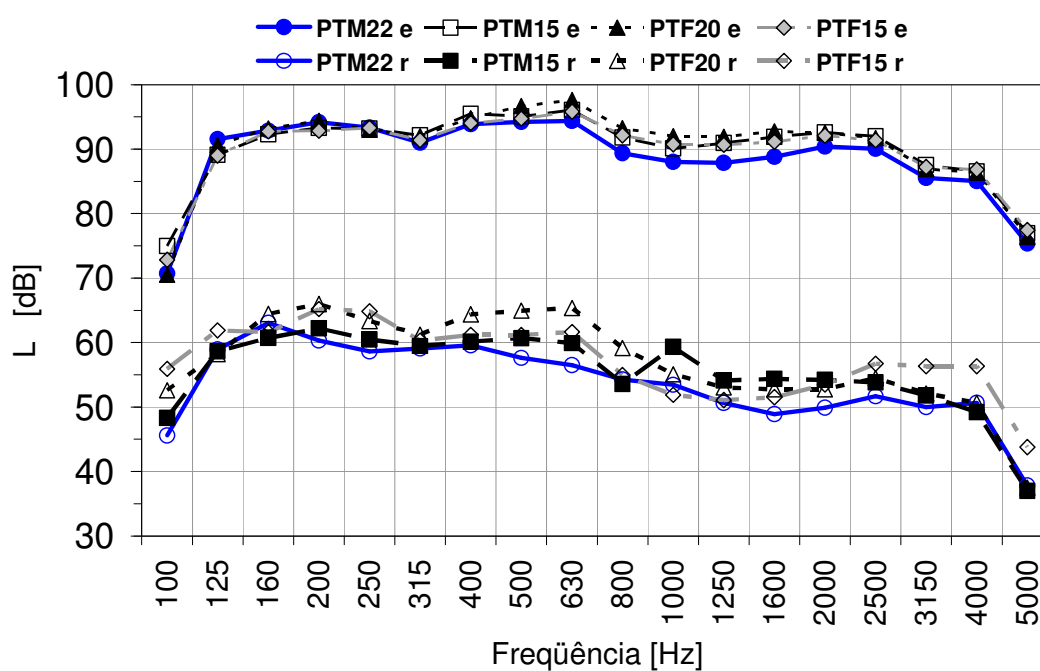


Gráfico 1 - Níveis de pressão sonora (NPS) na sala de emissão e de recepção das alvenarias avaliadas, do edifício residencial A.

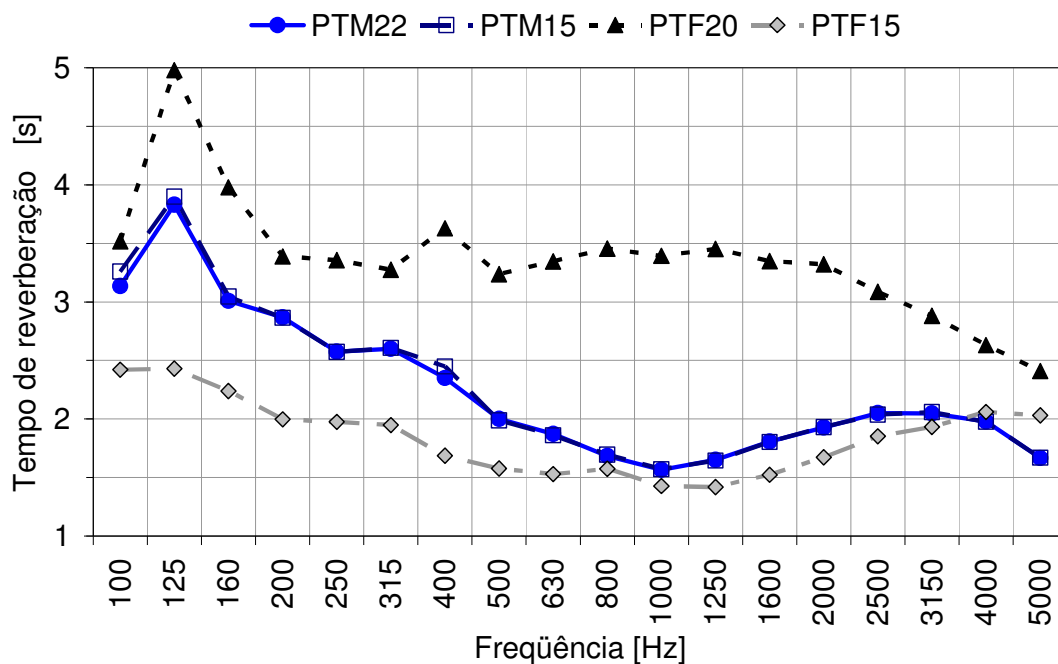


Gráfico 2 - Tempo de reverberação na sala de recepção das paredes de alvenaria avaliadas, do edifício residencial A.

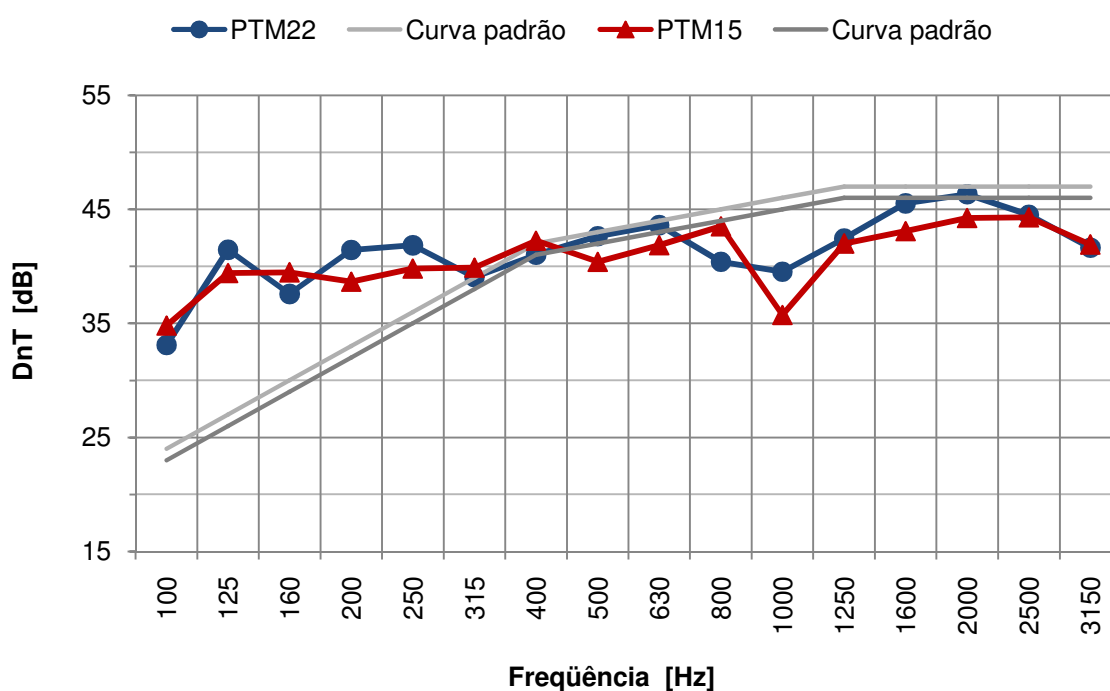


Gráfico 3 - Diferença padronizada de nível das paredes de tijolo maciço PTM22 e PTM15.

Tabela A1 – Resultados numéricos da diferença padronizada de nível das alvenarias de tijolo maciço.

	PTM 22 = PAREDE DE TIJOLO MACIÇO 22 cm	PTM 15 = PAREDE DE TIJOLO MACIÇO 15 cm
Freq. (Hz)	(dB)	(dB)
100	33,1	34,8

125	41,5	39,4
160	37,6	39,5
200	41,4	38,6
250	41,8	39,8
315	39,1	39,9
400	41,0	42,3
500	42,6	40,4
630	43,6	41,9
800	40,4	43,5
1000	39,5	35,7
1250	42,4	42,0
1600	45,5	43,1
2000	46,3	44,3
2500	44,5	44,3
3150	41,6	41,9
4000	40,4	43,3
5000	42,8	45,2
DnT,w	43	42

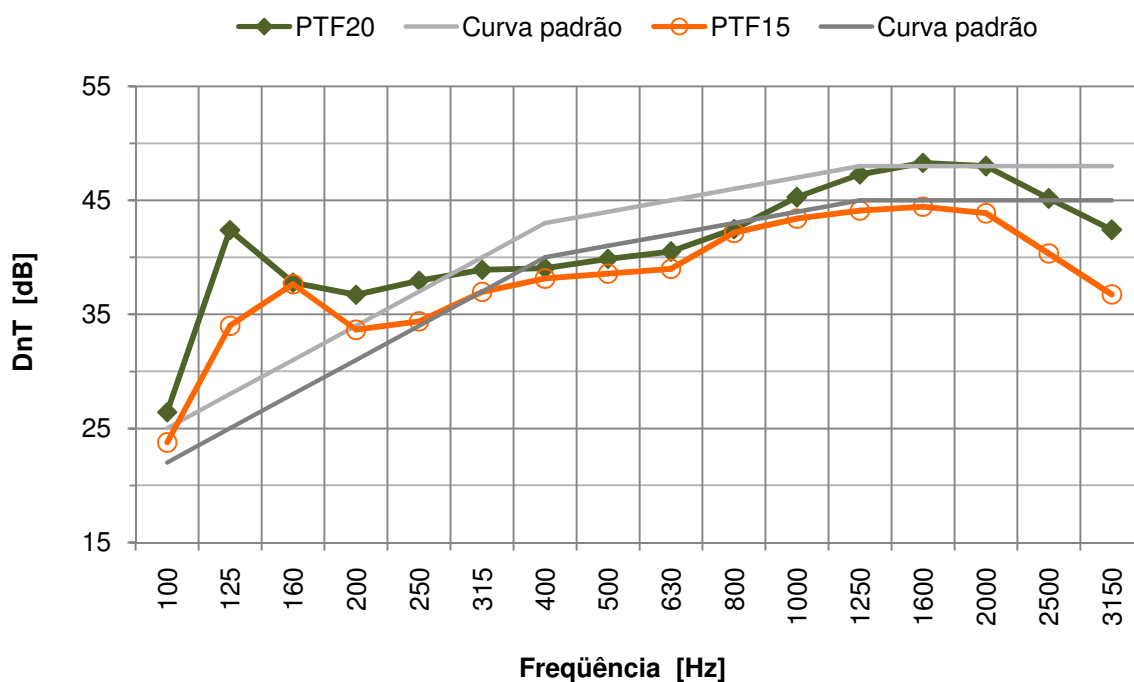


Gráfico 4 - Diferença padronizada de nível das paredes de tijolo furado: PTF20 e PTF15.

Tabela A2 – Resultados numéricos da diferença padronizada de nível das alvenarias de blocos cerâmicos furados.

	PTF 20 = PAREDE DE TIJOLO FURADO 20 cm (dB)	PTF 15 = PAREDE DE TIJOLO FURADO 15 cm (dB)
Freq. (Hz)		
100	26,41	26,5
125	42,39	33,9
160	37,78	37,7

200	36,72	33,7
250	37,96	34,5
315	38,92	37
400	39,04	38,1
500	39,87	38,6
630	40,50	39
800	42,47	42,1
1000	45,27	43,4
1250	47,27	44,1
1600	48,28	44,5
2000	47,99	43,9
2500	45,16	40,3
3150	42,41	36,7
4000	42,90	36,7
5000	45,70	39,7
DnT,w	44	41

APÊNDICE B – Resumo dos ensaios realizados no edifício residencial B.

Os níveis de pressão sonora na sala de emissão e na sala de recepção da cada parede de alvenaria avaliada são acompanhados pelas letras 'e' e 'r' para mostrar a sala onde foi medido o nível sonoro, e podem ser vistos no Gráfico 5. Os valores dos tempos de reverberação podem ser visualizados no Gráfico 6, e a diferença padronizada de nível das paredes avaliadas são apresentadas no Gráfico 7 e na tabela B.

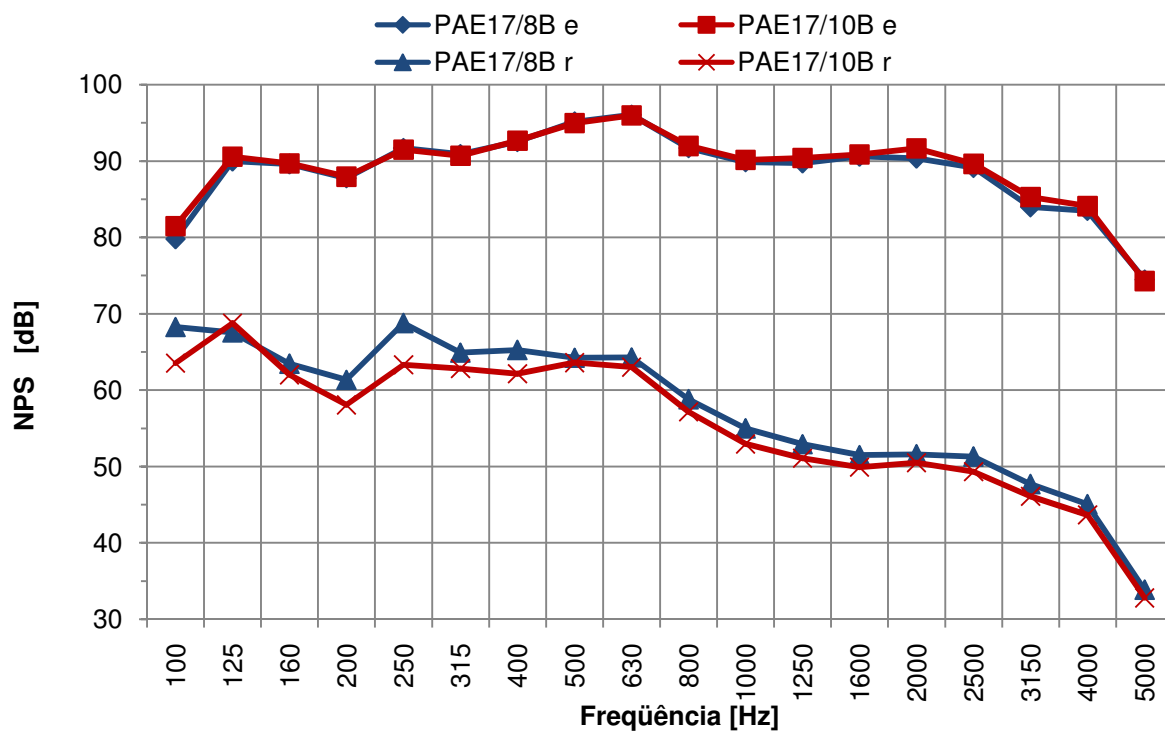


Gráfico 5 - Níveis de pressão sonora (NPS) na sala de emissão e de recepção das alvenarias avaliadas.

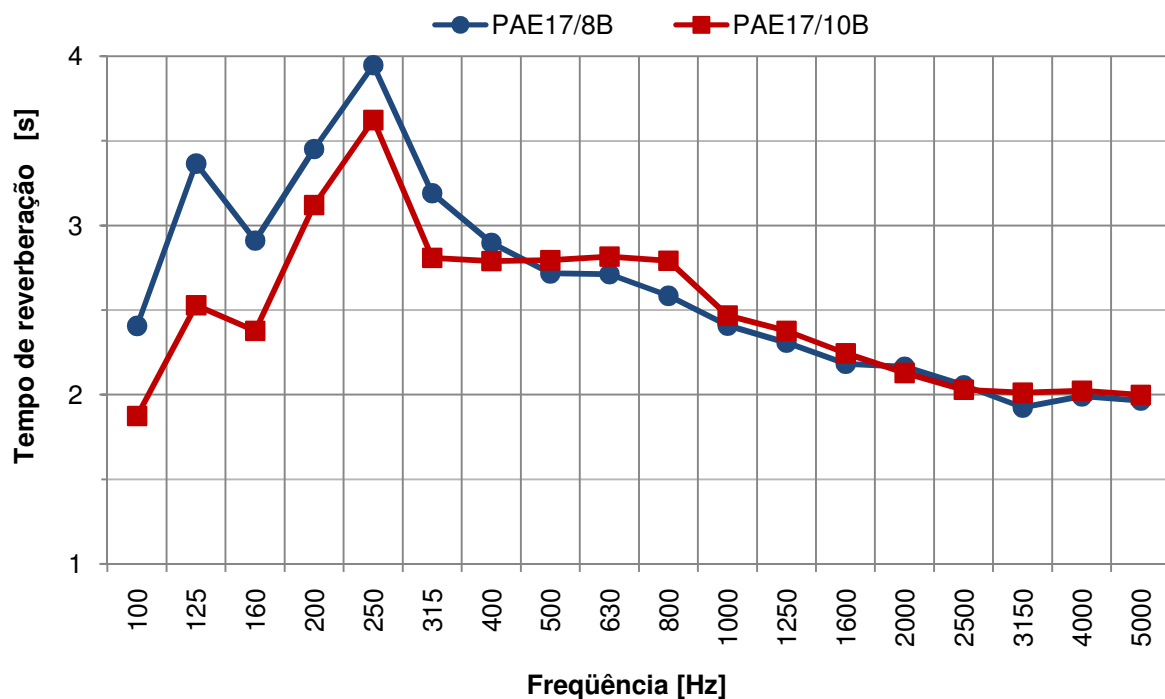


Gráfico 6 – Tempo de reverberação na sala de recepção das paredes de alvenaria avaliadas.

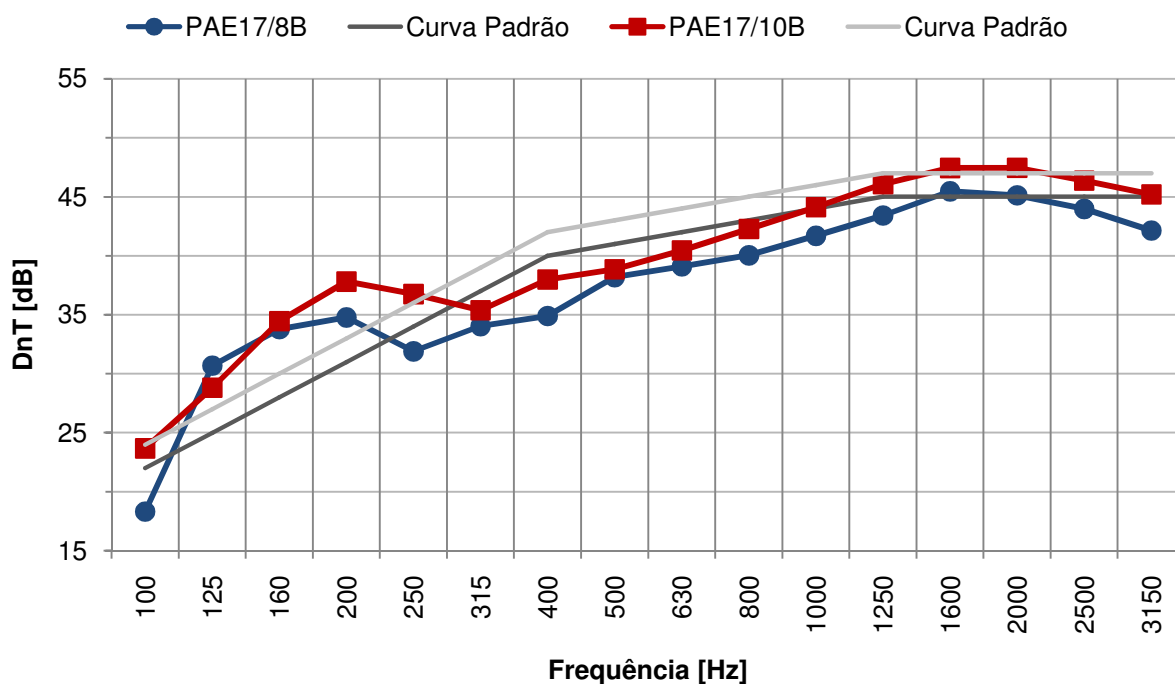


Gráfico 7 - Diferença padronizada de nível das paredes PAE17/8B e PAE17/10B do edifício residencial B.

Tabela B – Resultados numéricos da diferença padronizada de nível das alvenarias de blocos cerâmicos furados.

	PAE17/8B = PAREDE DE BLOCO ESTRUTURAL 8 MPa 17 cm	PAE17/10B = PAREDE DE BLOCO ESTRUTURAL 10 MPa 17 cm
Freq. (Hz)	(dB)	(dB)
100	18,3	23,7
125	30,7	28,8
160	33,8	34,5
200	34,8	37,8
250	31,9	36,8
315	34,0	35,4
400	34,9	38,0
500	38,2	38,9
630	39,1	40,5
800	40,0	42,3
1000	41,7	44,1
1250	43,4	46,1
1600	45,5	47,4
2000	45,1	47,5
2500	44,0	46,4
3150	42,1	45,2
4000	44,4	46,5
5000	46,6	47,5
DnT,w	41	43

APÊNDICE C – Resumo dos ensaios realizados no edifício residencial C.

No Gráfico 8 são apresentados os valores médios de L1 e L2, onde os níveis de pressão sonora na sala de emissão e na sala de recepção da cada parede avaliada são acompanhados pelas letras 'e' e 'r', o tempo de reverberação da sala de recepção (TR) das amostras podem ser visualizados no Gráfico 9. Os valores da diferença padronizada de nível das paredes avaliadas são apresentadas no Gráfico 10 e na tabela C.

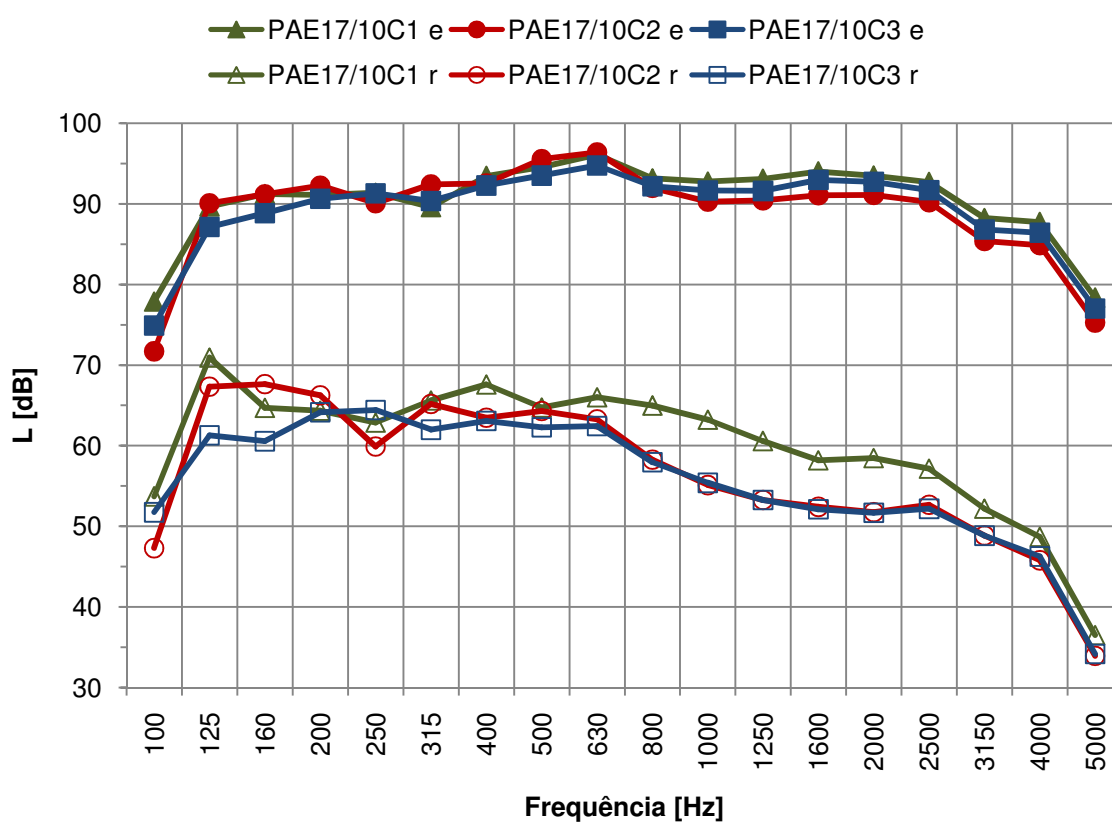


Gráfico 8 - Níveis de pressão sonora (L) na sala de emissão e de recepção das alvenarias avaliadas.

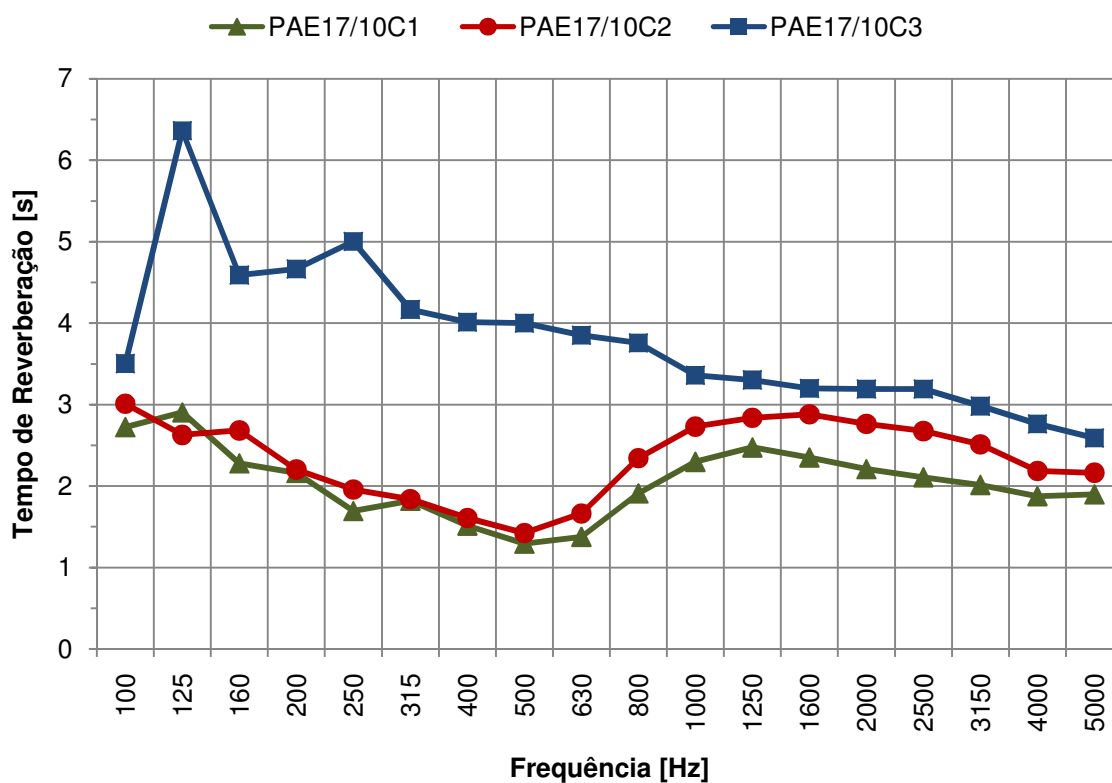


Gráfico 9 – Tempo de reverberação na sala de recepção das paredes de alvenaria avaliadas.

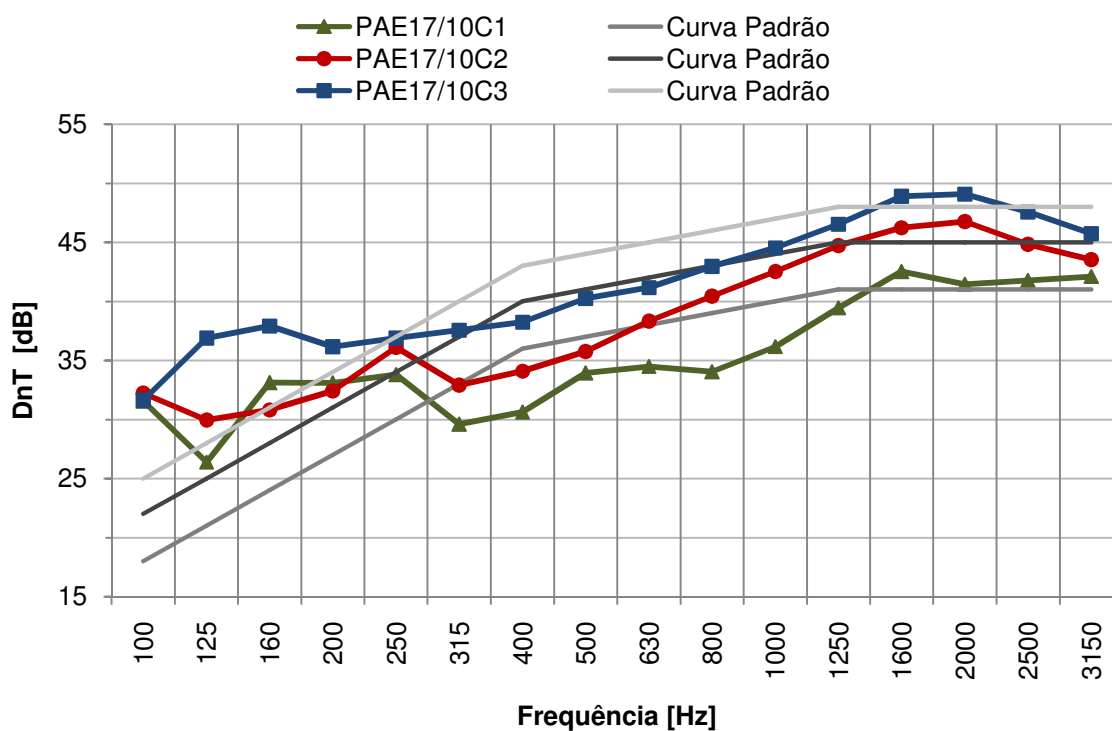


Gráfico 10 - Diferença padronizada de nível das paredes PAE17/10C1, PAE17/10C2 e PAE17/10C3.

Tabela C – Resultados numéricos da diferença padronizada de nível das alvenarias de blocos cerâmicos furados.

	PAE17/10C1 = PAREDE DE BLOCO ESTRUTURAL 10 MPa 17 cm	PAE17/10C2 = PAREDE DE BLOCO ESTRUTURAL 10 MPa 17 cm	PAE17/10C3 = PAREDE DE BLOCO ESTRUTURAL 10 MPa 17 cm
Freq. (Hz)	(dB)	(dB)	(dB)
100	31,5	32,2	31,6
125	26,4	29,9	36,9
160	33,1	30,8	37,9
200	33,1	32,4	36,2
250	33,8	36,1	36,9
315	29,6	32,9	37,6
400	30,6	34,1	38,3
500	33,9	35,7	40,3
630	34,5	38,3	41,2
800	34,0	40,4	43,0
1000	36,2	42,5	44,5
1250	39,4	44,7	46,5
1600	42,5	46,2	48,9
2000	41,4	46,7	49,1
2500	41,8	44,8	47,6
3150	42,1	43,5	45,7
4000	44,7	45,5	47,6
5000	47,6	47,7	50,0
DnT,w	37	41	44